

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

FACULTAD DE AGRONOMIA



BALANCE HIDRICO DE LOS SUELOS AGRICOLAS DEL
MUNICIPIO DE AMECA, JAL.

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO AGRONOMO
EN LA ORIENTACION DE SUELOS
P R E S E N T A
LUIS ARMANDO OCHOA SANDOVAL
GUADALAJARA, JALISCO. 1991



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
FACULTAD DE AGRONOMIA

Sección

Expediente

Número

Mayo 13 de 1989

C. PROFESORES:

M.C. RICARDO NUÑO ROMERO, DIRECTOR
ING. ANTONIO ALVAREZ GONZALEZ, ASESOR
ING. EDUARDO RODRIGUEZ DIAZ, ASESOR

Con toda atención me permito hacer de su conocimiento, que habiendo sido aprobado el Tema de Tesis:

" BALANCE HIDRICO DE LOS SUELOS AGRICOLAS DEL MUNICIPIO DE AMECA, JAL. "

presentado por el (los) PASANTE (ES). LUIS ARMANDO OCHOA SANDOVAL

han sido ustedes designados Director y Asesores respectivamente para el desarrollo de la misma.

Ruego a ustedes se sirvan hacer del conocimiento de esta Dirección su Dictamen en la revisión de la mencionada Tesis. Entre tanto me es grato reiterarles las seguridades de mi atenta y distinguida consideración.

A T E N T A M E N T E
"PIENSA Y TRABAJA"
EL SECRETARIO

ING. SALVADOR MENA MUNGUIA

srd!

Al contestar este oficio cítese fecha y número

RECIBI
21/11/90
[Signature]

Recibi
21/11/89
[Signature]
21-11-90



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
FACULTAD DE AGRONOMIA

Sección

Expediente

Número

Mayo 13 de 1989

ING. JOSE ANTONIO SANDOVAL MADRIGAL
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA
DE LA UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
PRESENTE

Habiendo sido revisada la Tesis del (los) Pasante (es)
LUIS ARMANDO OCHOA SANDOVAL

titulada:

" BALANCE HIDRICO DE LOS SUELOS AGRICOLAS DEL MUNICIPIO DE AMECA, -
JAL. "

Damos nuestra Aprobación para la Impresión de la misma.

DIRECTOR

M.C. RICARDO NUÑO ROMERO

ASESOR

ING. ANTONIO ALVAREZ GONZALEZ

srd'

ASESOR

ING. EDUARDO RODRIGUEZ DIAZ

Al contestar este oficio cite su fecha y número

AGRADECIMIENTOS

C. ING. M. C. RICARDO NUÑO ROMERO

Director de esta Tesis, por haberme orientado en la elección del tema y -brindado apoyo desinteresado en mi formación profesional, siempre con sus consejos encaminados a formarme en persona de bien.

C. ING. ANTONIO ALVAREZ GONZALEZ

Por su disposición y apoyo en la elaboración de esta Tesis, siempre atento en los momentos de esfuerzos para la fructificación de la misma.

C. ING. EDUARDO RODRIGUEZ DIAZ

Por no escatimar su apoyo en la realización de esta Tesis, que consumió -momentos de su valiosa atención.

En forma muy especial a la Universidad de Guadalajara que comprometido es toy con ella por haberme brindado una oportunidad de formarme profesionalmente. A cada uno de los maestros que me impartieron clases quienes me formaron académicamente.

A la Srita. Ana María Varo Loza por su disposición y paciencia en la mecanografía de esta Tesis.

DEDICATORIA

Esta Tesis la dedico a toda mi familia, especialmente a mis padres que se esforzaron en darme educación, con la esperanza de formarme un hombre de bien, sin su apoyo sería difícil encontrar el camino correcto que debo de forjar en mi vida, la de ser un hombre recto lleno de principios.

C O N T E N I D O

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA	ii
LISTA DE CUADROS	iv
ABREVIATURAS USADAS	v
I. INTRODUCCION	1
II. OBJETIVOS	2
III. HIPOTESIS	3
IV. SUPUESTOS	4
V. REVISION DE LITERATURA	5
VI. MATERIALES Y METODOS	38
VII. RESULTADOS Y DISCUSION	58
VIII. CONCLUSIONES	72
IX. RESUMEN	74
X. BIBLIOGRAFIA	76
XI. ANEXO	81

LISTA DE CUADROS

<u>No. de cuadro</u>	<u>Pág.</u>
1.- Características físicas y químicas de los sitios de estudio.	45
2.- Características de manejo del cultivo para cada sitio	48
3.- Fenología del maíz para cada sitio	50
4.- Constantes de humedad y densidad aparente para cada sitio	53
5.- Humedad retenida a la profundidad de 100 cm. para cada sitio, a la capacidad de campo.	
6.- Balance de humedad para el sitio A	57
7.- Balance de humedad para el sitio B	58
8.- Balance de humedad para el sitio C	59
9.- Balance de humedad para el sitio D	60
10.- Matriz de correlaciones simples de las variables utilizadas	66
11.- Ecuaciones de regresión	68

BIBLIOTECA ESCUELA DE AGRICULTURA

ABREVIATURAS USADAS

<u>Abreviaturas</u>	<u>Significado</u>
AD	Agua disponible
DD	Días despejados
DN	Días nublados
E	Emergencia
FF	Floración femenina
FM	Floración masculina
HDO	Humedad disponible observada
H100	Humedad disponible a la profundidad de 100 cm.
H20	Humedad disponible a la profundidad de 20 cm.
MF	Madurez fisiológica
R3	Estadío lechoso
R5	Estadío dentado
R6	Madurez fisiológica
S	Siembra
VE	Emergencia

I INTRODUCCION

La agricultura de temporal se encuentra continuamente en serios problemas sujetos a factores no controlados por el hombre, uno de ellos y el más determinante es la precipitación.

El suelo se erosiona y el agua se pierde mientras que el hombre y sus necesidades se multiplican prácticamente sin límite. En tales circunstancias es importante el estudio del balance hídrico del suelo, un tema de mayor interés en muchas partes del mundo, pero especialmente en regiones con mayor tendencia a la sequía.

El análisis del balance hídrico del suelo es de considerable apoyo en la planeación agrícola y en todas aquellas actividades encaminadas a incrementar la producción.

En el Valle de Ameca en donde se practica la agricultura de temporal en un gran porcentaje, impuesta por un clima cálido templado los problemas son cada vez más críticos y marcados, entre los más importantes se encuentran; la gran variabilidad del suelo, la poca información técnica y una precipitación que gradualmente se ha vuelto errática.

Con este trabajo se pretende comprender la problemática que año con año imperan, mediante el análisis del balance hídrico del suelo. Así como también aportar una herramienta útil para la planeación agrícola.

II OBJETIVOS

- 2.1 Determinar las constantes de humedad de los suelos, del Valle de Ameca.
- 2.2 Correlacionar las cantidades de lluvia precipitada con las capacidades de almacenamiento de los suelos.
- 2.3 Realizar una comparación entre los suelos predominantes en base al balance hídrico del suelo.
- 2.4 Identificar líneas de investigación futuras para un manejo más eficiente y racional del suelo y agua.
- 2.5 Concientizar tanto al personal técnico como a los productores, de tomar en cuenta con bases experimentales la influencia que se puede obtener del estudio del balance hídrico de los suelos, en las decisiones técnicas.

III HIPOTESIS

- 3.1 El balance hídrico de los suelos agrícolas de temporal está determinado principalmente por la cantidad de precipitación, las características de los suelos, y el manejo que se dé a los mismos.
- 3.2 El comportamiento de la humedad del suelo puede ser diferente en los sitios estudiados.

IV SUPUESTOS

- 4.1 Los suelos en estudio reciben una cantidad similar de precipitación.
- 4.2 Los lugares de muestreo poseen las características representativas - de los suelos.
- 4.3 La humedad del suelo no es perturbada significativamente por el método de muestreo.

BIBLIOTECA ESCUELA DE AGRICULTURA

V REVISIÓN DE LITERATURA

5.1 Precipitación

El éxito o el fracaso de la agricultura de temporal depende de la disponibilidad del agua, obtenida ésta de las precipitaciones como única fuente. El régimen de lluvias, su distribución y la intensidad son factores que determinan la gran variabilidad de rendimientos en las cosechas de temporal.

Numerosos investigadores han manifestado el fuerte impacto que tienen las lluvias en la agricultura de temporal, correlacionándola con la temperatura, fenología del cultivo, evapotranspiración así como también las características de los suelos.

Lo anteriormente señalado nos conduce a pensar que los cultivos consumen grandes cantidades de agua en su desarrollo, desde la germinación hasta la maduración .

Grimaldi (1969) señala que el agua es un elemento esencial para la vida de las plantas. Aguilera y col. (1980) señalan que el agua es un recurso natural, imprescindible para cualquiera de los tipos de vida existentes en la tierra, por lo que es importante conocer la cantidad y distribución de los diferentes estados y clases de ésta en el mundo. Para lograr un mejor aprovechamiento. Daubenmire (1982) menciona que el agua es de suma importancia en muchos aspectos, ya que como principal solvente universal, disuelve todos los minerales contenidos en el suelo. Además constituye el medio por el cual los nutrientes entran en la planta moviéndose a través de los tejidos, permitiendo así la solución y la ionización dentro de ésta. Asimismo, constituye el material de sustrato en la fotosíntesis y es esencial para el mantenimiento de la

turgencia sin la cual las células no podrían funcionar activamente.

Hansen (1975) consideró algunos requisitos para que las lluvias produzcan los máximos beneficios al mencionar:

1.- La cantidad de lluvia ha de ser suficiente para reponer la gastada en la zona radicular.

2.- Su frecuencia debe ser tal que suministre la humedad antes de que las especies vegetales padezcan por su falta.

3.- Deben ser lo suficientemente intensas para dar tiempo al suelo a -- absorberlas.

Sólo en contadas localidades y ocasiones la lluvia se ajusta a estos re - querimientos, que en caso de producirse conducen a las máximas producciones.

Miller (1975) y Ortiz S. (1984) concuerdan al apuntar que en las estadísticas meteorológicas es frecuente agrupar, sin distinción el agua recogida en forma de lluvia, nieve y granizo, con el nombre genérico de precipitación.

Generalmente se considera día de lluvia todo aquel que acuse 0.1 mm o más de precipitación (Torres 1983). Gómez y Arteaga (1987) aseveran al referirse - que la cantidad de lluvia se expresa por la altura en milímetros de lámina de agua que se formaría en un suelo horizontal, impermeable o sin filtración, sin escurrimiento superficial y sin que exista evaporación en dicho suelo. Si se - presentara nieve o granizo se expresaría en la misma forma; sólo que tendría - que esperar que la capa que se formará en el suelo pasará al estado líquido.

La lluvia de gran intensidad según Barry y Chorley (1972) se caracteriza por tener un mayor tamaño de las gotas más que por un mayor número de gotas. Los mismos autores explican que las cantidades de lluvia registradas en un in-

intervalo de tiempo dado varía de acuerdo con el tamaño de la zona que se considera, presentando una relación análoga a la de la duración e intensidad de la lluvia como la cantidad de milímetros precipitados en la unidad de tiempo (segundo, minuto u hora).

Henin y Monnier (1981) recalcan que los factores climáticos y en particular la intensidad de la precipitación son elementos determinantes en la diferenciación de la agricultura.

Petterssen (1976) menciona que durante la estación de crecimiento es mucho más benéfico tener pequeñas cantidades frecuentes de precipitación que grandes cantidades ocasionales. Por otro lado Sánchez (1981) especifica que la distribución de la lluvia, más que la cantidad total, es el parámetro más importante de la precipitación pluvial.

En México los extremos de precipitación están en Sonora y Baja California con el valor más bajo (menores de 50 mm) y el valor más alto en Cataluña, Oaxaca (alrededor de 5,400 mm).

García E. (1986) aclara que no sólo es importante tomar en cuenta la cantidad de lluvia que cae en el año, sino también el régimen de lluvia, o sea, la época en que se presentan las máximas precipitaciones, ya que de ello depende en gran parte la evaporación y de aquí la cantidad final de agua que se escurre.

L. de Fina y C. Ravelo citados por Bernache (1989) indican que las estadísticas climatológicas son muy útiles para saber de antemano si un cultivo es posible o no en la localidad.

Velázquez (1989) cita a García et. al. quienes reportaron la distribución de la lluvia en la República Mexicana al evaluar la probabilidad de tener de -

terminadas cantidades de lluvia mensuales y anuales. Además para los períodos de mayo a octubre y de noviembre a abril aplicando la función gamma-incompleta, de esta forma cubrieron todo el territorio nacional sacando al mismo tiempo 15 cartas generales del país.

Frere citado por Velázquez (1985) señaló que al investigar la variabilidad de la lluvia, y la estimación de probabilidades para la aplicación a la agricultura, se trata en realidad de responder a la cuestión de saber con qué frecuencia la tierra recibirá determinada cantidad de lluvia, y la frecuencia con que la tierra recibirá una cantidad inferior o superior a ésta, expresada en términos de probabilidad. Las consecuencias de este análisis en las prácticas agrícolas son evidentes: Una vez que se conozca la demanda mínima de lluvia de determinado cultivo, se evalúa rápidamente los riesgos de llevar a cabo dicho cultivo en la región para lo cual los datos de lluvia son válidos. Otro aspecto importante después de haber evaluado la cantidad y frecuencia de lluvia, es la investigación de la distribución de esta lluvia durante la estación de crecimiento de los cultivos.

Por lo anteriormente expuesto es patente la fuerte dependencia de la agricultura de temporal de la intensidad y distribución de la lluvia. Dado que estos elementos participan directamente en la ocurrencia de la lluvia para una localidad determinada, para tales características existe un gran consenso entre los investigadores en demostrar la importancia de una de estas sobre las demás características en la agricultura de temporal. Al cuestionar la literatura expuesta se desprende que, tales características influyen de mayor o menor grado dependiendo de las condiciones climáticas y posiblemente edáficas que prevalezcan en un momento dado.

5.2 Humedad del suelo

5.2.1 Generalidades

La humedad del suelo es dinámica (Gavande 1972), se mueve constantemente de un lugar a otro en respuesta a las fuerzas del movimiento del agua creadas por la percolación, la evaporación, la irrigación, la lluvia, la temperatura y el uso de las plantas. De acuerdo con Hansen (1975) las proporciones en que se encuentra la humedad en el terreno influyen decisivamente en el desarrollo de las plantas. Thompson y Troeh (1980) confirman lo anterior al expresar que, la presencia de agua suficiente en el suelo es vital para el crecimiento de las plantas, no sólo por que ésta necesita de aquella para realizar su procesos fisiológicos, sino también porque el agua contiene nutrimentos en solución.

Se dice que toda agua que se encuentra en el suelo forma parte de éste, por consiguiente se ha denominado solución del suelo. Thompson y Troeh (1989) señalan que cuando se somete una muestra de suelo a temperaturas muy elevadas se pierde más agua. La mayor parte de esa agua proviene de los grupos hidróxidos contenidos de los sólidos orgánicos y minerales. Se considera que esa agua combinada químicamente pertenece a los sólidos del suelo y no a la fase líquida. La extracción, mediante calentamiento a elevadas temperaturas, del agua combinada químicamente, altera la naturaleza de los materiales orgánicos y minerales presentes en el suelo. Baver y col. (1989) hacen énfasis al señalar, que para la mayoría de los fines prácticos, se entiende por agua del suelo la que puede ser extraída por desecación hasta peso constante en estufa a 100°C, de manera similar Aidárov y col. (1985) definen la humedad del suelo como la relación de la masa de humedad en cierto volumen de suelo con la masa de suelo seco y por lo común se expresa en tanto por ciento y caracterizan la cantidad de humedad del suelo por dos índices: la humedad del suelo y la reserva de hu-

medad que hay en el mismo.

5.2.2 Constantes de humedad

Kramer (1969) ha estudiado la humedad del suelo clasificándola y describiéndola en términos y constantes.

Hansen (1975) especifica al expresar que no existe una línea clara de separación entre las constantes de humedad del suelo. La proporción en que se encuentra cada una de ellas depende de la textura, de la estructura, del contenido de materia orgánica, de la temperatura y del espesor del perfil del suelo considerado.

Thompson y Troeh (1980) señalan que las distinciones efectuadas en las constantes de humedad se refieren en la intensidad de la retención y no a cambios en la naturaleza del agua.

Las constantes consideradas por los autores son las siguientes:

a).- Punto de saturación. Es la cantidad de agua retenida en el suelo -- cuando todos los poros están llenos y cuando se restringe el desagüe. En condiciones naturales, solo los suelos mal drenados se encuentran en este estado.

b).- Capacidad de campo. La capacidad de campo ha sido definida por Hansen (1975) como el contenido de humedad que existe en el suelo después de la eliminación del agua gravitacional. Baver y col. (1980) la definen como el contenido de agua en un perfil de suelo, en general la zona de las raíces, que ha sido completamente mojado por el riego y después drenado hasta un valor despreciable, es necesario dejar pasar de 1 a 3 días para alcanzar la capacidad de campo después de que ha drenado el exceso de agua. La capacidad de campo se valora cuantitativamente como la cantidad de agua presente expresada en forma

de porcentaje sobre el peso del suelo seco a la estufa aclaran Thompson y -- Troeh (1980).

Kramer (1969) especifica que la capacidad de campo es un valor más significativo y mejor definido en suelos de textura gruesa que fina. Porque los poros más grandes de los suelos gruesos se vacían pronto y la rápida pérdida de permeabilidad resultante tiende a causar una transición más aguda del suelo mojado a suelo seco que en los suelos de textura fina.

Henin y col. (1969) acreditan a la capacidad de campo como la máxima cantidad que puede ser retenida por el suelo "in situ" .

Hansen (1975) expone numerosas consideraciones marcando lo siguiente; la capacidad de campo determina un punto específico de la curva del contenido de humedad con relación al tiempo. La tensión de humedad de un suelo que ha alcanzado la capacidad de campo suele estar comprendida entre $1/10$ y $1/3$ de atmósfera, dependiendo del valor de las características del drenaje del terreno y el lapso de tiempo transcurrido después del riego, que se considera necesario para que el suelo alcance la capacidad de campo. La tensión de humedad de los suelos arenosos, cuando se encuentran en la capacidad de campo, tiende a ser $1/3$ de atmósfera, e incluso algunos han llegado hasta $3/5$ de atmósfera. Para la mayoría de los terrenos agrícolas los valores de la tensión se encuentran en las proximidades de $1/10$, más que en el entorno de $1/3$ de atmósfera, - para valores de capacidad de campo calculados mediante la determinación del - contenido de humedad. El gran intervalo que existe, en lo que respecta al contenido de humedad y volumen de agua del suelo, entre $1/3$ y $1/10$ de atmósfera, señala la necesidad de definir con precisión la tensión a la cual se da la capacidad de campo.

c).- Punto de marchitez permanente. Hansen (1975) define como coeficiente

de marchitamiento al contenido de agua de los suelos, cuando las plantas se marchitan permanentemente, que corresponde al límite inferior de la humedad aprovechable por los cultivos. Thompson y Troeh (1980) considera alcanzado el punto de marchitamiento cuando el contenido de agua del suelo es tan bajo, que las plantas pierden su capacidad de recuperación. Se expresa como porcentaje del peso del suelo seco a la estufa.

Hansen (1975) hace las siguientes consideraciones: las estimaciones de campo del punto de marchitamiento se realiza mediante el cálculo del contenido de humedad del terreno en el cual las plantas se han marchitado permanentemente. La tensión a la cual se produce el marchitamiento permanente oscila entre 7 y 40 atmósferas. Cuando aumenta la temperatura y la velocidad de consumo de humedad el marchitamiento se produce con tensiones más bajas y contenido de humedad mayor, a esto se le conoce con el nombre de sequía fisiológica. En el punto de marchitamiento la tensión de humedad del suelo es aproximadamente de unas 15 atmósferas.

El punto de marchitamiento varía ligeramente según la planta cultivada y las condiciones atmosféricas que influyen en la tasa transpiración según Thompson y Troeh (1980).

d).- Coeficiente higroscópico. Gavande (1972) define como la cantidad de agua que un suelo contiene cuando se le pone en equilibrio con la atmósfera con 90% de humedad relativa a la temperatura ambiente.

En forma breve Thompson y Troeh(1980) la define como el porcentaje de agua que permanece en un suelo seco al aire. Y determinan que en condiciones normales, los suelos contienen siempre al menos tanta agua como la indicada por el coeficiente de higroscopicidad.

e).- Equivalente de humedad y porcentaje correspondiente a 1/3 bar. El equivalente de humedad la define Gavande (1972) como la cantidad de agua retenida por un suelo de un centímetro de profundidad cuando se le somete a una fuerza centrífuga igual a 1000 veces la gravedad (succión equivalente aproximadamente a 0.98 bars). En determinaciones experimentales, por medio de un aparato de placa de presión, se ha encontrado que el contenido de humedad de la mayoría de los suelos corresponde muy cercanamente a un potencial de agua de 1/3 bar.

f).- Porcentaje correspondiente a 15 bars. Gavande (1974) lo expresa como la cantidad de agua retenida por un suelo sometido a una diferencia de presión de 15 bars a través de una membrana permeable de agua. Representa un equipotencial en la vecindad del punto de marchitez permanente.

Las constantes de humedad del suelo antes descritas han sido muy difundidas por varios investigadores, no obstante dos han sido aceptadas universalmente las cuales son: capacidad de campo y el punto de marchitez permanente.

Hudson (1967) expone tres atributos del sistema del suelo de acuerdo al estado de humedad. Uno es la cantidad de agua disponible que el suelo contiene, sin referencia a su tensión de humedad (grado de humedad); el segundo es la cantidad por la que es escasa la capacidad de campo, pero sin consideración de cuanta humedad existe aun o sus tensiones (déficit de humedad o grado de sequedad); mientras que el tercero está basado sobre la tensión del agua, pero su referencia a su cantidad absoluta no es considerada (grado de disponibilidad).

5.2.3 Humedad aprovechable

Expresión caracterizada por Kramer (1969) referida a la disponibilidad de

agua del suelo para el crecimiento de las plantas, y la considera como la cantidad de agua retenida en un suelo entre capacidad de campo y el punto de marchitez permanente. Hansen (1975) la define como la diferencia de contenido de humedad del suelo, entre la capacidad de campo y el punto de marchitamiento, que representa aquella que puede ser almacenada en el terreno para su siguiente utilización por las plantas. La humedad utilizable puede ser expresada en tanto por ciento de humedad o en tanto por ciento de volumen.

Storie (1970) considera que la disponibilidad de agua para el uso de la planta es más o menos el 50% de la capacidad de campo total. Hansen (1975) considera un término denominado humedad fácilmente utilizable para definir la parte de humedad utilizable que puede ser extraída por los vegetales sin gran esfuerzo y que representa un 75% aproximadamente de la humedad utilizable total.

Briggs y Shantz citados por Gavande (1972) considera como invariable el contenido aprovechable de humedad de un suelo en su punto de marchitez permanente, cualquiera que sea la especie de planta, sus condiciones y las condiciones meteorológicas del medio ambiente. El mismo autor cita a Slatyer, en donde consigna que el punto de marchitez permanente está determinado más por la característica osmótica de la planta que por las características del suelo. Sin embargo, Gavande (1972) explica que hay suficientes pruebas experimentales para poder afirmar que las plantas pueden absorber agua de ambos límites (capacidad de campo y punto de marchitez permanente), se ha especulado (Thompson y Troeh 1980) mucho sobre la accesibilidad relativa del agua cerca de la capacidad de campo comparada con la próxima al punto de marchitamiento constante en el intervalo definido por los dos puntos antes mencionados.

Por lo general señala Kramer (1969) los suelos de textura fina tienen unos límites más amplios de agua que los suelos de textura gruesa entre la ca-

pacidad de campo y punto de marchitez permanente. En forma análoga Ortiz S. y col. (1984) enmarcan que los suelos arenosos son capaces de retener una lámina alrededor de 2.5 cm de agua de lluvia por cada 30 cm de profundidad del suelo. Los suelos arcillosos a menudo retienen 10 cm por cada 30 cm de espesor. Entre estos dos extremos están los suelos francos y francolimosos que son capaces de retener de 5 a 7.5 cm de lámina de agua.

5.2.4. Factores que afectan a la capacidad de retención de agua útil

Thompson y Troeh (1980) consideran los siguientes factores:

a).- La textura. Los suelos con textura fina tienen una elevada capacidad de retención de agua disponible, debida a sus numerosas partículas pequeñas con una gran superficie total y a su elevado volumen de pequeños poros. En consecuencia, los suelos con textura fina retienen más agua que los dotados de -- textura gruesa.

b).- La estructura. La forma granular es ideal para mantener unas relaciones adecuadas entre el aire y el agua. La presencia de agregados es muy importante en los suelos arcillosos ya que mejora su permeabilidad. Un suelo con estructura es mucho más permeable que otro carente de ella, aun cuando presente la misma textura y densidad.

c).- Tipo de arcilla. Influye en la capacidad de retención de agua útil, tanto directa como indirectamente. El efecto directo se debe a la capacidad de expansión y absorción interna de agua, que exhiben algunas arcillas.

d).- La materia orgánica. Puede influir en la capacidad de retención hídrica de los suelos arenosos. La influencia de la materia orgánica es mucho menor en los suelos de textura fina que en los arenosos, probablemente en los primeros gran parte de ella se encuentra tan íntimamente asociada a las partí-

culas de arcilla, que una misma película de agua envuelva a ambas.

e).- La secuencia de capas en el perfil del suelo. Existe, generalmente, un retraso en el movimiento descendente del agua, cuando aparece un cambio textural drástico en el perfil del suelo. Este retraso, a veces, es lo bastante importante como para aumentar la capacidad de retención hídrica de la capa superior.

5.2.5 Retención de agua por el suelo

Kramer (1969) expresa tres mecanismos principales en la retención de agua por el suelo.

Si el agua es atraída por tensión o presión de un suelo que no se encoge al secar, el aire debe reemplazar al agua en el espacio poroso. Como resultado, se forman superficies curvas de agua entre partículas contiguas de suelo. La tensión superficial que actúa sobre esas superficies curvas de contacto -- equilibra la tensión o presión ejercida sobre el agua, y constituye un mecanismo por el cual el agua es retenida en el suelo. Si, por otra parte, el suelo se contrae progresivamente a medida que el agua se retira, de modo que no puede entrar aire en el espacio poroso, las partículas del suelo se unen más y más. Como esas partículas tienen una carga superficial negativa, se repelen unas a otras, y al ser aproximadas, las fuerzas de repulsión aumentan. El encogimiento y formación correspondiente de fuerzas repelentes equilibra la tensión o presión aplicada para quitar el agua y constituye el segundo mecanismo principal por el cual el agua queda retenida en el suelo.

Un tercer mecanismo que reduce la energía libre e incrementa la retención de agua es la presencia de solutos osmóticamente activos, principalmente sales, en la solución del suelo.

5.2.6 Evaluación de la humedad del suelo

Gavande (1972) hace una importante referencia al mencionar que, los métodos de que se dispone para determinar el estado de humedad aprovechable del suelo son insatisfactorios por varias razones y debido a esto pocos tienen amplia aceptación. Hay gran necesidad de métodos rápidos y exactos para medir la humedad del suelo "in situ", sin causar mucho daño al sitio.

Para evaluar completamente las condiciones del agua del suelo es necesario conocer la energía del agua, la cantidad de agua del suelo y la forma en que las cantidades están cambiando en relación con el tiempo. Estos conceptos implican una evaluación completa del movimiento de la humedad del suelo y de su flujo en éste. Tales evaluaciones completas de la condición de la humedad del suelo no se hace fácilmente. En la actualidad, sólo se dispone de éstas bajo condiciones controladas.

Es difícil evaluar la cantidad de agua en una cantidad dada de suelo, entre otras por las siguientes razones:

a).- El crecimiento disperejo de las plantas y la distribución no uniforme de las raíces producen variaciones en el contenido de humedad del suelo.

b).- Las diferencias en características de infiltración ocasional, variaciones de campo después de una lluvia o irrigación.

c).- Las variaciones de campo en cuanto a estructura del suelo, estratificación y textura, con causas de diferencia en la cantidad de agua retenida por el suelo.

d).- Las alteraciones y cambios de densidad aparente, variaciones en volumen poroso, y distribución de tamaños de los poros, son causa de que la condi-

ción de la humedad de campo varía considerablemente.

e).- La irregularidad en la topografía de la superficie da por resultado una mojadura dispersa del suelo.

f).- La humedad del suelo está cambiando constantemente y sólo se muestra una vez en el sistema dinámico.

Kramer (1969) clasifica en dos grandes bloques los métodos utilizados en la medición del contenido hídrico del suelo.

1o.- Mediciones directas del contenido hídrico del suelo.

Las mediciones básicas de la humedad del suelo se efectúan en muestras de un suelo de conocido peso o volumen; el contenido hídrico se expresa en gramos de agua por gramos de suelo secado en horno o en gramos de agua por centímetro cúbico de suelo secado en horno. Se suelen recoger muestras para la determinación gravimétrica con un tubo de muestreo o un taladro para el muestreo. Las muestras para determinaciones de volumen suelen recogerse en recipientes especiales de volumen conocido con un sacamuestras de tubo, la del lado de un perfil de suelo expuesto. La densidad del grueso del suelo se puede determinar por separado. El agua suele ser retirada del suelo mediante desecación en horno a peso constante.

2o.- Mediciones indirectas del contenido hídrico del suelo. La mayoría de los muchos métodos para medir el contenido hídrico del suelo son indirectos. Esto significa que la propiedad medida debe estar relacionada con el contenido hídrico por algún tipo de procedimiento de calibración. Los métodos son:

a).- Dispersión de neutrones.

En este método se asocia una cantidad de neutrones que arroja el aparato

con la cantidad de hidrógeno presente en el agua. Como la cantidad de hidrógeno asociada con el agua del suelo es, generalmente, mucho mayor que la cantidad asociada con arcilla, materia orgánica u otras partículas del suelo, el flujo de los neutrones lentos es proporcional a la cantidad de agua en volumen aparente de suelo.

b).- Absorción de rayos gamma.

Ashton citado por Kramer (1969) describió la medición de los cambios de contenido hídrico de los suelos por un cambio en la cantidad de radiaciones que atraviesa el suelo depende de la densidad de éste que varía muchísimo al cambiar su contenido hídrico.

c).- Capacitancia eléctrica.

La base de este método es el hecho de que el agua tiene una constante dieléctrica mucho más alta que el suelo seco (80:5) de ahí que los cambios en contenido hídrico se reflejan en cambios de capacitancia.

d).- Conductividad térmica.

El principio básico de este método es que la conducción del calor a través del suelo disminuye al disminuir el contenido hídrico.

e).- Método del lisímetro.

El lisímetro consiste en un recipiente lleno de suelo, que puede ser un monolito o un perfil reconstruido, colocado a nivel de la superficie del piso. Son exactos para el volumen de suelo que contienen, siempre que haga la correlación correspondiente a los cambios de peso de las plantas cultivadas en ese suelo.

De lo anteriormente señalado se desprende lo siguiente, para la estimación de las constantes de humedad es necesario tomarlas a nivel de campo, para que estas ofrezcan un valor confiable, de acuerdo a las condiciones que prevalecen "in situ". Dos constantes de humedad son aceptados ampliamente: la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente, que por su variabilidad natural no tienen límites fijos en su diferenciación, por consecuencia cambian frecuentemente aún para un mismo suelo. Existe un total desacuerdo entre los investigadores en especificar la cantidad de humedad que puede un cultivo extraer dentro de los límites de capacidad de campo y el punto de marchitez permanente.

Algunos investigadores señalan que los cultivos absorben solo una fracción de la humedad disponible total, llamándola humedad fácilmente utilizable, este criterio se fundamenta al trabajo necesario que realiza la planta para absorber la humedad. Este concepto adquiere su mayor validez, cuando se aplica a cultivos que son muy sensibles a la disponibilidad de agua, sin embargo, es aplicable a cualquier otro cultivo.

Otros investigadores opinan, que los cultivos absorben humedad a medida de sus necesidades hídricas, sus límites de absorción están dados por las características fisiológicas del cultivo más que por las propiedades de los suelos. Las constantes de humedad de los suelos deben estar correlacionadas con los efectos fisiológicos que presentan las plantas al sufrir de sequía como de exceso de humedad. Esta es quizás la vertiente más razonable, pues considera la relación suelo-agua-planta.

Estudios más detallados han demostrado que los cultivos pueden en condiciones especiales extraer un poco de humedad fuera de los límites de la capacidad de campo y punto de marchitez permanente.

La evaluación de la humedad del suelo debe ser tal, que refleje la cantidad de humedad presente en éste, y obtenida ésta de acuerdo a la naturaleza y condiciones en que se encuentra el suelo "in situ" en un momento dado.

La forma de evaluar la humedad presente en el suelo debe ser objetiva y directa, bajo estos puntos se ha considerado universalmente como medición básica el método gravimétrico. Este método es tomado como referencia para calibrar métodos indirectos como son: el de dispersión de neutrones, el lisímetro, el de bloques de yeso por mencionar algunos. Existe la constante necesidad de buscar métodos rápidos y exactos para medir la humedad del suelo "in situ", sin causar mucho daño al sitio.

5.3 Evapotranspiración

5.3.1. Terminología

Villalpando (1985), así como otros autores han utilizado la siguiente terminología en sus investigaciones:

Evaporación.- Se define como la tasa de pérdida de agua de la fase gaseosa de una superficie abierta de agua o suelo húmedo a través de procesos físicos. Se mide en mm/día.

Transpiración.- Se define como la tasa de pérdida de agua a través de una planta, la cual es regulada por procesos físicos y biológicos. Se mide en mm/día.

Evapotranspiración (ET).- Es la tasa de pérdida de agua de la planta por transpiración más la evaporada del suelo. Se mide en mm/día.

Evapotranspiración potencial (ETP).- Es la tasa de ET de un cultivo de

altura uniforme, sano y que cubre completamente el suelo y sin limitaciones de humedad en el suelo.

Evapotranspiración real (ET_r).- Es la tasa de ET igual o más pequeña que la ETP, la cual es afectada por el nivel de humedad disponible del suelo, salinidad, tamaño del campo de cultivo, etc.

Evotranspiración del cultivo (ET_c).- Es la tasa de ET para un cultivo creciendo sano bajo condiciones óptimas de suelo.

La ET_c incluye pérdida de agua por transpiración y por evaporación del suelo y de las hojas del cultivo. $ET_c = ETP \times K_c$ donde K_c es el coeficiente de cultivo el cual varía dependiendo de la etapa de desarrollo de la planta.

Uso consuntivo (UC).- Es la cantidad de agua que es necesario suministrar para que sea utilizada por los cultivos en la construcción de tejidos, en la transpiración realizada por la planta y en la evaporación realizada por el suelo durante todo el ciclo vegetativo del cultivo.

Necesidades de agua (WR).- Es la cantidad de agua, cualquiera que sea su origen, necesaria para el desarrollo satisfactorio de una cosecha específica. Intervienen ajustes de tipo práctico, para tener en cuenta factores como la madurez del cultivo, evaporación, etc.

5.3.2. Condiciones que afectan a la ET.

Hansen (1975) señala que la evapotranspiración depende de la temperatura, de las prácticas de riego, de la duración del período del crecimiento, de las precipitaciones y otros factores. El volumen de agua transpirado por las plantas depende, en gran parte, del agua que tienen a su disposición, de la temperatura y humedad del aire, del régimen de vientos, de la intensidad luminosa del sol, del estado de desarrollo de la planta, de su follaje y de la naturaleza

za de sus hojas.

Chang citado por Nuño (1988) estableció que la evapotranspiración potencial está afectada por la radiación en 80%, la humedad relativa en 6% y el viento en 14%, considerando que la temperatura del aire está determinada principalmente por la radiación solar.

En la práctica resulta difícil distinguir entre el agua evaporada del suelo, la humedad retenida que permanece en la superficie de las plantas después de una precipitación y que se evapora a continuación y la transpiración. Por esta razón, a veces se designan todas con el término de evapotranspiración (Barry y Chorley 1972). Gavande (1972) expresa que la evaporación y la transpiración son procesos físicos similares.

Barry y Chorley (1972) aclaran que la evaporación tiene lugar siempre que se comunica energía a una superficie de agua capaz de evaporarse si la presión de vapor del aire está por debajo del valor correspondiente a la saturación.

La pérdida de agua que experimentan las superficies de las plantas principalmente las hojas, es un proceso muy complejo que recibe el nombre de transpiración. Tiene lugar cuando la presión de vapor en las células de las hojas es mayor que la presión de vapor atmosférico (Miller 1975).

Hansen (1975) hace énfasis al señalar que durante el período de desarrollo de un cultivo, hay un continuo movimiento del agua de riego que pasa desde el suelo al interior de las raíces, sube por los tallos y sale por las hojas de las plantas. La velocidad del movimiento del agua a través de la planta varía ampliamente de 0.3 a 1.8 m por hora; pero en condiciones de temperatura excepcionalmente altas, de atmósfera seca y de tiempo ventoso, esta velocidad puede aumentar enormemente.

Las plantas retienen solo una pequeña parte del agua que absorben las raíces. Si la velocidad de evaporación en las hojas excede la de absorción por las raíces, se inicia el proceso de marchitamiento y el desarrollo del vegetal se ve dificultado. Por otro lado, si las condiciones son tales que estimulan la excesiva transpiración, el agua utilizable no se emplea de un modo eficaz (Miller 1975).

Baver y col. (1980) explican que hay transferencia de agua en fase de vapor hacia las capas profundas del suelo debido a que el agua se mueve de una capa de suelo caliente a una fría, esto es debido al constante cambio térmico que sucede en el perfil del suelo. El movimiento de vapor de agua es de abajo hacia arriba cuando la superficie está más fría. Este movimiento del agua en estado de vapor tiene importancia práctica en el suministro de pequeñas cantidades de agua a las semillas para su germinación cuando de otro modo carecerían de ella. La circulación de agua en fase de vapor hacia abajo en los días cálidos y de su fase líquida hacia arriba por la noche propicia la concentración de materiales solubles en la superficie del suelo.

5.3.3 Métodos para estimar la evapotranspiración

Existen varias técnicas por las cuales la evapotranspiración puede ser determinada. Villalpando cita a Tanner (1967) quien dividió los métodos existentes en tres tipos:

- a).- Métodos hidrológicos de balance hídrico, incluye los lisímetros.
- b).- Métodos micrometeorológicos, están diseñados para medir evapotranspiración real.
- c).- Métodos empíricos, estiman la evapotranspiración potencial, ya que estos están fundamentados únicamente sobre variables climatológicas estándar.

Generalmente se usan sobre regiones geográficas grandes donde se requiere de estimaciones de evapotranspiración potencial.

Aidárov, Golovánov y Manáev (1985) han distinguido dos grupos principales de métodos de determinación del consumo total de agua:

1o.- Métodos, basados en la medición directa del consumo de agua total en condiciones de campo como resultado de la determinación de todos los componentes del balance hídrico en la capa de suelo se calcula con lisímetros. Estos métodos permiten determinar exactamente la evapotranspiración conforme a las condiciones concretas naturales y agrícolas de los cultivos.

2o.- Métodos basados en la determinación por medios experimentales de la interrelación entre la evapotranspiración de los cultivos y las condiciones climáticas, meteorológicas y agrícolas expresadas en forma de distintos índices y coeficientes. Estos métodos se presentan por medio de dos grupos de fórmulas de cálculo entre los cuales el primero y más numeroso está compuesto por fórmulas cuyos parámetros no reflejan una relación directa con las leyes cuyos parámetros son índices directos de las leyes de la evaporación física. Los métodos de este grupo han obtenido una difusión más amplia.

Gavande (1972) considera que para que las fórmulas de evapotranspiración sean útiles, es necesario que sean de fácil aplicación y que se basen en datos y medidas disponibles o fáciles de obtener. Se han propuesto varias fórmulas de uso más común que otras; su efectividad depende, en gran parte, de las condiciones específicas de campo.

Jensen citado por Villalpando (1985), realizó una evaluación de varios métodos para estimar evapotranspiración potencial desde el punto de vista de precisión y elementos climáticos necesarios para su cálculo. Este autor concluyó

que no existe un método universal que sea adecuado bajo todas las condiciones climáticas, y que el método seleccionado dependerá de los datos meteorológicos disponibles, del entrenamiento y experiencia del usuario, así como de la precisión requerida en las estimaciones.

Hansen (1975) expresa que hay varios sistemas para determinar la cantidad de agua consumida por los cultivos y la vegetación natural. Los problemas que surgen son numerosos, independientemente del método empleado. El origen del agua utilizada para la vida de la planta, ya sea de lluvia solamente, o de lluvia y de riego, o subterránea y de lluvia, es un factor que pesa en la elección del método a seguir.

Doorenbos y Pruitt citados por Villalpando (1985) indicaron que hay varios métodos para estimar la evapotranspiración de un cultivo de referencia, por lo que la elección del método deberá basarse en el nivel necesario para predecir la evapotranspiración potencial. Y mencionan que los métodos de Penman y de la radiación solar proporcionan resultados óptimos tratándose de períodos de 10 días, pero que el método del tanque evaporímetro puede ser superior cuando esté situado en un emplazamiento excelente y haya vientos débiles.

Así pues, de acuerdo a los autores mencionados existen diferentes métodos para estimar la evapotranspiración, los cuales describiremos brevemente.

1.- Tanque de evaporación

Se ha sugerido que se mida la evaporación de tanques abiertos como estimación de la evapotranspiración potencial, y que se aplique un factor empírico de corrección para convertirla a evapotranspiración o uso consuntivo. Los que usan este método suponen que la evaporación se mide integra, en una sola medida, todos los factores meteorológicos que afectan la pérdida de agua de un sue

lo cultivado.

2.- Método de Penman

Este método se enfoca desde un punto de vista más teórico que los demás métodos existentes, mostrando que la evapotranspiración está íntimamente relacionada con la energía solar recibida. El principal inconveniente del método de Penman consiste en que no hay suficientes mediciones climáticas en la mayoría de las localidades.

3.- Método de Thornthwaite

Thornthwaite encontró una fórmula empírica basada en la temperatura. Teóricamente demostró que la temperatura constituye un buen índice de la energía en una zona de equilibrio fundamental. Introduce el factor latitud. Da buenos resultados en zonas húmedas y con abundante vegetación.

4.- Método de Blaney-Criddle

Este método utiliza la temperatura y las horas de iluminación diaria. Fue obtenido para regiones áridas y semiáridas. Da una estimación de la evapotranspiración verdadera más que de la potencial, ya que se basa en correlaciones de prácticas de riego existentes. Es una fórmula empírica calculada para condiciones de aridez y da, por tanto, buenos resultados únicamente cuando se emplea en esas condiciones.

5.- Método de Lowry-Johnson

Este método consiste en un procedimiento empírico basado en datos recogidos en la zona que se aplica. Se parte de la premisa que existe una relación lineal entre el calor efectivo y la evapotranspiración. El calor efectivo es tomado como la acumulación en días grados, de las temperaturas máximas diarias

superiores a 32° F durante la estación de crecimiento, y el uso de consuntivo.

6.- Método de radiación solar

Este método toma en cuenta la radiación solar, a partir de la nubosidad o de la insolación. Utiliza un factor de ponderación que depende de la temperatura y la altitud y un factor de ajuste, el cual depende de las condiciones promedio de la humedad relativa y viento durante el día.

La evapotranspiración es importante en la estimación del uso consuntivo de los cultivos. La selección del método para obtener la evapotranspiración, debe ser tal que se adapte a las condiciones climáticas de la zona de interés, a la infraestructura presente, a la facilidad de aplicación que tenga dicho método y la exactitud con que se quiera obtener la evapotranspiración. El más adecuado a nuestro medio es el método del tanque evaporímetro tipo A.

5.4 Balance de humedad

5.4.1 Generalidades

Aidárov y Col. (1985) definen el balance de humedad como la expresión cuantitativa del conjunto de formas de entrada de la humedad del suelo, su gasto y la variación de las reservas de humedad. El balance de la humedad del suelo, su gasto y la variación de las reservas de humedad. El balance de la humedad del suelo se realiza para una capa de suelo determinada en un intervalo de tiempo determinado. Con frecuencia, dicho balance se realiza para una hectárea y se expresa en m³/Ha o en mm de la capa de agua.

Frere, Rijks y Rea citados por Velázquez (1985) señalaron la importancia del balance de humedad para definir el período durante el cual la vegetación será probablemente más activa así como el período real de crecimiento de los

cultivos perennes y el ciclo vegetativo de los cultivos anuales. Villalpando (1985) afirma que el balance de humedad del suelo es una herramienta útil en el cálculo de la humedad del suelo. Mediante su estimación es posible obtener índices de sequía o de exceso de humedad, los cuales son parámetros valiosos en la caracterización del potencial agroclimático de una región.

Otra utilidad que presentan los balances hídricos, es que mediante su cálculo se pueden estimar las necesidades de agua de los cultivos, así el momento más oportuno para aplicar los riegos.

5.4.2 Componentes del balance hídrico

Aidárov y col. (1985) clasifican los componentes del balance hídrico en dos apartados: el primero de ellos son los componentes de ingreso fundamentales que comprenden las precipitaciones atmosféricas, la afluencia de las aguas superficiales, la absorción capilar por parte de las aguas subterráneas, la condensación de humedad en forma de vapor que proviene de la atmósfera y finalmente, en las tierras irrigadas, la entrada de las aguas de riego; el segundo son los componentes de gasto fundamentales los cuales son: el escurrimiento de las aguas superficiales, la evaporación desde la superficie del suelo, la toma de agua para la transpiración por las plantas y la infiltración de una parte de la humedad hacia las capas que yacen profundamente.

Villalpando (1985) asigna que los componentes para calcular un balance hídrico, básicamente son: precipitación y/o irrigación, evapotranspiración, capacidad de almacenamiento de humedad del suelo, percolación y escurrimiento.

Tres componentes básicos han sido utilizados por numerosos autores en el balance de humedad: a) la precipitación pluvial, b) la evapotranspiración y c) el almacenamiento de humedad por el suelo. Todos ellos caracterizados por

un factor común, la gran tasa de agua que fluye a través de cada uno de ellos en la dinámica del balance hídrico.

a) Evapotranspiración

La evapotranspiración es un componente importante en el cálculo del balance de humedad.

Baver y col. (1980) indican que la pérdida de agua de la superficie del suelo por evaporación e indirectamente del suelo por evaporación e indirectamente del suelo por transpiración de las plantas son importantes procesos de pérdida de agua. Thompson y Troeh (1980) puntualizan al describir que cerca de una quinta parte de la precipitación que cae sobre una tierra de cultivo se pierde por evaporación. La evaporación a partir de la superficie del suelo suele ser efectiva hasta una profundidad de 5 a 8 cm. Por consiguiente una precipitación de 10 mm se perderá por evaporación en su mayor parte, si viene seguida de varios días secos. La tasa de evaporación en la superficie de un suelo muy húmedo es casi la que muestra una superficie abierta de agua.

Montgomery y Kieselbach citados por Oliver (1979), comprobaron que las necesidades de agua del maíz eran proporcionales a la evaporación desde una pequeña superficie libre de agua y llegaron a la conclusión de que eran aproximadamente al déficit de saturación de la atmósfera.

Un punto de vista que se deduce de las investigaciones agrícolas y que fue señalado por Briggs y Shantz, al ser citados por Oliver (1979), es el hecho de que el coeficiente de transpiración o eficiencia de la planta sufre cambios durante el día y durante el período de crecimiento, especialmente hacia el final del ciclo vegetativo, cuando se acerca el momento de recolección.

b) Precipitación pluvial

Según Grimaldi (1969), el agua es un factor limitante de la vegetación - cuando desciende a valores mínimos independientemente de la acción debida a - los otros factores climáticos. De acuerdo con Henin, Gras y Monnier (1972) las precipitaciones en forma de lluvia o de nieve son las que constituyen, con mucho, las ganancias más importantes en el balance de humedad. Foth (1986) aclara al expresar que la previsión potencial del agua disponible para las plantas depende principalmente del clima.

No toda el agua que proviene de la precipitación pluvial es utilizada por los cultivos. Existen pérdidas por evaporación, escurrimiento superficial y - percolación, por otro lado los cultivos consumen otra fracción de la precipita - ción total. Si sumáramos las pérdidas de agua, la utilizada por los cultivos y la almacenada en el suelo nos resultaría la cantidad de agua total precipitada.

Numerosos autores han tratado de diferenciar la cantidad de agua precipi - tada de la utilizada por los cultivos, para tal objeto se ha empleado un térmi - no llamado precipitación efectiva, que es la referida a la cantidad de agua -- precipitada útil para los cultivos exclusivamente.

Lo anteriormente descrito concuerda con lo expresado por Miller (1975) al apuntar que la lluvia efectiva difiere considerablemente de la registrada debi - do al agua que se escapa con las corrientes acuosas y la evaporación.

Hershfield citado por Bernache (1989), la lluvia efectiva es la porción - de la lluvia total ocurrida durante el ciclo vegetativo, que es utilizada para satisfacer sus necesidades hídricas. De la misma cita a Shannon "et al", que - define la lluvia efectiva como aquella proporción de la precipitación pluvial total, que es almacenada al nivel del sistema radical del cultivo y el tipo de

suelo así como la distribución, cantidad e intensidad de la misma.

Una definición contraria a los anteriores autores la dan Heermann y Shull citados por Bernache (1989) y la expresan como la lluvia total ocurrida, menos las pérdidas por escurrimiento superficial y percolación profunda. Señalan, en los cultivos de secano, la capacidad de retención de agua útil o disponible es una característica que determina, de manera considerable, la longitud del período seco que las plantas pueden tolerar.

Penman citado por Ortiz S. y col. (1984), considera que cada planta no tiene una profundidad fija de enraizamiento sino que tiende a adaptarse en proporción inversa a la capacidad de retención de agua en el suelo, así que la capacidad efectiva de almacenamiento de todos los tipos de suelos tiende a ser casi uniforme para un cultivo dado.

La Organización Meteorológica Mundial (1982), determinó que la variación en el tiempo y en el espacio de la humedad del suelo acumulada es el elemento más importante del balance hídrico.

Russell y Danielson citados por Jugenheimer (1981) señalaron que en gran parte de la Faja Maicera de Estados Unidos, la demanda de agua para producir elevados rendimientos de maíz es superior en un 50% o más a la lluvia normal en los meses de junio, julio y agosto. Por lo tanto, los elevados niveles de producción dependen en gran medida de la utilización del agua almacenada en el perfil del suelo.

Jugenheimer (1981) cita a Leeper "et al", los cuales estudiaron bajo condiciones climáticas variables, el efecto de la humedad almacenada en el suelo disponibles para la planta (HASDP) sobre el rendimiento del maíz. Los rendimientos de maíz de 12 años y en localidades se correlacionaron con la precipi-

tación, la temperatura media máxima y la HASDP, para 10 períodos semanales, 6 semanas antes y 4 después de la floración. Los valores de la HASDP se calcularon de muestras gravimétricas que fueron ajustadas para profundidad radicular, densidad aparente, 1/3 y 15 atm. Se encontraron incrementos significativos en el rendimiento con el aumento de la profundidad, pero el grado de incremento de rendimiento dependió completamente de las condiciones meteorológicas. Las ecuaciones de regresión aplicadas a los datos combinados (precipitación, temperatura y HASDP), explicaron el 80% de la variación del rendimiento y esta R^2 fue esencialmente la misma cuando la profundidad radicular o la capacidad de retención del agua disponible reemplazó a la HASDP. La humedad inadecuada fue más detrimental cuando la temperatura fue superior y la magnitud de este efecto fue mayor durante la floración.

5.4.3 Metodología para efectuar el balance de humedad

El balance hídrico, cuando se aplica a fines agroclimatológicos genera -- les, deberá fundarse en los valores medios de los parámetros: evapotranspiración y lluvia (Frere, Rijks y Rea citados por Velázquez 1985).

Si se conoce la capacidad de almacenamiento de humedad del suelo, es posible calcular su balance de humedad comparando precipitación más irrigación con la tasa de evapotranspiración. Los términos percolación y escurrimiento pueden medirse o estimarse (Villalpando 1985).

El mismo autor señala que el balance de humedad puede calcularse a nivel diario, semanal o mensual, dependiendo de los objetivos. Con fines operativos (manejo de agua de riego) su cálculo a nivel semanal puede ser satisfactorio en la mayoría de los casos, mientras que para fines de planeación período de 10 a 30 días pueden ser adecuados.

Shaw citado por Velázquez (1985) indicó en un estudio donde presenta una metodología para simplificar el cálculo del balance de humedad del suelo en el cultivo del maíz. Este balance fue estimado a nivel diario sobre la base de humedad disponible y hasta la profundidad de extracción de raíces de maíz. Para ello se utilizaron datos de humedad del suelo estimada y observada en los períodos de abril - junio, junio - agosto y agosto - septiembre. La información del programa de cómputo para estimar el balance de humedad fue: precipitación y evaporación diarios, coeficiente de cultivo, profundidad radical del maíz, coeficiente de evapotranspiración, humedad inicial y humedad disponible.

Entre los resultados mencionó que existe una alta correlación entre los datos observados y los estimados de humedad del suelo para todos los períodos estudiados y concluye que este método puede ser usado en un amplio rango de condiciones de clima y aplicarlo a otras áreas siempre con el cultivo de maíz.

Frere y Popov citados por Villalpando (1985) presentaron un método formulado por la FAO para establecer el balance hídrico. Este método consiste en la utilización simultánea de datos reales sobre precipitación y de información climatológica para calcular las necesidades de agua de los cultivos. Su fundamento es el balance hídrico acumulativo registrado a lo largo de la estación de crecimiento completo de un cultivo dado, establecido por períodos sucesivos de 10 días, y no es más que la diferencia entre la precipitación que ha recibido el cultivo y la pérdida por éste y por el terreno.

Este método fue aplicado en diversos ambientes y cultivos para diferentes regiones del mundo como Asia, Africa y América del Sur.

Encontrando que el método de balance hídrico da una indicación suficiente acerca de la satisfacción de las necesidades hídricas del cultivo en estas áreas del mundo donde el agua representa el mayor factor crítico de los culti-

VOS.

5.4.4 La sequía y su efecto sobre los cultivos

Reyna T. Citada por Bernache (1989) señala que la sequía intraestival, o período relativamente seco que se presenta en la temporada de lluvia, afecta una gran parte del país. Estos autores, al estudiar las áreas afectadas por dicho fenómeno hicieron notar que de las 1980 estaciones meteorológicas que funcionan en el país, dentro del lapso de 1921 a 1960, cerca de la mitad, presentan este receso de lluvia. Le han llamado otros autores a esta etapa, relativamente seca, "canícula" "sequía de agosto" o "calma de agosto"; y los autores antes mencionados le han denominado "sequía intraestival" o "sequía de medio-verano".

Quizenberry (1987) expuso que el estudio de la resistencia a la sequía requiere una definición objetiva del término sequía, pero hasta la fecha, no se ha propuesto una definición de aceptación universal. Un artículo de la World Meteorological Organization sobre las definiciones de sequía, incluyó 14 que se basaban en la precipitación, 13 en la precipitación y temperatura medias, 11 en los índices climáticos y estimaciones de evapotranspiración, y 15 se basaban en los parámetros suelo-agua-planta y de los cultivos.

Dicho autor define la sequía como, cualquier período durante el cual, las deficiencias de la planta y/o del suelo, afectan el crecimiento y desarrollo de las plantas cultivadas.

Respuestas de los cultivos a la sequía y a la saturación.

Parsons (1987) describe que entre las variables ambientales que intervienen en el crecimiento y desarrollo de la planta, la deficiencia de agua o tensión hídrica es una de las más importantes. Todas las plantas superiores están

expuestas a la desecación, al menos una vez durante su ciclo de vida, cuando la semilla madura y se seca. Por lo común, las plantas están expuestas a cortos períodos de sequía ligera e intensa durante sus fases de crecimiento vegetativo.

Los cultivos responden al efecto hídrico de varios modos:

1.- Cambios morfológicos

Desprendimiento de las hojas

Cambios del ángulo de hoja

Factores de la raíz

2.- Cambios fisiológicos

Cera cuticular de la hoja

Ajustes osmóticos

Alargamiento de la hoja

Comportamiento de los estomas

Fotosíntesis

Traslocación

Acumulación de prolina.

Krizek (1987) enumera los efectos fisiológicos y anatómicos causados a las plantas por la saturación. Los efectos característicos de la inundación sobre el desarrollo de los tallos incluyen el alargamiento reducido, clorosis, senescencia, abscisión de las hojas inferiores, marchitamiento, hipertrofia, formación de raíces adventicias sobre la porción inferior del tallo, formación de lenticelas, formación de aerenquima, enrollamiento de la hoja y la disminución de la tasa de crecimiento.

Efectos del déficit de humedad sobre el maíz

Domingo y Robins, citados por Velázquez (1985) consignan que los efectos sobre el rendimiento y desarrollo de la planta sometida a un severo déficit de humedad en un estado específico de crecimiento del maíz. En su trabajo utilizaron híbridos de maíz sometidos a tratamiento de riego combinados en diferentes etapas de desarrollo del maíz. Sus conclusiones indicaron que la pérdida de humedad del suelo a porcentaje de marchitez en un cierto estado de desarrollo fisiológico del cultivo del maíz, abate marcadamente el rendimiento de grano.

Si se presenta este déficit uno o dos días durante el período de polinización reduce el rendimiento en un 22%; y si es de seis a ocho días en esta misma etapa lo reduce en un 50%.

Como se mencionó, el valor total de la aplicación del balance de humedad es en zonas donde la cantidad y distribución de lluvia puede afectar a los cultivos. Es una herramienta útil para estimar las necesidades de agua de los cultivos, en obtener zonas de diferenciación agroclimatológica y en determinar zonas de sequía.

La información que ofrece el balance hídrico dependerá de los valores promedio de sus componentes y del método utilizado, que deberá ser el indicado para la zona de interés. La evapotranspiración, precipitación y la capacidad de almacenamiento de humedad del suelo son los componentes primordiales del balance hídrico, a consecuencia, de que a través de estos procesos fluyen grandes tasas de agua que repercuten considerablemente en el balance hídrico.

VI MATERIALES Y METODOS

6.1 Localización

El municipio de Ameca, se encuentra en la parte centro-oeste del Estado de Jalisco, entre las coordenadas extremas $20^{\circ} 21' 45''$, $20^{\circ} 38' 52''$ de latitud norte y $103^{\circ} 52' 07''$, $104^{\circ} 16' 49''$ de longitud oeste. Con una altura sobre el nivel del mar que va desde los 900 hasta los 2600 metros. En la figura 1 se presenta el plano municipal de Ameca.

Según los criterios utilizados por Thornthwaite, modificados por Contreas, su clima es de carácter semiseco, de régimen pluvial monozónico, que concentra el 65.6% de precipitación dentro de los tres meses más lluviosos (junio, julio y agosto) y semicálido sin cambios térmicos invernales bien definidos, lo anteriormente descrito se encuentra en la fórmula $C(oip)B',a'$.

Geológicamente los suelos del valle son de origen lacustre compuestos por lutitas, areniscas y conglomerados, cubiertos por material aluvial.

El municipio está constituido por tres formaciones orográficas llamadas: Sierra de Ameca, que se ubica en la parte noreste del municipio, predominan las rocas ígneas, riolitas o graníticas; Sierra de los Pericos, también encontrada en la parte noreste del municipio, se compone de rocas basálticas y Sierra de Tetilla ubicada en la parte sureste del municipio constituida por riolita, basalto y granito.

Hidrológicamente el municipio se encuentra con una corriente fluvial natural llamada Río Ameca, que va desde el este al oeste.

PLANO MUNICIPAL DE AMECA

SIMBOLOGIA

LIMITE ESTATAL	---
LIMITO DE CENTRO DE DESARROLLO	—
LIMITE MUNICIPAL	—
NUMERO DE ZONAS	—
CARRETERA PAVIMENTADA	—
CARRETERA DE TERRACERIA	—
BRECHA	---
VIA DE FF. CC.	—
RIOS	—
FRESCAS	—
CARRERA MUNICIPAL	—
POBLADOS O EJIDOS	—

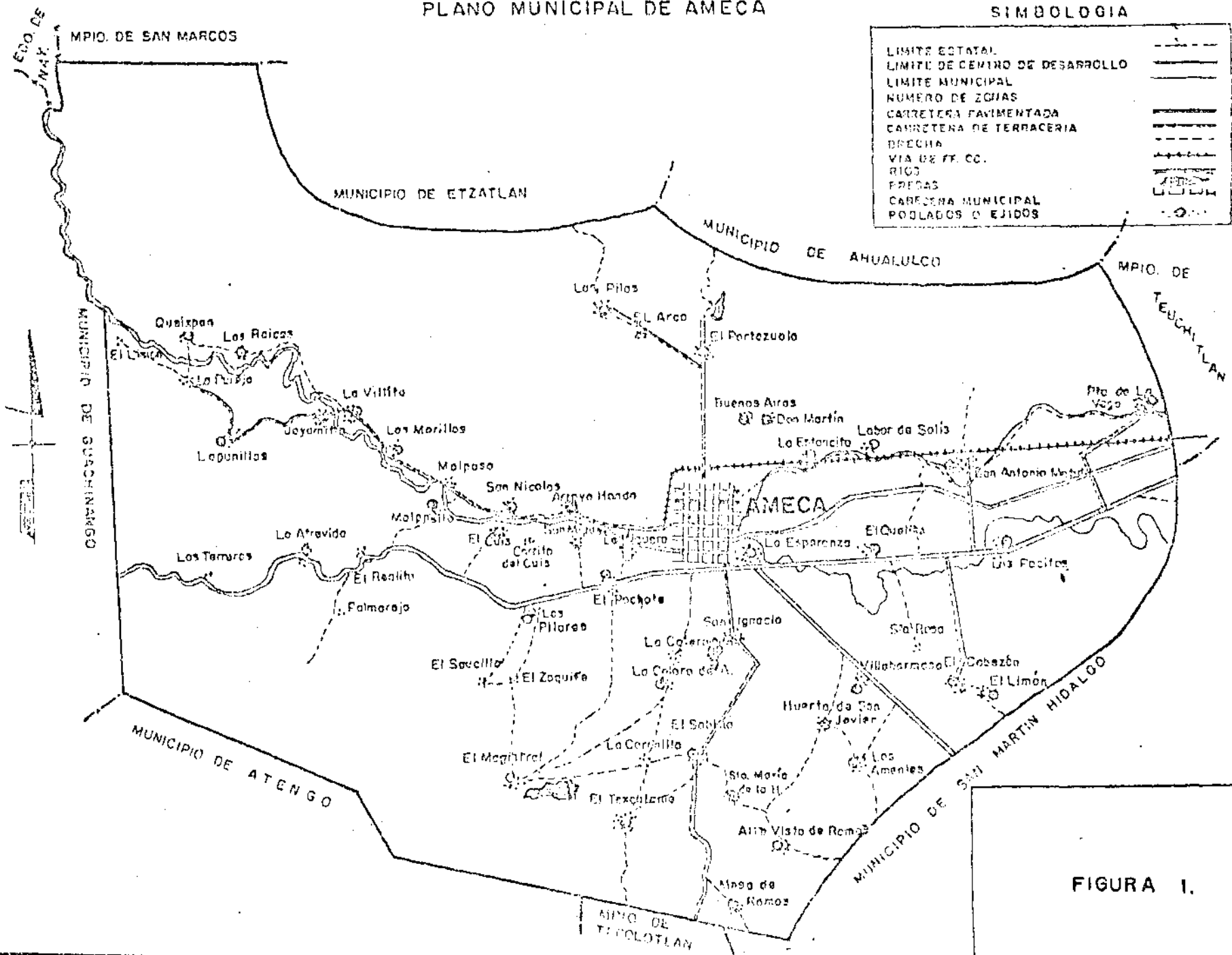


FIGURA 1.

6.2 Ubicación de los sitios de muestreo

La distribución de los sitios de muestreo se realizó de tal forma que adquirieran una máxima representatividad de la zona de estudio. Para que la representatividad de los sitios de muestreo adquiriera un grado de confiabilidad, se seleccionaron en base a sus características edafológicas de más extensión, y - en aquellos sitios que año con año se practica la rotación maíz-sorgo, todos - los sitios se encuentran en zona de temporal a excepción del sitio ubicado en la granja El Brillante. En la figura 2 se presenta la ubicación de los sitios de muestreo.

La ubicación de los sitios es la siguiente:

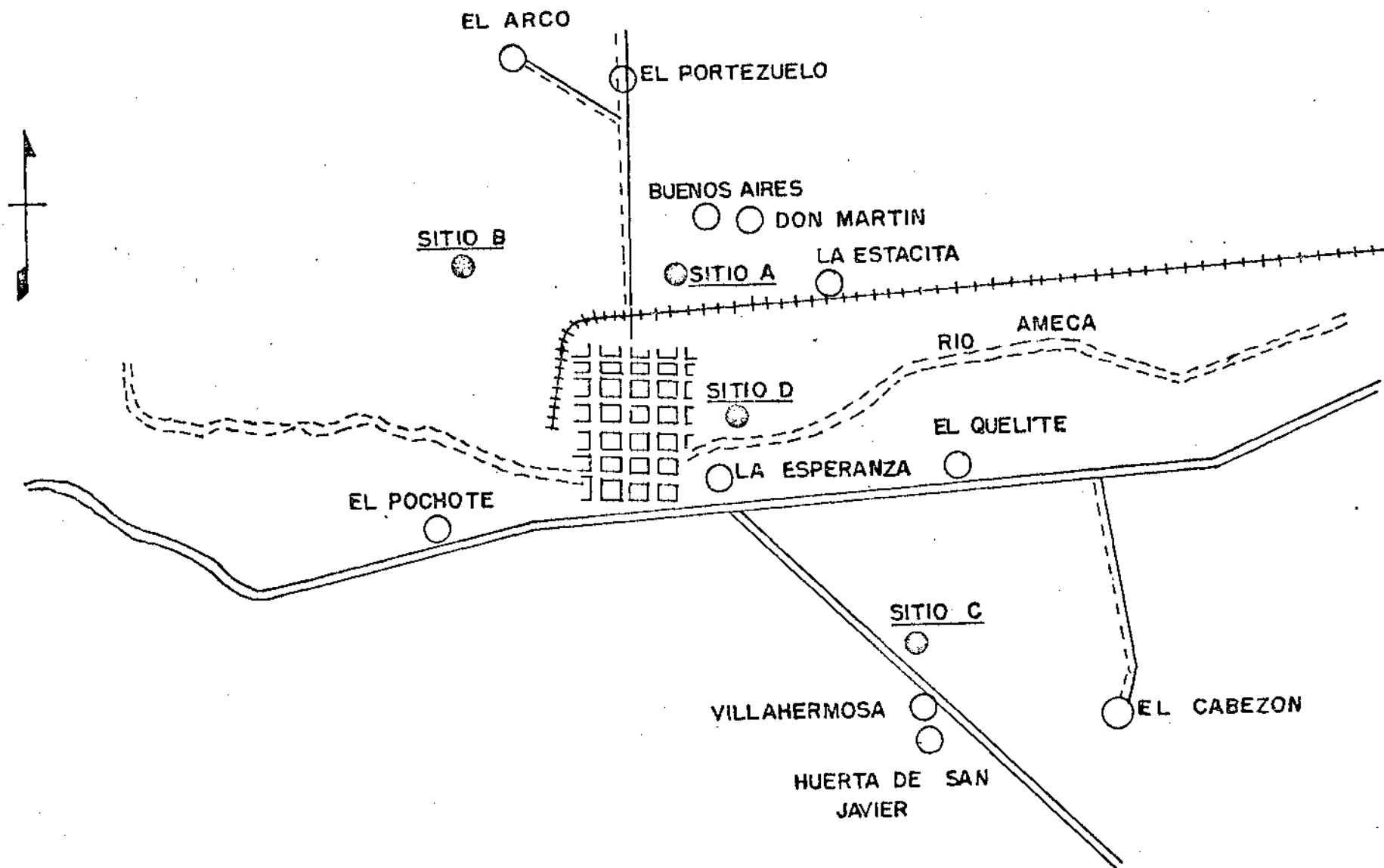
Sitio A. Se ubica aproximadamente a un kilómetro al norte del municipio de Ameca, forma parte de la granja El Brillante. Al oeste colinda con el camino que va hacia el Ejido El portezuelo. Es propiedad del Sr. Abraham Aguilar - Romero.

Sitio B. Se encuentra en el Ejido Ameca, a dos kilómetros al noroeste - del municipio. El productor es el Sr. Jesús Alfonso de León Tejeda.

Sitio C. Se localiza al sureste del municipio de Ameca, a tres kilóme - tros de la carretera Ameca-Sn. Martín Hgo., en el Ejido de Santa María (Villa Hermosa), asignada a la Sra. María Candelaria Ahumada Rubio.

Sitio D. Se sitúa al este del municipio de Ameca, en el Ejido La Esperan - za. Colinda al oeste con el camino que va a la Estancita y al sur con el Río - Ameca aproximadamente 10 m. El productor es el Sr. Ruperto Escobar Virgen.

FIGURA 2.— UBICACION DE LOS SITIOS DE MUESTREO



6.3 Suelos

Como resultado de los fenómenos geomorfológicos y pedogenéticos que predominaron en esta región existe gran diversidad de tipos de suelos. De tal característica se desprenden siete unidades de suelos (FAO/UNESCO), de las cuales se derivan doce subunidades; predominan los regosoles en la zona montañosa, vertisoles en el valle, feozem en la zona de lomeríos y luvisoles en la meseta.

6.3.1 Características generales de los suelos estudiados

Los sitios A y B poseen similares características las cuales son: una capa superficial oscura, suave, rica en nutrimentos, textura media, profundidad que oscila entre 50 y 100 cm. y generalmente pedregosos o gravosos. Su textura hace fácil su manejo; sin embargo, su pedregosidad impide o limita el uso de maquinaria, son aptos para el cultivo de algunos granos y cereales.

Los sitios C y D igualmente poseen similares características: suelos de origen aluvial y de color gris o negro, su profundidad es mayor de un metro, textura fina, presentan grietas profundas y no tienen diferenciación de horizontes. Son suelos de fertilidad alta, limitada por su textura, que dificulta hasta cierto punto su manejo por ser altamente pegajosos cuando están húmedos y extremadamente duros cuando están secos, además la deficiencia de aereación y drenaje también actúan como limitantes.

6.3.2 Descripción del perfil de los sitios de estudio

Sitio A.

Horizontes	Características
A _{1p}	Se encuentra de 0-35 cm. de color gris oscuro, textura franca-arenosa, estructura migajosa, de consistencia ligeramente dura, friable en húmedo, presencia de grava y guijarros, drenaje eficiente muy poroso.
A ₂	Se encuentra de 35-60 cm. de color gris oscuro, franco arenoso, estructura débil y suelta, con cantos rodados y presencia de guijarros, drenaje eficiente, poroso.
Bt	Se encuentra de 60-120 cm. de color gris oscuro, franco-limoso, estructura granular, de consistencia suave, friable y ligeramente dura, húmedo, drenaje eficiente, pequeños poros.

Sitio B.

Horizontes	Características
A _{1p}	Se encuentra de 0-40 cm. de color gris, franco-arenoso, migajoso, de consistencia ligeramente dura, friable, poroso.
A ₂	Se encuentra de 40-65 cm. de color gris, textura arenosa con fragmentos rocosos, sin estructura, drenaje eficiente.
Bt	Se encuentra de los 65-125 cm. de color gris oscuro, franco-arcilloso, granular, de consistencia suave,

friable y ligeramente adherente, húmedo.

Sitio C.

Horizontes	Características
Ap	Se encuentra de 0-25 cm. de color gris oscuro a negro, textura fina, estructura granular, duro en seco, de -- consistencia firme, adherente y pegajoso cuando mojado, presencia de grietas con una anchura de 2-8 cm. y de - 30 a 50 cm. de profundidad, drenaje poco eficiente.
Au	Se encuentra de 25-9- cm. de color negro, arcilloso, - estructura laminar de los 25-35 cm. y de los 35-90 blo <u>que</u> angular, presenta una ligera compactación, defi <u>ci</u> - ciente drenaje.
Bk	Se encuentra de los 90-100 cm. de color negro, arcillo <u>so</u> , su estructura es de bloque angular, firme, adhesi <u>vo</u> y plástico, con pocas concreciones de carbonatos.

Sitio D.

Horizontes	Características
Ap	Se encuentra de 0-35 cm. de color gris oscuro, textura fina, estructura granular, duro cuando seco, ligeramen <u>te</u> macizo en húmedo. Adhesivo y pegajoso cuando mojado presenta grietas de 10-35 cm. de profundidad, drenaje moderado.
Au	Se encuentra de 35-85 cm. de color gris oscuro, arci <u>llo</u> so, estructura de bloque angular, húmedo, pegajoso

y adherente, deficiente drenaje.

- B Se encuentra de 85-120 cm. de color negro, arcilloso, estructura de bloque angular, húmedo, pegajoso y adherente, deficiente drenaje.

Los suelos de los sitios A y B pertenecen al grupo de suelos feozem y los de los sitios C y D pertenecen al grupo de los vertisol de acuerdo con el sistema de la FAO/UNESCO.

6.3.3 Características físicas y químicas de los sitios de estudio

Cuadro 1.- Características físicas y químicas de los sitios.

Determinación	Sitio A	Sitio B	Sitio C	Sitio D	Método empleado
Textura	Fa	Fa	R	R	Bouyoucos
Arena	54.00	53.08	21.08	21.08	Idem
Arcilla	16.72	15.28	45.28	45.28	Idem
Limo	29.28	31.64	33.64	33.64	Idem
Capac. de Cam.	17.01	16.17	34.38	34.38	Olla de presión
PMP	8.57	8.65	18.38	18.44	Idem
Humed. Apro.	8.44	7.52	15.99	16.04	Diferencia
Dens. Apar.	1.74	1.77	1.72	1.61	Terrón
Dens. real	2.74	2.81	2.38	2.58	Picnómetro
Mate. Org.	0.75	0.27	1.03	1.51	Walkley Black
pH	5.9	5.5	6.2	7.1	Potenciómetro
NUTRIMENTOS					
Calcio	BAJO	BAJO	MEDALTO	MEDIO	Morgan

Continuación

Determinación	Sitio A	Sitio B	Sitio C	Sitio D	Método empleado
Potasio	RICO	RICO	ABUNDAN	ABUNDAN	Idem
Magnesio	BAJO	BAJO	ALTO	MEDALTO	Idem
Manganeso	MEDIO	MEDALTO	BAJO	BAJO	Idem
Fósforo	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	Idem
Nitróg. Nitr.	MEDALTO	MEDALTO	ALTO	MEDALTO	Idem
Nitróg. Amon.	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	Idem

Los análisis de los suelos se efectuaron en el laboratorio de suelos y - apoyo técnico de la Secretaría de agricultura y Recursos Hidráulicos.

6.4 Equipo utilizado

Para la extracción de las muestras se utilizó una barrena con las siguientes características: la barrena se compone de tres piezas; la primera de ellas es la cruceta, compuestas por dos mangos que miden 20 cm. y un centro de impactos perpendicular a los mangos de 12 cm. de longitud; la segunda pieza llamada vástago del mango su longitud es de 90 cm., se encuentra soldado en uno de sus extremos con la cruceta, tanto la cruceta como el vástago del mango están hechos de un tubo de acero, cédula 80 de media pulgada de diámetro; la tercera pieza llamada sacavocado, conectado en uno de sus extremos al vástago del mango y el otro se encuentra afilado, su longitud es de 30 cm., en un costado del sacavocado se encuentra un gajo de 21 cm. de longitud y 2.8 cm. de ancho, es por donde se extrae la muestra.

Para determinar la cantidad de suelo en las muestras se utilizaron frascos de vidrio previamente pesados. El peso de las muestras se realizó en una balanza granataria con una pesada mínima de 0.1 gramos. La extracción de la humedad de las muestras se realizó con una estufa de incubación regulada con un termostato y calibrada con un termómetro de 210°C.

6.5 Cultivo utilizado

El balance de humedad se aplicó al cultivo del maíz de temporal, a cada sitio de interés. En todos los sitios de estudio se utiliza una rotación de maíz-sorgo, sembrando un cultivo por año, ocasionalmente se utiliza en la rotación el garbanzo.

Las variedades de maíz utilizadas en el estudio tienen un ciclo vegetativo que va de 110 a 130 días. En el sitio A el productor le aplicó un riego de auxilio en el estadio R3 (lechoso), en el sitio C, el productor sembró diferentes variedades con carácter demostrativo.

Las características de manejo del cultivo para cada sitio se presentan en el cuadro 2.

Cuadro 2. Características de manejo del cultivo para cada sitio.

Labores	Sitio A	Sitio B	Sitio C	Sitio D
Barbecho	1	1	1	1
Rastra	1	1	2	1
Variedad	B-840	B-555	Jai-4 P-3288 B-840 A-751 A-681	B-840
Tratamiento de fertiliz.	200-60-00	210-46-00	215-46-00	180-46-00
Modo de siembra	máquina	máquina	máquina	manual
Fecha de siembra	3 Jul.	4 Jul.	7 Jun.	2 Jun.
Insecticida de suelo	Volatón 5%	Oftanol 5%	Oftanol 5%	Lorsban 3%
Dosis	25 Kg/Ha	20 Kg/Ha	20 Kg/Ha	25 Kg/Ha
Herbicida	Gesaprim 500	Primagram 500	Boxer	Primagram 500
Dosis	5 Lt/Ha	5 Lt/Ha	5 Lt/Ha Azinotox Hierb-mina 1 Lt/Ha	3.2 Lt/Ha
Cosecha	3 Dic.	27 Nov.	5 Dic.	10 Dic.
Rendimiento	4.298 Ton/Ha	4.160 Ton/Ha	3.701 Ton/Ha	5.122 Ton/Ha

6.6 Fenología del cultivo

Para analizar las relaciones que existen entre la fenología del maíz en respuesta al déficit o exceso de humedad, se registró las diferentes etapas del maíz durante su ciclo. En el cuadro 3 se presenta la fenología del maíz para cada sitio.

El criterio tomado para declarar el momento oportuno en que una fase fenológica se presenta, es cuando la población expone el 50% de la fase fenológica por observar.

Se consideró la etapa de emergencia E cuando el cultivo presentó las tres primeras hojas, las etapas de floración masculina FM y femenina FF se consideraron presentes cuando el cultivo expuso la espiga y el jilote respectivamente. Se determinó la madurez fisiológica MF mediante la presencia de la capa negra del grano. Se consideró el ciclo del cultivo desde la siembra S hasta la madurez fisiológica.

El maíz en ningún sitio reflejó síntomas de sequía durante su ciclo, sufrió leves ataques de plaga especialmente del gusano elotero, la mazorca presentó espacios con grano dañado.

Cuadro 3. Fenología del maíz para cada sitio

	SITIO A	SITIO B	SITIO C					SITIO D
	B-840	B-555	Jal-4	B-840	P-3288	A-751	A-681	B-840
S-MF	3Jul-30 Oct 120	4Jul-29 Oct 118	7Jun-2 Nov 149	7Jun-30 Oct 146	7Jun-29 Oct 145	7Jun-29 Oct 145	7-Jun-29 Oct 145	2Jun-27 Oct 148
S-E	3Jul-13 Jul 11	3Jul-12 Jul 9	7Jun-12 Jul 36	7Jun-12 Jul 36	7Jun-12 Jul 36	7Jun-12 Jul 36	7Jun-12 Jul 36	2Jun-30 Jun 29
S-FM	3Jul-4 Sept 73	4Jul-4 Sept 63	7Jun-3 Sept 89	7Jun-3 Sept 89	7Jun-3 Sept 89	7Jun-3 Sept 89	7Jun-3 Sept 89	2Jun-2 Sept 93
S-FF	3Jul-13Sept 73	4Jul-13Sept 71	7Jun-12Sept 98	7Jun-12Sept 98	7Jun-11Sept 97	7Jun-11Sept 97	7Jun-11Sept 97	2Jun-11Sept. 102
E-MF	13Jul-30 Oct 109	12Jul-29 Oct 109	12Jul-2 Nov 113	12Jul-30 Oct 110	12Jul-29 Oct 109	12Jul-29 Oct 109	12Jul-29 Oct 109	30Jun-27 Oct 119
E-FM	13Jul-4Sept 53	12Jul-4Sept 54	12Jul-3 Sept 53	12Jul-3 Sept 53	12Jul-3 Sept 53	12Jul-3 Sept 53	12Jul-3 Sept 53	30Jun-2 Sept 64
E-FF	13Jul-13Sept 62	12Jul-12Sept 62	12Jul-12Sept 62	12Jul-12Sept 62	12Jul-11Sept 61	12Jul-11Sept 61	12Jul-11Sept 61	30Jun-11Sept 73
FM-FF	4Sept-13Sept 9	4Sept-12Sept 8	3Sept-12Sept 9	3Sept-12Sept 9	3Sept-11Sept 8	3Sept-11Sept 8	3Sept-11Sept 8	2Sept-11Sept 9
FF-MF	13Sept-30 Oct 47	12Sept-29 Oct 47	12Sept-2 Nov 51	12Sept-13 Oct 48	11Sept-29 Oct 48	11Sep-29 Oct 48	11Sept-29 Oct 48	11Sept-27 Oct 46

6.7 Actividades agrícolas en el municipio de Ameca

El área del municipio de Ameca se utiliza en un 39% para la agricultura, en su mayor parte (75.44%) de temporal. La distribución de los cultivos en los diferentes ciclos agrícolas es como sigue: en la zona de temporal se cultiva, en el ciclo primavera-verano, maíz y sorgo; en invierno, el garbanzo, en los terrenos con superficie de humedad residual. La zona con riego se ocupa en primavera por sandía, maíz, melón, chile, calabacita y col en este orden de importancia respecto a la superficie cosechada. Otros cultivos que ocupan pequeñas superficies son el tomate de cáscara, jitomate, pepino y cultivos forrajeros. Durante el ciclo de verano se manejan caña de azúcar, maíz y chile y poco de alfalfa y arroz. Durante el invierno se cultivan garbanzo, calabacita, tomate de cáscara.

Lo anteriormente señalado expone la posibilidad de adaptación que tienen en el municipio una amplia gama de cultivos, sin embargo, la estructura de la zona muestra una clara tendencia al monocultivo, especialmente maíz en la zona de temporal y caña de azúcar en los terrenos de riego.

La actividad agrícola del maíz se desarrolla bajo tres sistemas de cultivo diferentes, en orden de importancia por la superficie que ocupan: barbecho mecanizado, barbecho con tracción animal y coamil. El cultivo se inicia prácticamente al terminar la cosecha del ciclo anterior, con las labores de limpieza al traer el ganado para el aprovechamiento del rastrojo. Las labores de preparación se realizan durante diciembre a junio, predominantemente durante abril y mayo iniciando con el barbecho, el rastreo se realiza después de barbechar.

La fecha de siembra está determinada por la presencia de lluvias por lo que se realiza principalmente en la segunda semana de junio, aunque se hacen siembras tempranas durante la última semana de mayo y a principio de junio, en

suelo seco aunque con mayor riesgo. Gran porcentaje de productores realizan si multáneamente la siembra, la primera fertilización y la aplicación de insecti- cidas para las plagas del suelo. La segunda fertilización se realiza al momen- to de la primera escarda en forma manual, la tercera y última fertilización se hace durante el mes de agosto hasta la primera semana de septiembre. La aplica- ción de herbicidas preemergentes se realiza manualmente, entre la tercera y - cuarta semana de junio, mientras que los herbicidas postemergente igualmente - se aplican en forma manual y entre junio y julio.

Prácticamente, las labores de cultivo del maíz terminan a partir de la - primera semana de septiembre y reinician hasta el mes de noviembre cuando se - efectúa la cosecha.

6.8 Metodología

6.8.1 Cálculo de la humedad del suelo

En esta fase de la investigación, el objetivo es determinar la humedad -- aprovechable a cada sitio de estudio a la profundidad de 100 cm., en el tiempo cubierto por el ciclo del cultivo. El inicio del muestreo fue en la segunda se mana de mayo, tres semanas antes de iniciarse las siembras en la región, debi- do a la imposibilidad de saber con exactitud el inicio del temporal.

Para determinar el porcentaje de humedad del suelo, se utilizó el método gravimétrico ya que determina en forma directa el porcentaje de humedad y pre- senta un grado de exactitud aceptable.

El procedimiento para el cálculo del porcentaje de humedad es el siguien- te:

$$\text{Porcentaje de humedad} = \frac{\text{Peso de suelo húmedo} - \text{Peso de suelo seco}}{\text{Peso de suelo seco}} \times 100$$

BIBLIOTECA ESCUELA DE AGRICULTURA

La muestra debe someterse a 110°C durante 48 hrs. Sin embargo, varios autores consideran que con 24 hrs. es suficiente.

Con la finalidad de obtener el porcentaje de humedad del suelo a la profundidad de 100 cm., se tomaron muestras a cada 20 cm., y con el objeto de reducir el error que se podría obtener debido al muestreo y a la variabilidad -- del suelo, se duplicó la observación. Para cada profundidad y sitio, tomando -- un total de 10 muestras por sitio.

En base a los porcentajes de humedad así obtenidos, se estimó para cada -- profundidad y sitio, a nivel de campo, las siguientes constantes de humedad y la densidad aparente, las cuales se muestran en el cuadro 4.

Cuadro 4. Constantes de humedad y densidad aparente para cada sitio.

PROFUND. cm	SITIO A				SITIO B			
	CC %	PMP %	HA %	DA gr/cc	CC %	PMP %	HA %	DA gr/cc
0-20	21.3	11.8	9.5	1.32	18.2	8.1	10.1	1.34
20-40	23.6	10.1	13.5	1.27	20.5	9.6	11.3	1.29
40-60	22.5	11.9	10.6	1.28	18.6	8.8	9.8	1.27
60-80	18.1	9.5	8.6	1.34	19.4	8.7	10.7	1.31
80-100	18.3	9.1	9.2	1.38	21.7	9.7	12.0	1.37
	SITIO C				SITIO D			
0-20	33.5	16.8	16.7	1.36	31.5	15.2	16.3	1.27
40-60	30.6	17.5	13.1	1.38	36.9	22.3	14.6	1.29
60-80	28.4	18.2	10.2	1.44	38.8	20.2	18.6	1.28
80-100	28.2	17.7	10.5	1.48	40.7	21.5	19.2	1.27

En base a estas constantes de humedad y con la densidad aparente se obtiene en el cuadro 5 la humedad retenida a la profundidad de 100 cm. para cada sitio de estudio, a la capacidad de campo.

Cuadro 5. Humedad retenida a la profundidad de 100 cm. para cada sitio, a la capacidad de campo.

SITIO DE ESTUDIO	CONSTANTES DE HUMEDAD EN (mm)		
	CC	PMP	HA
A	271.17	136.24	134.93
B	260.19	118.18	142.01
C	432.60	242.28	190.32
D	464.64	253.06	211.58

6.8.2 Cálculo del balance de humedad

Los datos climatológicos necesarios para el balance de humedad fueron recopilados de la estación de Ameca ubicada en las coordenadas $20^{\circ}31'$ de latitud norte y $104^{\circ}03'$ de longitud oeste, así como también de la estación de Sn. Martín Hgo., ubicada en las coordenadas $20^{\circ}26'$ de latitud norte y $103^{\circ}51'$ de longitud oeste.

Las variables climatológicas utilizadas en el estudio son las siguientes: precipitación, evaporación, velocidad del viento, el número de días despejados y el número de días nublados. Se registró la información desde mayo hasta noviembre de 1989, cubriendo el ciclo del cultivo y el temporal de lluvias, dicha información se ordenó de tal forma que se pudiesa manejar en periodos semanales.

Se dispuso de los datos registrados de la Estación de Ameca para los si -
tios A, B y D mientras que para el sitio C se utilizó únicamente la precipita-
ción registrada por la Estación Sn. Martín Hgo., las demás variables de esta -
estación carecían de confiabilidad. La forma de utilizar los datos con respec-
to a los sitios, se debe a la ubicación geográfica de éstos y a la zona de in-
fluencia de la estación utilizada.

El objetivo de calcular el balance de humedad en la zona de estudio, es -
estimar la sequía o exceso de humedad, por la que pasaría el cultivo del maíz
de temporal. Además estimar las necesidades hídricas de dicho cultivo. Para -
tal efecto se calculó el balance de humedad en períodos semanales, pues a este
nivel es satisfactorio para nuestros fines.

Para analizar las relaciones que pudieran existir entre los componentes -
del balance de humedad, se utilizó un equipo de cómputo y el programa "1-2-3
LOTUS" para computadoras PC compatibles.

En el presente estudio se utilizó el balance de humedad propuesto por la
FAO y descrito por Villalpando (1985), este balance se caracteriza por ser acu
mulativo. Este método se lleva a cabo mediante el cálculo de diferentes paráme
tros, los cuales se tabulan en una planilla de cálculo.

La simbología utilizada en la forma de cálculo, así como la manera de ob-
tener los valores para anotarlos en esta forma se describe a continuación:

Precipitación real (Pa). La precipitación real representa el total de la
precipitación que ha caído en cada semana desde mayo hasta noviembre.

Número de días con lluvia (da). La observación de días lluviosos en la se
mana, muestra la distribución de la lluvia durante el tiempo comprendido del -
estudio.

Evapotranspiración potencial (ETP). La evapotranspiración potencial tomada como referencia para el presente trabajo es la máxima cantidad de agua que sería evaporada por una cubierta densa de pasto corto cuando la disponibilidad de humedad del suelo es ilimitada.

Doorenbos y Pruitt citados por Villalpando (1985) proponen el método del tanque evaporímetro tipo A, para obtener la evapotranspiración, multiplicando la evaporación por un factor K_p tabulado, obteniendo así la evapotranspiración.

El valor K_p en el presente trabajo es de 0.85, obtenido este con los valores de: vientos menores de 175 Km/día, una distancia del cultivo al evaporímetro menor de 10 m., una humedad relativa promedio de media a alta.

Coefficiente del cultivo (K_{cr}). Durante el período vegetativo que abarca de la emergencia a la aparición de partes reproductivas la evapotranspiración real del cultivo es una fracción de la evapotranspiración potencial.

Estos valores se obtuvieron de acuerdo al porcentaje de desarrollo medio semanal del maíz, presentados por el Colegio de Postgraduados en Chapingo en 1977.

Requerimientos de agua del cultivo (WR). Este valor es obtenido multiplicando la evapotranspiración potencial de cada semana por su respectivo coeficiente de cultivo (K_{cr}). También es posible calcular el requerimiento total de agua del cultivo para una estación, sumando los requerimientos de agua de cada semana.

Diferencia entre la precipitación real y el requerimiento de agua del cultivo ($P_a - W_r$). La diferencia obtenida nos expresa la cantidad de agua disponible al cultivo, sin tomar en cuenta el agua almacenada en el suelo.

Reservas de agua en el suelo (RS). Este término expresa el agua almacenada en el suelo la cual fácilmente es usada por el cultivo. En otras palabras, es la reserva de agua entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente. La cantidad de agua almacenada para su utilización en el suelo dependerá de:

- 1). La profundidad del suelo explorada por las raíces del cultivo.
- 2). Las características físico químicas del suelo.

Excesos y déficits de agua (E/D). El exceso se refiere a cualquier cantidad de agua arriba de la capacidad de campo del suelo y el déficit, a cualquier requerimiento de agua abajo de cero en el valor de agua almacenada, el cual se marca negativamente.

Índice (I). Este índice indica en que porcentaje se satisfacen los requerimientos de agua de un cultivo en cualquier etapa o estado de desarrollo. Su cálculo es de la siguiente manera:

- a). 100% si no hay déficit o si el exceso es menor que 100 mm.
- b). Si el exceso es mayor que 100 mm. entonces restar 3% de 100.
- c). Si existe déficit, entonces se divide éste entre el total de requerimientos de humedad y se multiplica por 100 y el resultado se resta de 100.

VII RESULTADOS Y DISCUSION

En términos generales en los sitios estudiados se obtuvieron condiciones favorables de humedad. La influencia del suelo fue preponderante, pues su capacidad para retener agua no permitió fluctuaciones por debajo del punto de marchitez permanente. La precipitación fue suficiente, cubrió las necesidades hídricas del cultivo.

Los cuadros del 6, 7, 8 y 9 presentan los balances de humedad para cada sitio estudiado.

Los sitios A, B y D son similares entre si. Los requerimientos de agua del cultivo son satisfactorios en un 100%, este valor declina ligeramente en la última semana de octubre, cubriendo sus necesidades en un 97.9%, agotando en su totalidad las reservas del suelo. Esto no se presentó en el sitio C, en donde el maíz satisface sus necesidades sin abatir las reservas del suelo.

La precipitación ocurrida en la zona de estudio fue de la siguiente forma: para los sitios A, B y D se registró una precipitación de 543.2mm., mientras que para el sitio C fue de 614.8mm. respectivamente. Estas precipitaciones satisfacen las necesidades hídricas del maíz de acuerdo a las consideraciones de Shaw citado por Nuño (1988). Reforzando lo anteriormente expuesto, Nuño en el mismo año, caracteriza la región de interés como una zona de eficiencia agroclimática de 100% para el maíz. Esto es, presenta condiciones climáticas óptimas al 100% con una duración de estación de crecimiento con precipitación al 70% de probabilidad mayor de 130 días. Esto confirma que los sitios de muestreo por su ubicación no presentaron limitaciones de humedad en este ciclo, sin embargo, no se descarta la posibilidad de siniestros por causas climatológicas, aunque con una probabilidad baja.

Cuadro 9. Balance de humedad para el sitio D.

	JUN	JULIO					AGOSTO				SEPTIEMBRE				OCTUBRE					
	4	1	2	3	4	5	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	5	
Pa	1.6	44.0	48.5	23.8	10.6	43.0	43.5	30.9	59.7	17.8	80.0	69.2	20.5	11.0	8.0	12.3	0	0	0	
da	1	4	6	3	4	5	4	4	5	3	6	7	4	1	1	2	0	0	0	
EIP	42.76	42.56	56.06	57.79	27.64	24.27	25.07	31.09	29.69	22.78	28.64	30.28	23.75	27.18	22.62	18.75	24.23	23.93	26.01	585.1
Kcr	0.42	0.47	0.49	0.53	0.62	0.67	0.75	0.85	0.96	1.04	1.06	1.08	1.07	1.05	1.01	0.99	0.93	0.89	0.85	
WR	17.95	20.0	27.46	30.62	17.13	16.26	18.80	26.42	28.50	23.69	30.35	32.70	25.41	28.53	22.84	18.56	22.53	21.29	22.10	451.14
Pa-WR	-16.35	24.0	21.04	-6.82	-6.53	26.74	24.7	4.48	31.2	-5.89	49.65	36.5	-4.91	-17.53	-14.84	-6.26	-22.53	-21.29	-22.10	
RS	0	24	45.04	38.22	31.69	58.43	83.13	87.61	97.0	91.11	97.0	97.0	92.09	74.56	59.72	53.46	30.93	9.64	0	
S/D	-16.35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-12.46	
I	* 100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	97.34

* La demanda para geminar fue cubierta.

Partiendo de los balances de humedad, en el componente (Pa-WR) y sumando el análisis considerado con anterioridad, esta relación presenta variaciones - diversas a lo largo del ciclo vegetativo, en algunos períodos sus valores fueron positivos satisfaciendo las necesidades hídricas del maíz y en otros períodos fueron negativos recurriendo a las reservas del suelo.

En los sitios A, B y D la diferencia fue negativa en los siguientes períodos: en los últimos días de julio, en la última semana de agosto y a partir de la tercera semana de septiembre hasta la última de octubre, considerando la humedad disponible presente en las reservas del suelo este valor pierde sentido, pues el maíz utiliza estas reservas, no es sino hasta la última semana de octubre donde el maíz agota estas reservas sufriendo un déficit. Esta deficiencia hídrica no es tan perjudicial para el cultivo, se presentó en el último estadio reproductivo R6 (madurez fisiológica), en donde las necesidades hídricas del maíz son mínimas y no repercuten considerablemente en el rendimiento. Aldrich y Leng (1965) y FIRA (1988) refuerzan tal consideración.

El sitio C presenta variaciones similares sólo se diferencia de los demás por tener un valor negativo en la segunda semana de agosto. No se agotaron las reservas del suelo.

Los valores negativos que se presentaron en todos los balances reflejan la deficiente distribución del temporal, más sin embargo gracias a las reservas del suelo las plantas no manifestaron falta de humedad.

Para estimar la disponibilidad de agua para los cultivos, es más confiable conocer el balance de humedad del suelo que la precipitación que se registra en ese lugar.

Tomando esta consideración se obtienen las gráficas 1A y 2A incluidas en

el Anexo en donde se confrontan las variantes (Pa-WR) y RS. De estas gráficas se observa que la diferencia (Pa-WR) presenta cierta paridad con las variaciones de las reservas del suelo debido probablemente a las variaciones de las precipitaciones y al uso del agua por las plantas.

Las reservas del suelo superan considerablemente en magnitud a la precipitación, debido a la capacidad de almacenamiento del mismo, asegurando la disponibilidad de agua para el maíz. La diferencia (Pa-WR) llega en diversas ocasiones debajo de cero, esto es a causa de las variaciones de las precipitaciones.

En los sitios A, B y D representados por la gráfica 1A se observa que en la última semana de Octubre el factor RS llega a ser inferior a cero, mientras que en la gráfica del sitio C no se presenta dicha observación.

Las variaciones de las reservas del suelo en los balances hídricos son similares a las variaciones de la humedad almacenada por el suelo a la profundidad de 100 cm. (H100), a excepción del sitio B el cual se observa (H100) es inferior a las reservas del suelo en la segunda y tercera semana de septiembre. Las gráficas (3A, 4A, 5A y 6A) presentadas en el Anexo demuestran tal aseveración.

Las gráficas 3A y 4A correspondientes a los sitios A y B respectivamente, son representativas de los suelos arenosos. Las curvas para cada variable se encuentran un poco cercanas una de otra, debido a las características físicas de los suelos arenosos que le confieren una capacidad de almacenamiento de humedad no muy grande.

En forma diferente los sitios C y D, en las gráficas 5A y 6A representan a los suelos arcillosos. Las variables se encuentran muy distantes una de otra la gráfica 5A no presenta con claridad esta característica, esto puede

deberse a la ligera compactación que se registró en la descripción del perfil. Este factor afectó a la capacidad de retención de humedad del suelo disminuyendo su magnitud. En comparación con la gráfica 6A es clara esta observación, debido a que los suelos arcillosos almacenan una mayor cantidad de humedad por su contenido de arcilla.

No toda la humedad contenida dentro de los límites de capacidad de campo y el punto de marchitez permanente es considerada como humedad disponible para las plantas. Bajo este supuesto, se considerará como humedad fácilmente disponible una fracción de la misma. Para el maíz, Villalpando (1985) considera un 65% de la humedad total disponible.

Con la finalidad de detectar algún posible stress hídrico en el maíz bajo los términos anteriores, se confrontaron la humedad disponible observada (HDO), el 65% de la misma y las necesidades de agua del cultivo, obteniendo así las gráficas (7A, 8A, 9A y 10A) presentadas en el Anexo.

En forma general, la humedad disponible almacenada por el suelo, satisface las necesidades de agua del cultivo. Estas necesidades aún fueron cubiertas con la fracción del 65% de la humedad disponible (HD)). En la gráfica 7A la humedad disponible al 65% es inferior a las necesidades hídricas del cultivo y corresponde al estadio R6.

El suministro de agua a los cultivos a través de la precipitación es grandemente afectado por el suelo, en su variación de la capacidad de almacenar agua. La humedad almacenada por el suelo en un momento dado, pudo presentar suficiencia o carencia en relación a las necesidades hídricas del maíz. En este sentido, se graficó las necesidades hídricas del maíz con la resultante de dividir el agua disponible y la ETP (AD/ETP).

En las gráficas (11A, 12A, 13A y 14 A), se observó una deficiencia de -- agua disponible (AD) en las primeras tres semanas que corresponden al primer -- estadio vegetativo VE (emergencia). Esta deficiencia no es detrimental, pues en VE el maíz requiere la humedad en la parte superficial para la germinación adecuada. Esto sucede en los primeros 20 cm. de profundidad.

En las figuras 11A y 12A de los suelos francos se representó un declive del agua disponible en los últimos 13 días del ciclo vegetativo del maíz, esto es, al término de R5 (estadio dentado) y gran parte de R6. Sin embargo, no se observaron daños significativos.

Dada la importancia que tiene la humedad disponible en los primeros 20 - cm. de profundidad para el cultivo. En el Anexo se presentan las gráficas (15A, 16A, 17A y 18A). de esta variable que demuestran el comportamiento de la misma a través del temporal de lluvias.

En todas estas gráficas se observa que, inicialmente la humedad presente se encuentra por debajo de PMP, debido a la ausencia de precipitación y a la - nula humedad residual del temporal, supera este valor y no vuelve a decaer hasta la última semana de noviembre en las gráficas 15A y 17A.

El período vegetativo VE inicia con la precipitación superior a los 20 mm. Esto no se presentó en la figura 17, más sin embargo, este período dió inicio en la primera semana de junio, aún sin registrarse precipitación alguna. Esto es debido a la existencia de lluvias aisladas que no fueron registradas por la estación meteorológica.

Existieron períodos en donde se alcanzó la saturación, causada por la intensidad de las lluvias y la poca velocidad de infiltración del agua a través del perfil del suelo.

En el cuadro 10 se presenta la matriz de correlaciones para cada sitio de estudio. Las correlaciones tomadas en cuenta para el estudio se compararon con su respectivo error típico, tomando valores de significativos a muy significativos.

La correlación que más sobresalió fue la representada por las variables: la humedad disponible en los primeros 20 cm. (H20) con la humedad disponible a la profundidad de 100 cm. (H100).

Esta correlación nos indica que se obtiene la buena información en un balance de humedad, tanto al muestrear a 20 cm. de profundidad como a 100 cm. Esto puede deberse a que los en los primeros 20 cm. de profundidad suceden cambios transitorios en el contenido de humedad del suelo, afectando así también al contenido de humedad a la profundidad de 100 cm. Esto es, si existe consumo de agua por las plantas a la profundidad de 20 cm., también los habrá a la profundidad de los 100 cm.

Se presentaron correlaciones significativas en forma aislada, esto es, en un solo sitio, sin presentarse aún en los demás, ni en aquel homólogo a sus características físicas.

Partiendo de estas correlaciones se obtuvieron las ecuaciones de regresión y sus gráficas representadas en el Anexo. Se aplicó un análisis de varianza a cada coeficiente de regresión. Las ecuaciones de regresión se presentan en el cuadro 11.

Cuadro 10. Matriz de correlaciones simples de las variables utilizadas.

SITIO A

	P	ETP	WR	RS	H100	H20	DD	DN
P	1.0000							
ETP	0.2976	1.0000						
WR	0.4781	0.3620	1.0000					
RS	0.5906	-0.1943	0.5024	1.0000				
H100	0.3995	-0.1398	0.1639	0.7826	1.0000			
H20	0.4660	0.5560	0.1790	0.3568	0.9121	1.0000		
DD	-0.3892	0.0409	0.1931	-0.3247	-0.2781	-0.3985	1.0000	
DN	0.1024	-0.0594	0.0832	0.2417	-0.0451	-0.1290	-0.4037	1.0000

SITIO B

	P	ETP	WR	RS	H100	H20	DD	DN
P	1.0000							
ETP	0.2976	1.0000						
WR	0.4781	0.3620	1.0000					
RS	0.5906	-0.1943	0.5024	1.0000				
H100	0.6948	0.4556	0.2405	0.4550	1.0000			
H20	0.7178	0.5353	0.1891	0.3760	0.9134	1.0000		
DD	-0.3892	0.0409	0.1931	-0.3247	-0.3095	-0.4254	1.0000	
DN	0.1024	-0.0594	0.0832	0.2417	-0.0336	-0.1290	-0.4714	1.0000

SITIO C

	P	ETP	WR	RS	H100	H20	DD	DN
P	1.0000							
ETP	0.3447	1.0000						
WR	0.0440	0.2781	1.0000					
RS	0.6200	0.0574	0.1655	1.0000				
H100	0.3329	0.0368	0.2087	0.6428	1.0000			
H20	0.5896	0.1309	0.3238	0.8402	0.8262	1.0000		
DD	-0.4053	0.0409	0.2340	-0.4566	-0.3579	-0.3472	1.0000	
DN	0.1928	-0.0594	0.0934	0.2558	-0.0579	-0.0412	-0.4714	1.0000

SITIO D

	P	ETP	WR	RS	H100	H20	DD	DN
P	1.0000							
ETP	0.2104	1.0000						
WR	0.4906	0.3168	1.0000					
RS	0.6278	-0.2816	0.5233	1.0000				
H100	0.4372	0.1751	0.4537	0.5598	1.0000			
H20	0.5288	0.3008	0.2521	0.5055	0.7317	1.0000		
DD	-0.3947	0.0604	0.1848	-0.3119	-0.1035	-0.3310	1.0000	
DN	0.1539	-0.1156	0.1101	0.3088	0.0685	-0.0895	-0.4751	1.0000

Cuadro 11. Ecuaciones de regresión

SITIO	r	ECUACIONES	Fc	Ft	
				.05	.01
A	0.9121	H100=18.1096 + 4.0546 (H20)	79.37	4.49	8.53
B	0.9134	H100=20.4901 + 3.9706 (20)	80.60	4.49	8.53
C	0.8262	H100=61.6318 + 2.0219 (H20)	34.40	4.49	8.53
D	0.7317	H100=86.6590 + 2.0572 (H20)	19.59	4.45	8.40
A	0.7826	H100=47.2177 + 0.8662 (RS)	25.28	4.45	8.53
B	0.7178	H20=13.1029 + 0.2356 (P)	17.00	4.49	8.53
C	0.8402	RS=29.2563 + 1.7085 (H20)	38.42	4.49	8.53

Las dos primeras ecuaciones de regresión corresponden a los sitios representativos de los suelos francos, son las de mayor significación estadística - comparadas con las dos ecuaciones que le siguen, que son representativas de - los suelos arcillosos.

En relación a las ecuaciones que se encontraron en forma aislada, resulta ría riesgoso tomarlas en consideración, aún teniendo un valor significativo -- aceptable. En razón de que no se encontraron en los demás sitios.

El rendimiento promedio obtenido en cada sitio de muestreo fue diferente, esta diferencia solo se observó entre los sitios con características contras - tantes. En los sitios A y B que son suelos francos, sus rendimientos son simi - lares, esto es, presentaron 4.298 y 4.160 toneladas por hectárea respectivamen - te. esta similitud concuerda con la misma que se obtuvo en sus capacidades pa - ra almacenar agua, es decir, 134.93 mm. para el sitio A y 142.01 mm. para el - sitio B.

Con respecto a los suelos arcillosos, hubo diferencias en el rendimiento, para el sitio C fue de 3.701 Ton/Ha y para el sitio D fue de 5.122 Ton/Ha. Sus capacidades de almacenamiento son de 190.32 mm. y de 211.58 mm. respectivamente. Si bien, la diferencia entre la capacidad de almacenamiento de estos dos sitios no es muy grande, en sus rendimientos sí existe una diferencia significativa.

Esto puede deberse a que en el sitio C se detectó una ligera compactación y sumando a esto un mal control de malezas, condiciones que no existieron en los demás sitios estudiados.

Es notorio la diferencia en el rendimiento con respecto a la cantidad de agua almacenada por el suelo. Bajo este punto de vista se puede decir que, el rendimiento es influido por la cantidad de agua disponible en el suelo, prueba de ello nótese la diferencia en el rendimiento promedio obtenido en los sitios representativos de los suelos francos con los obtenidos en los suelos arcillosos.

VIII CONCLUSIONES

- 1.- Las constantes de humedad determinadas para cada sitio de estudio son congruentes con las presentadas en la bibliografía.
- 2.- La agricultura de temporal en la zona de estudio es asegurada por la capacidad de almacenamiento de humedad disponible del suelo.
- 3.- La precipitación ocurrida durante el ciclo analizado, en el área de estudio, cubrió las necesidades hídricas del maíz, aún con una distribución no muy uniforme.
- 4.- Los suelos arcillosos presentan una mayor cantidad de agua disponible en comparación con la que prestan los suelos francos.
- 5.- La capacidad que tienen los suelos para almacenar agua, es un parámetro más confiable que la precipitación para asegurar la disponibilidad de agua al cultivo.
- 6.- La cantidad de agua almacenada por los suelos de la región superan -- considerablemente a la precipitada.
- 7.- El cubrimiento de las necesidades hídricas de los cultivos es afectada por las variaciones que presentan los suelos en su capacidad para almacenar humedad.
- 8.- La humedad determinada de 0-20 cm. de profundidad presentó un comportamiento similar a la que se determinó de 0-100 cm. Sus correlaciones fueron: 0.9121, 0.9134, 0.8262 y 0.7317 para los sitios A, B, C y D -- respectivamente.

BIBLIOTECA ESCUELA DE AGRICULTURA

- 9.- El rendimiento de los cultivos es afectado por la cantidad de humedad presente en el suelo.
- 10.- Es evidente que los resultados de esta investigación podrían adquirir mayor validez, si se ampliaran los trabajos en esta dirección un ma -
yor número de muestreos y suelos incluyendo la conformación topográfi
ca de éstos.

IX RESUMEN

La precipitación es un factor determinante en la agricultura de temporal, esto implica la necesidad de encontrar nuevas formas de explotar las zonas de temporal. Una alternativa a este problema es integrar a los programas agrícolas la información ofrecida por el balance de humedad, sin menospreciar la humedad disponible presente en el suelo.

Uno de los objetivos del presente trabajo es efectuar los balances hídricos en zonas de temporal, cultivadas con maíz. Se utilizaron cuatro sitios de muestreo con características representativas de la zona. Para determinar la humedad disponible a estos se utilizó el método gravimétrico en períodos semanales. Para disminuir el error de muestreo debido a la variabilidad del suelo, se duplicó el muestreo en cada sitio. Se tomaron muestras en estratos de 20 cm. hasta los 100 cm. de profundidad.

El balance hídrico utilizado fue el propuesto por la FAO, y su cálculo se realizó a nivel semanal. Se correlacionaron los componentes del balance hídrico con la humedad disponible a la profundidad de 100 cm.

Los resultados demostraron que la agricultura de temporal, es fuertemente respaldada por la capacidad que tienen los suelos para almacenar agua disponible. La precipitación ocurrida en la zona de estudio se caracterizó por tener distribución desuniforme, a pesar de esto el maíz no sufrió déficit hídrico. Las necesidades hídricas del maíz fueron cubiertas por las reservas del suelo.

Se obtuvo una correlación significativamente alta entre las variables H_{20} y H_{100} es decir, se obtiene la información confiable al estimar la humedad presente tanto a los primeros 20 cm. como a los 100 cm. de profundidad. La aplicación de un balance de humedad, considerando el agua disponible a cual

X B I B L I O G R A F I A

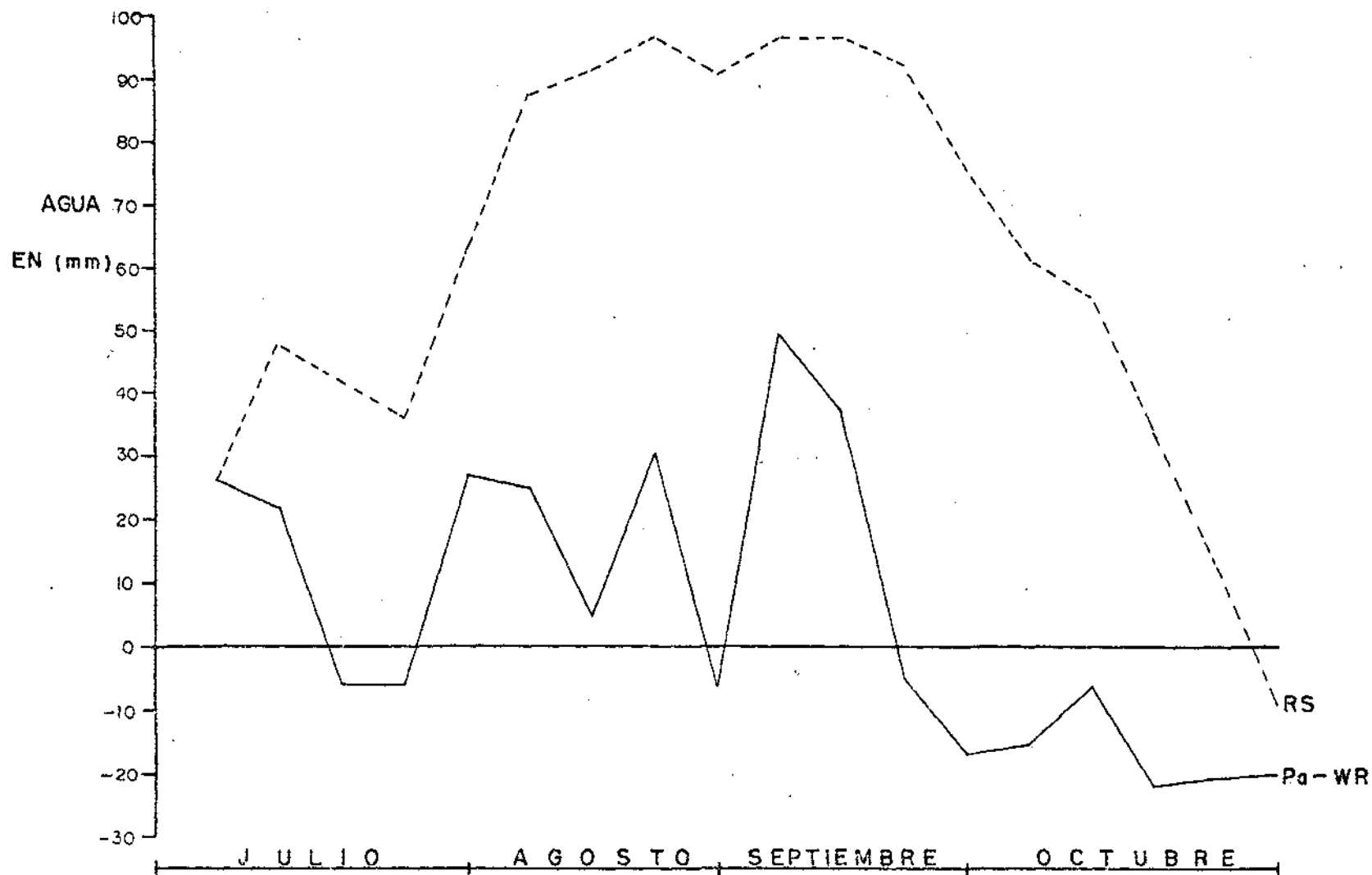
- 1.- Aguilera, Contreras. Mauricio y Martínez, Elizondo, René 1980. Rela -
ción Agua Suelo Planta y Atmósfera. 3a. ed. Departamento de Irriga -
ción. UACH. México. pags. 193-286.
- 2.- Aidárov, I. P, Golovánov, A. I, Mamáev, M. G. 1985. El Riego. Tr. Ar -
gelio González R. Mir. Moscú. pags. 20-45
- 3.- Arteaga, Ramírez, R. y Gómez, Morales, S. B. 1987. Elementos Básicos
para el Manejo de Instrumental Meteorológico. CECSA. México. pags.89-
106
- 4.- Barry, R. G. y Chorley, R. J. 1972. Atmósfera, Tiempo y Clima. Tr. --
Ana María Guilló (del inglés Atmosphere, Weather and Climate). Omega.
Barcelona España.
- 5.- Baver, Gardner y Garner. 1980. Física de suelos. Tr. Jorge M. Rodrí -
guez y R. (del inglés Soil Physics 4th edition) UTEHA. México. pags.
372-413.
- 6.- Bernache Pérez, F. 1989. Caracterización Agroclimática en la Cuenca -
Endorreica, Zacoalco-Sayula. Tesis profesional. Universidad de Guada -
lajara. México.
- 7.- Colegio de Postgraduados Chapingo. 1977. Manual de Conservación de --
Suelos y Agua. SARH. México. pag. 245.
- 8.- Chistiansen, Meryl N. y Lawis, Charles f. 1987. Mejoramiento de plan -
tas en ambientes poco favorables. Tr. Francisco J. Castro (del inglés
Breeding Plants for less favorable environments). Limusa. México.

- 9.- Daubenmire, R. F. 1982. Ecología Vegetal. Tratado de Autoecología de las Plantas. 3a. ed. Limusa. México. pags. 29-31, 97-158.
- 10.- Dirección General de Distritos de Riego. 1974. Temperatura y humedad de las tierras. Memorandum No. 326. Secretaría de Recursos Hidráulicos. 30 pags.
- 11.- FIRA. 1988. Desarrollo de la Planta de Maíz. México. 20 p.
- 12.- Foth, D. Henry. 1986. Fundamentos de la Ciencia del Suelo. Tr. Antonio Marino A, (del inglés Fundamentals of soil Science. CECSA. México. pags. 75-100.
- 13.- Fuentes, Yegüe J. L. 1983. Apuntes de Meteorología Agrícola 3a. ed. - Publicaciones de Extensión Agraria. Madrid España pags. 97-109, 224-225.
- 14.- García, Enriqueta de M. 1986. Apuntes de Climatología. 5ta. ed. UNAM México, pags. 93-100.
- 15.- Gavande, Sampat. A. 1982. Física de Suelos. Principios y aplicaciones 4ta. reimpression. Limusa. México. pags. 157-188, 233-242.
- 16.- Griffiths, F. John, 1985. Climatología Aplicada. 1a. ed. Publicaciones Culturales. México.
- 17.- Grimaldi, Achille. 1969. Agronomía. Título original italiano. AEDOS. Barcelona España.
- 18.- Hansen, Israelsen. 1975. Principios y Aplicaciones del Riego. (del inglés Irrigation principles and practices 3a. ed.) Tr. Alberto García P. 2a. ed. REVERTE. Barcelona España. pags. 144-179, 224-254.

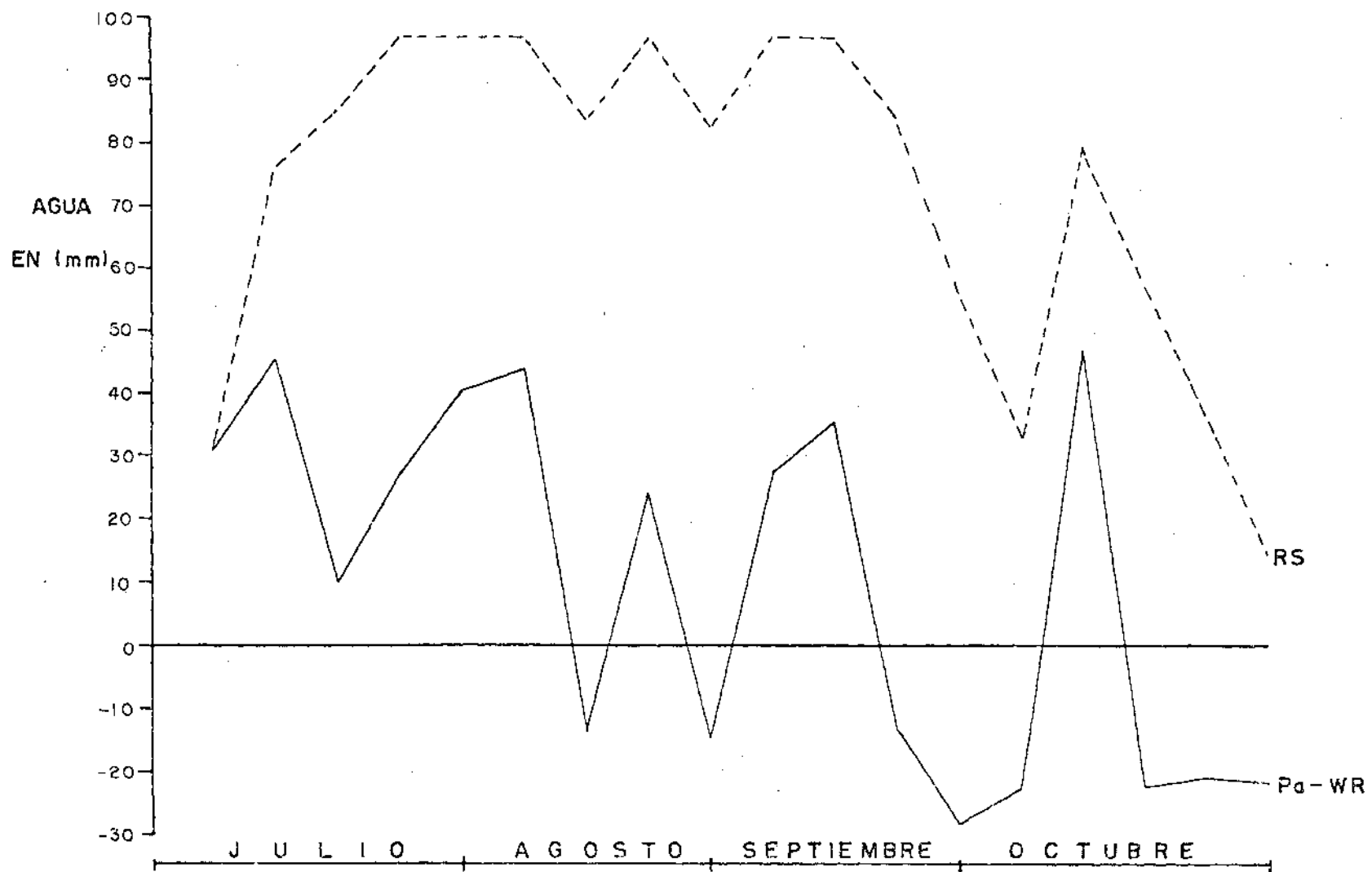
- 19.- Henin, S., Gras R. y Monnier, G. 1969. El perfil del suelo, el estado físico del suelo y sus consecuencias agronómicas. Tr. Carlos Roquero y Jaime García (del francés L'Etat physique du sol et ses consequences agronomiques). Mundi Prensa. paris Francia. pags. 102-120.
- 20.- Hudson, J. P. 1967. Control del medio ambiente de la planta. T. José Ruíz S. (del inglés Control of the plant environment). Omega. Barce - lona España.
- 21.- Jugeneirmer, Robert W. 1981. MAIZ.variedades mejoradas, métodos de - cultivo y producción de semillas. Tr. Rodolfo Piña (del inglés Hybrid Maize Breeding and Seed Production), Limusa. México. pags. 40-45.
- 22.- Kramer, Paul J. 1969. Relaciones hídricas de suelos y plantas. Una - síntesis moderna. Tr. Leonor Tejeda (del inglés plant and soil water relationships: a modern synthesis). 1974. EDUTEX. México. pags. 51 - 114.
- 23.- Miller, A. Austin. 1975. Climatología. 4ta. ed. Tr. Ismael Antich -- Jordá (del inglés Climatology). Omega Barcelona España.
- 24.- Nuño, Romero R. 1988. Determinación de Zonas de Eficiencia Agroclimá - tica para el Maíz. tesis de grado en M. C. Universidad de Guadalajara. México, 68 pags.
- 25.- Oliver. Henry. 1979. Riego y Clima. Tr. José L. de la Loma (del in -- glés Irrigation and climate) 5ta. reimpresión CECSA. México. pags. - 23-43.
- 26.- Organización meteorológica Mundial. 1982. Guía de Prácticas Agrometeo - rológicas. SARH. Dirección General del Servicio Meteorológica Nacio -

- nal. México.
- 27.- Ortiz, V. B., Ortiz, S. 1984. Edafología. 4a. ed. UACH. Chapingo. --- México. pags. 163-185.
- 28.- Ortiz, Solorio. C. 1982. Apuntes del Curso de Agroclimatología. UACH. México. pags. 83-90, 140.
- 29.- Ortiz, Solorio. 1984. Elementos de Agrometeorología Cuantitativa con Aplicaciones en la República Mexicana, 2a. ed. Imprenta Universitaria Chapingo. México.
- 30.- Petterssen, Suerre. 1976. Introducción a la Meteorología. 5a. ed. -- Tr. José Francisco D. y Francisco Mora. (del inglés Introducción to Meteorology). ESPASA-CÁLDE. Madrid España.
- 31.- Sánchez, Oedro A. 1981. Suelos del Trópico. Características y Manejo. Tr. Edilberto Camacho (del inglés Properties and Management of soils in the tropics). IICA. Serie de Libros y Materiales Educativos. pags. 2-20-20
- 32.- Storie, Earl. R. 1970. Manual de evaluación de suelos. Tr. Alonso -- Blackaller V. (del inglés Handbook, of soil evaluation) UTEHA. México. pags. 8-24.
- 33.- Thompson, L. M. Troeh, F. R. 1980. Los suelos y su fertilidad. 4a. ed. Tr. D. Juan Puigdefábregas Tomás (del inglés Soil and fertility edition) REVERTE. Barcelona España. pags. 52-133.
- 34.- Torres, Ruiz. E. 1983. Agro Meteorología 2da. impresión. Diana. México. pags. 113-146.

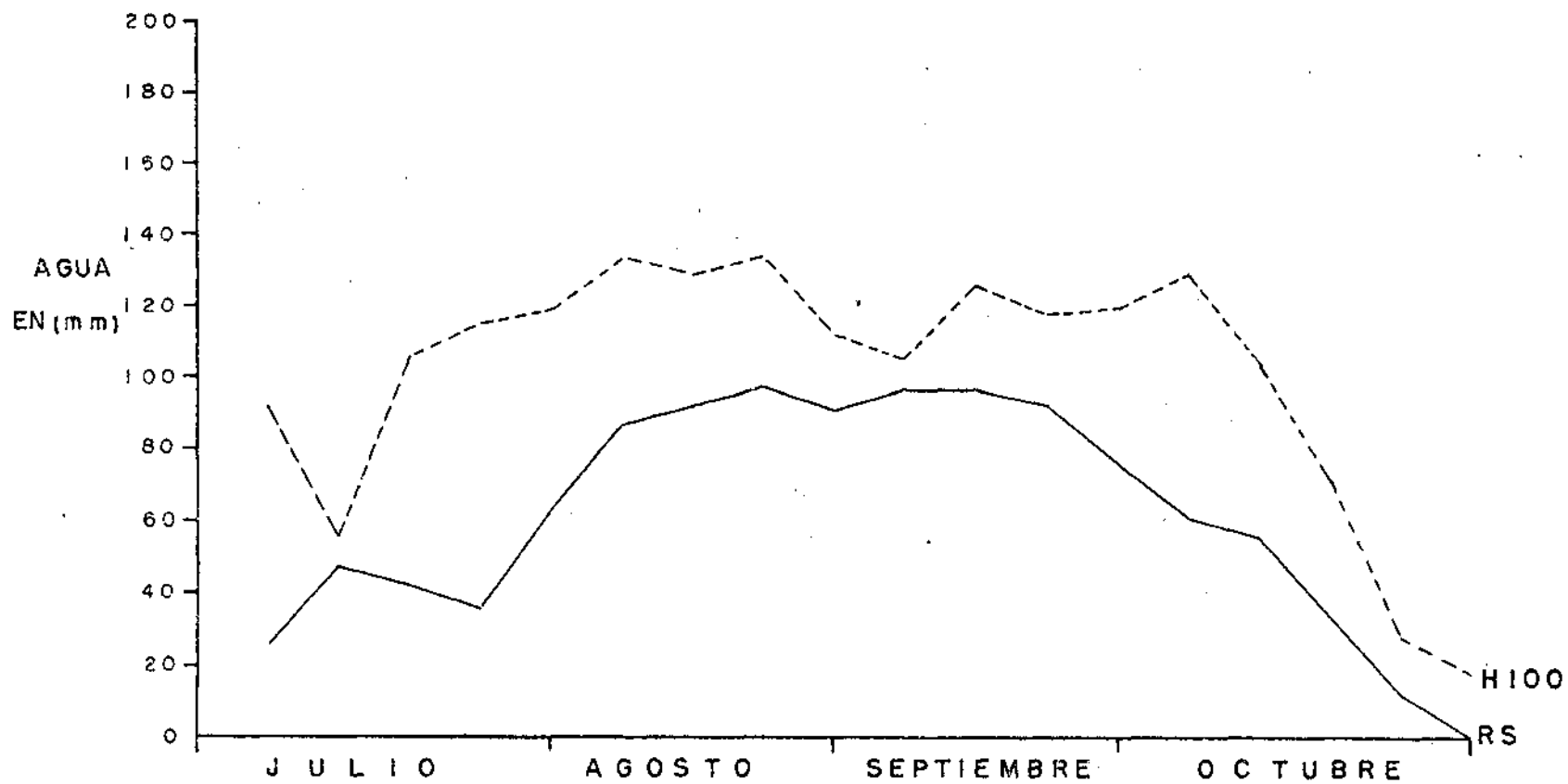
- 35.- Velázquez, García. J. 1985. Caracterización agroclimática y alternativas de cultivo para una región de temporal deficiente en el Estado de Hidalgo. Tesis Profesional. Universidad de Guadalajara. México. 66 - pags.
- 36.- Villalpando. Ibarra. J. F. 1985. Notas del Curso de Agroclimatología. Zapopan, Jal., Escuela de Graduados. Universidad de Guadalajara. pags. 90-113.



GRAFICA 1A.- COMPARACION ENTRE LAS VARIABLES RS Y Pa-WR
 PARA LOS SITIOS A, B Y D.

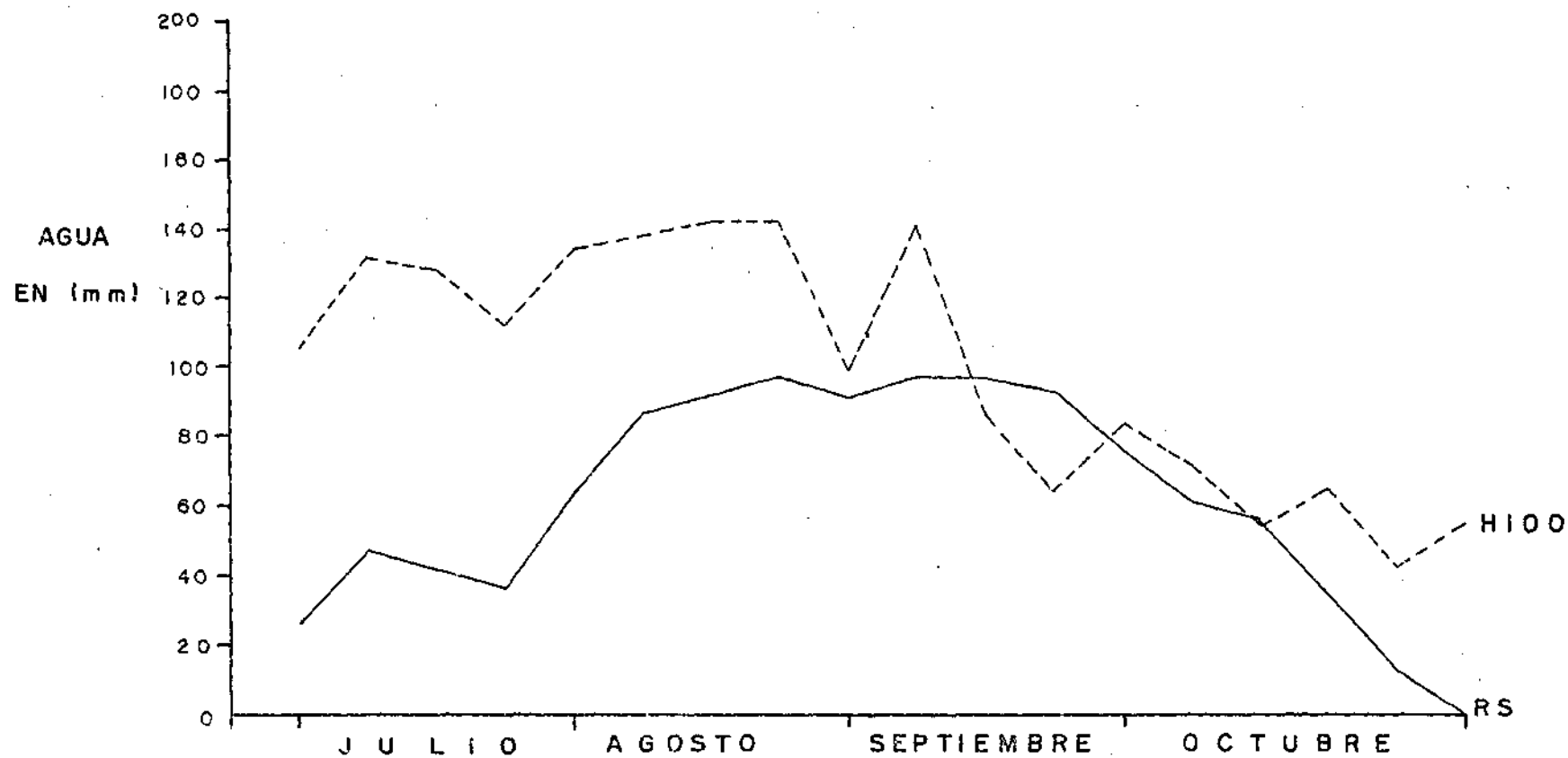


GRAFICA 2A.- COMPARACION ENTRE LAS VARIABLES RS Y Pa-WR
 PARA EL SITO C.

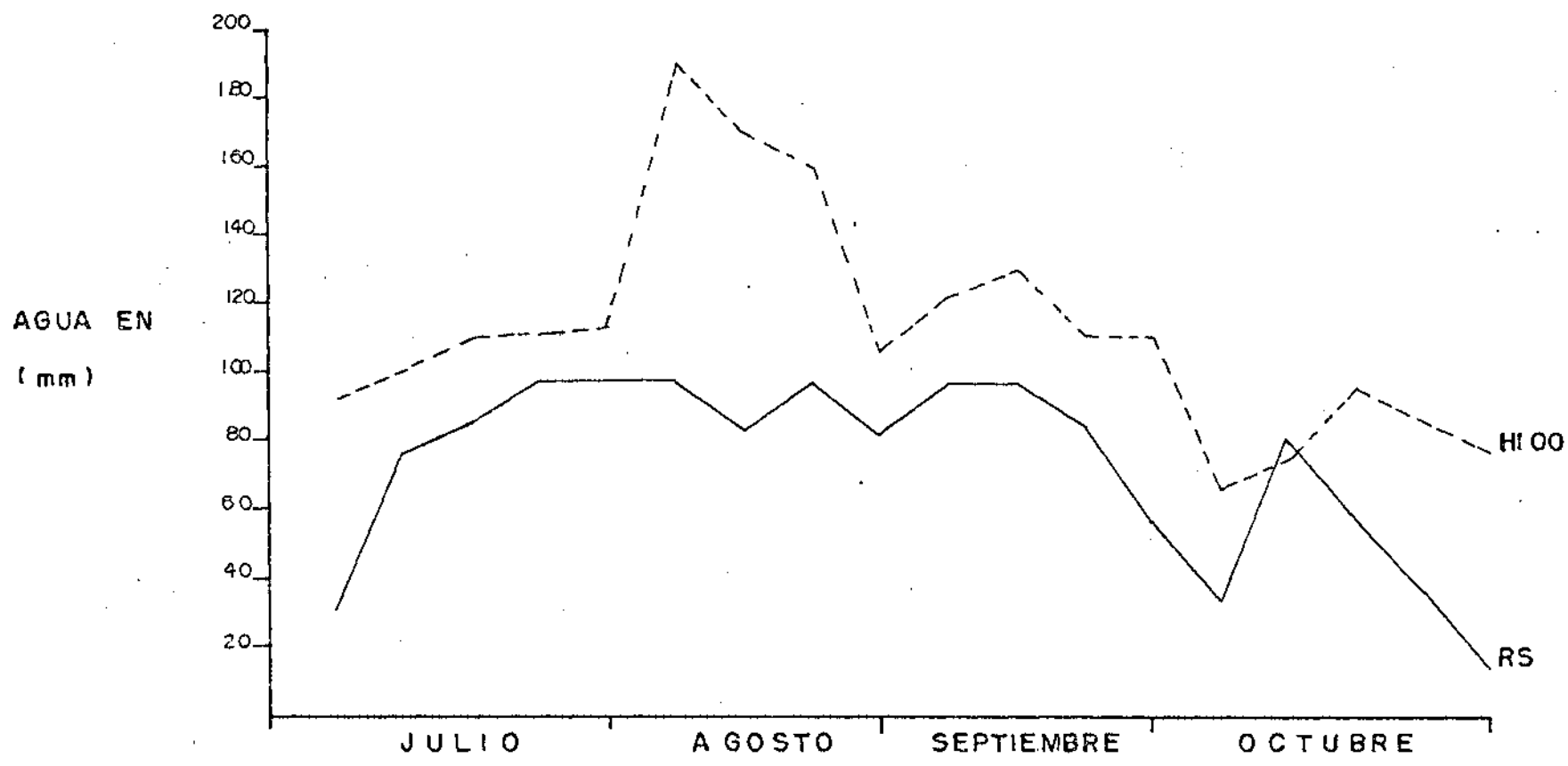


GRAFICA 3A.- COMPARACION ENTRE LAS VARIABLES RS Y H100

PARA EL SITIO A.

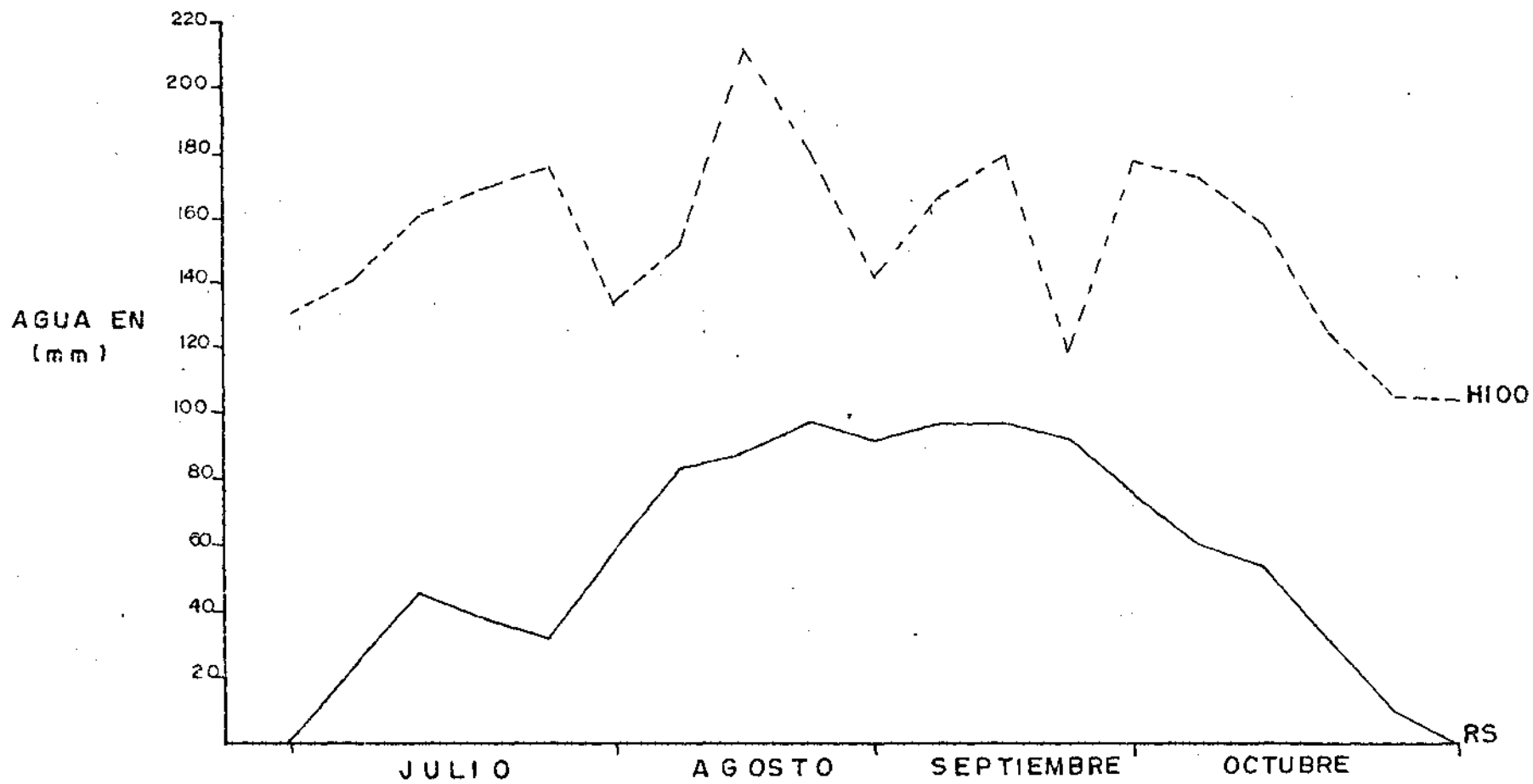


GRAFICA 4A.- COMPARACION ENTRE LAS VARIABLES RS Y H100
PARA EL SITIO B.

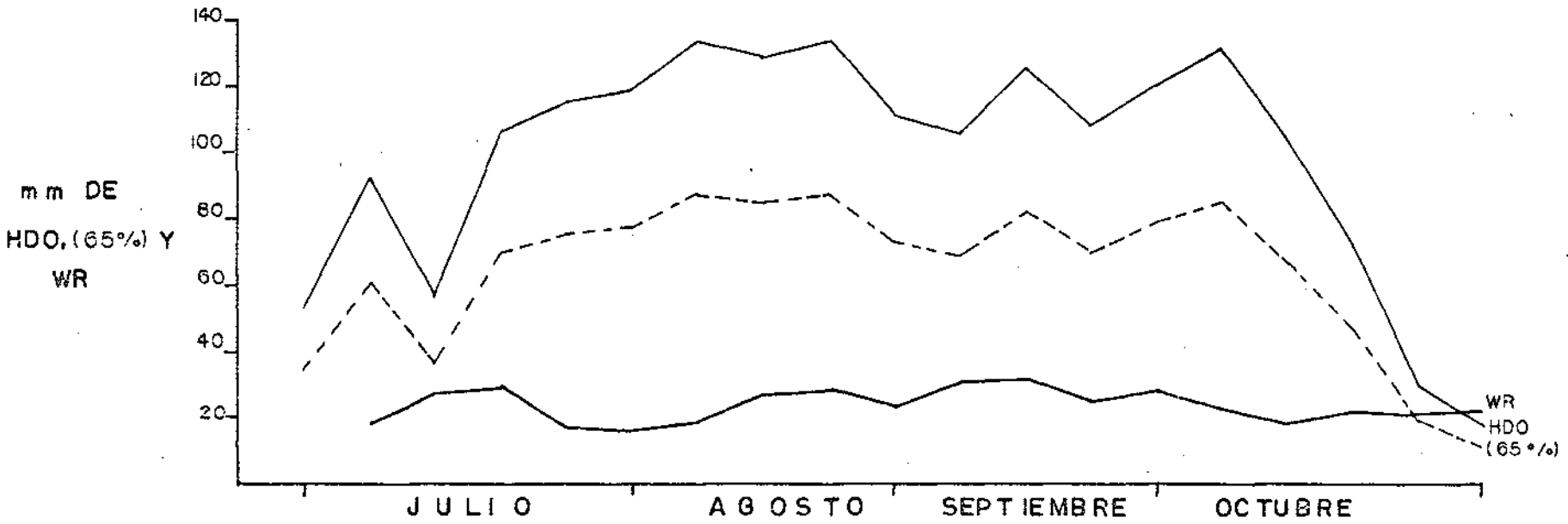


GRAFICA 5A-COMPARACION ENTRE LAS VARIABLES RS Y H100 PARA EL --

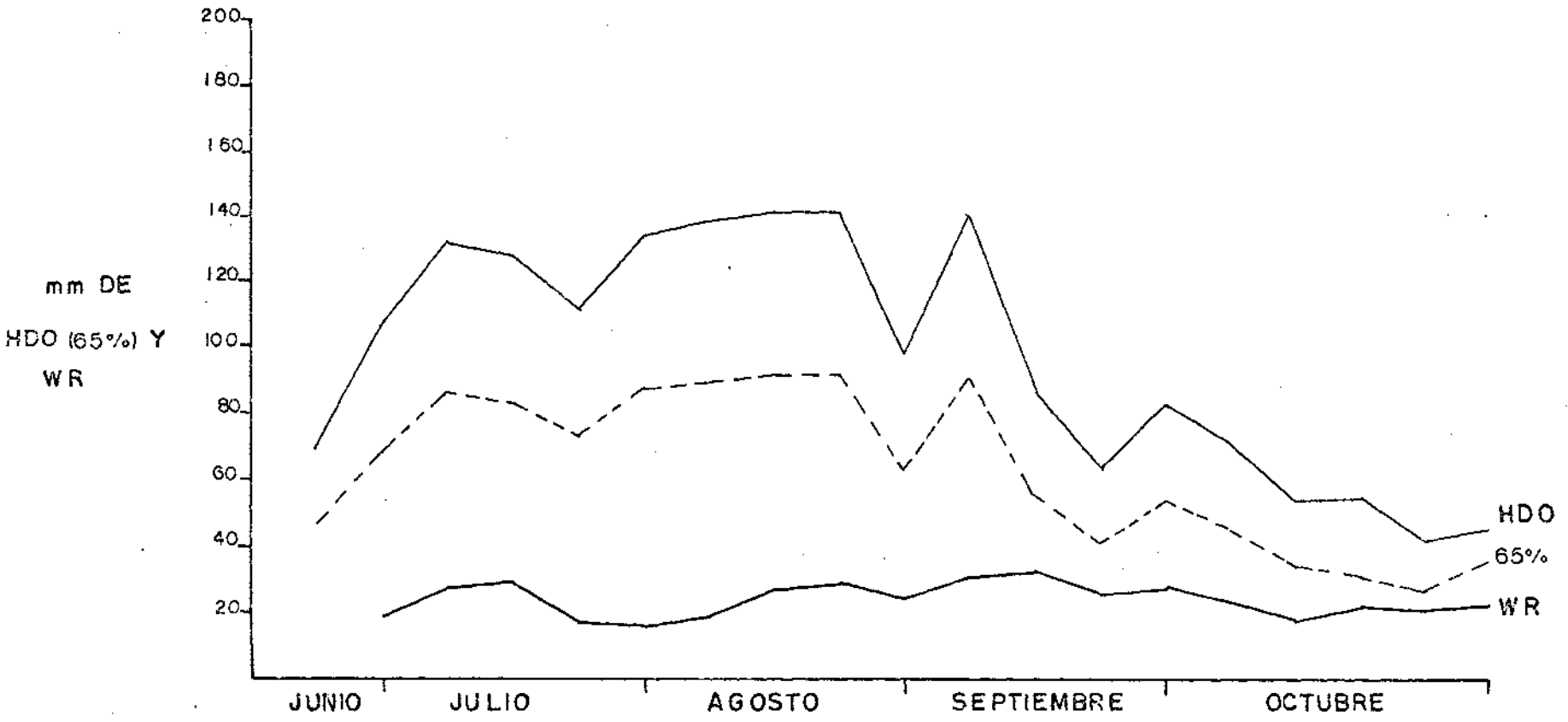
SITIO C.



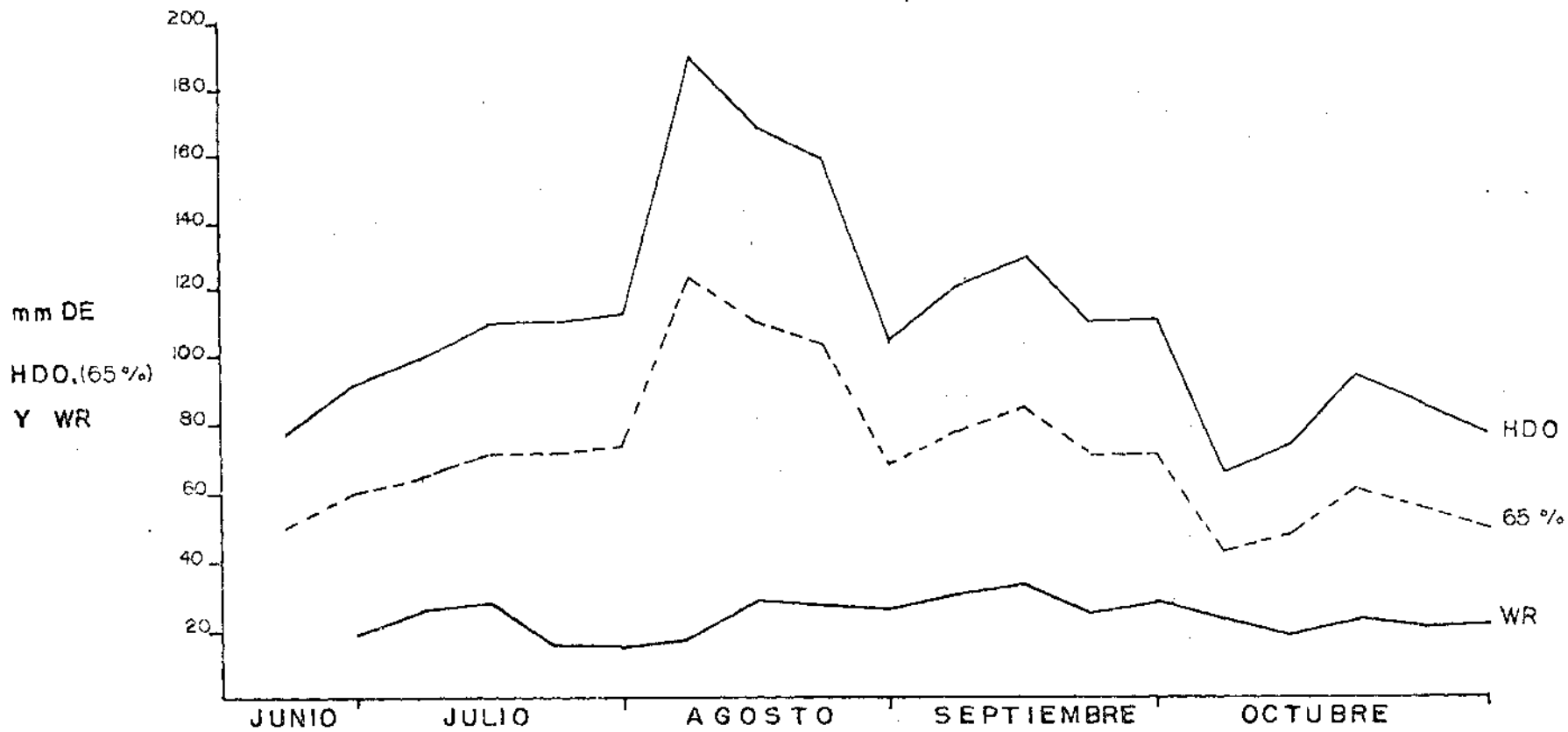
GRAFICA 6A.- COMPARACION ENTRE LAS VARIABLES RS Y H100 PARA EL SITIO D.



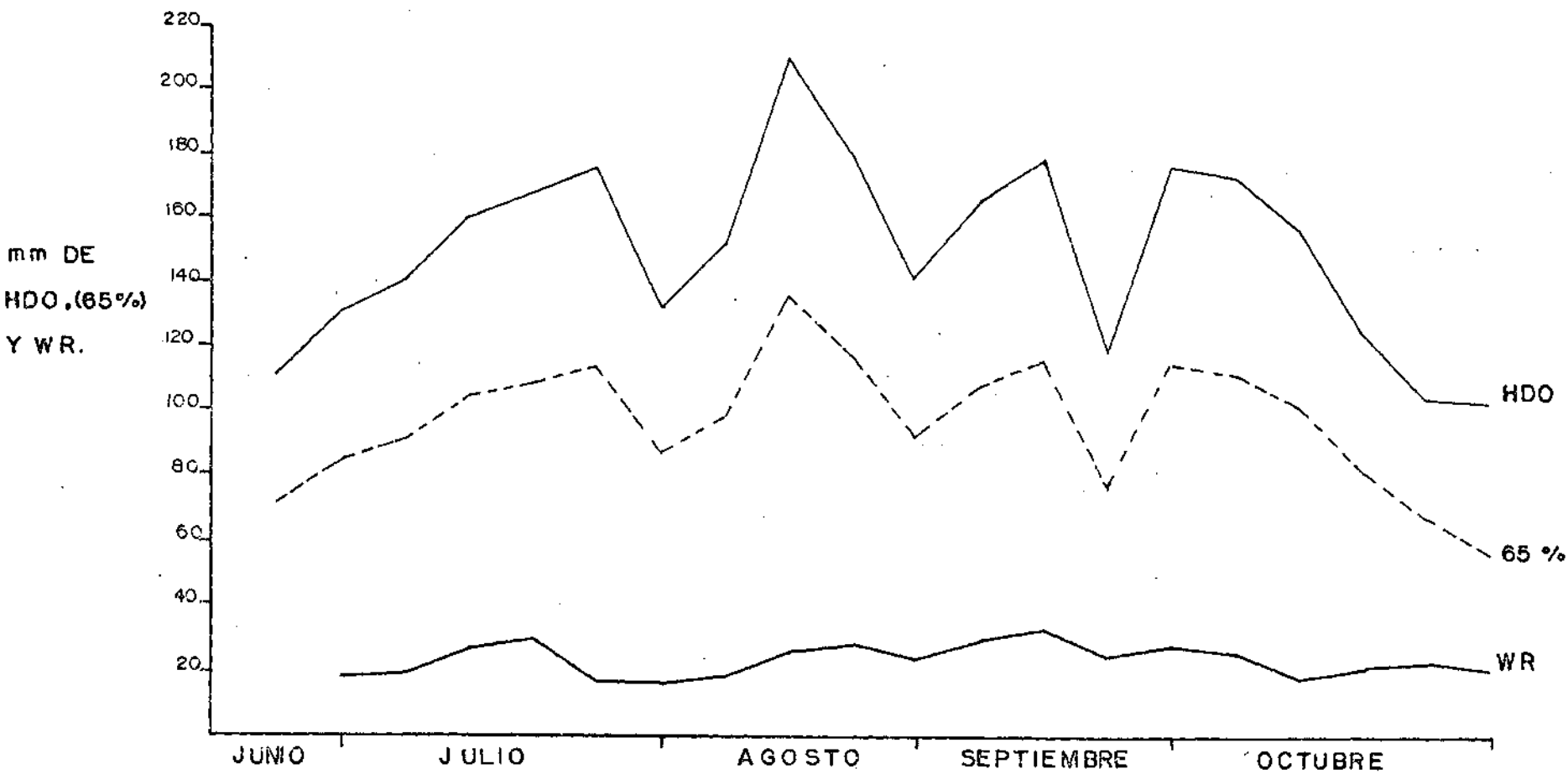
GRAFICA 7A.- VARIACIONES DE LA HDO Y EL 65 % DE ESTA COMPARADAS CON-
WR. PARA EL SITIO.A.



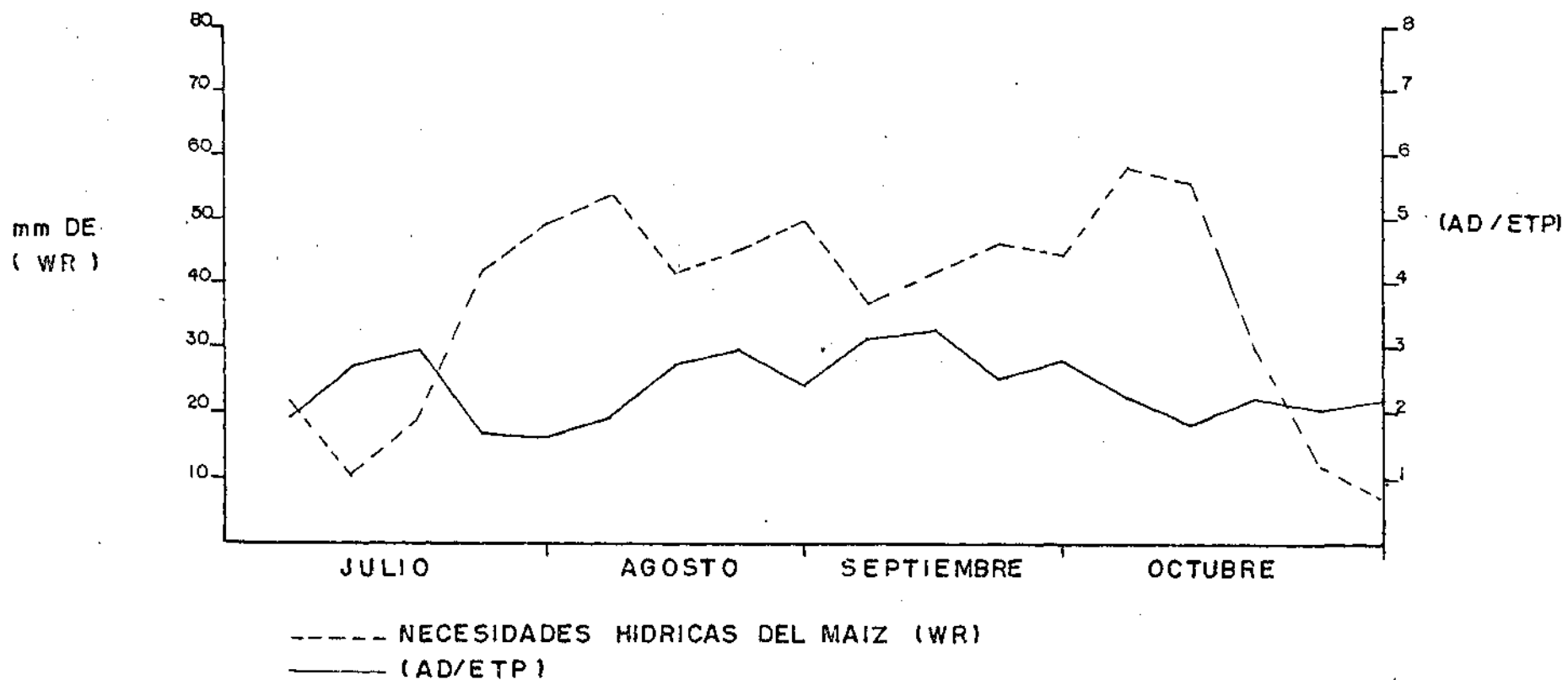
GRAFICA 8A.- VARIACIONES DE LA HDO Y EL 65 % DE ESTA COMPARADAS CON -- WR. PARA EL SITIO B.



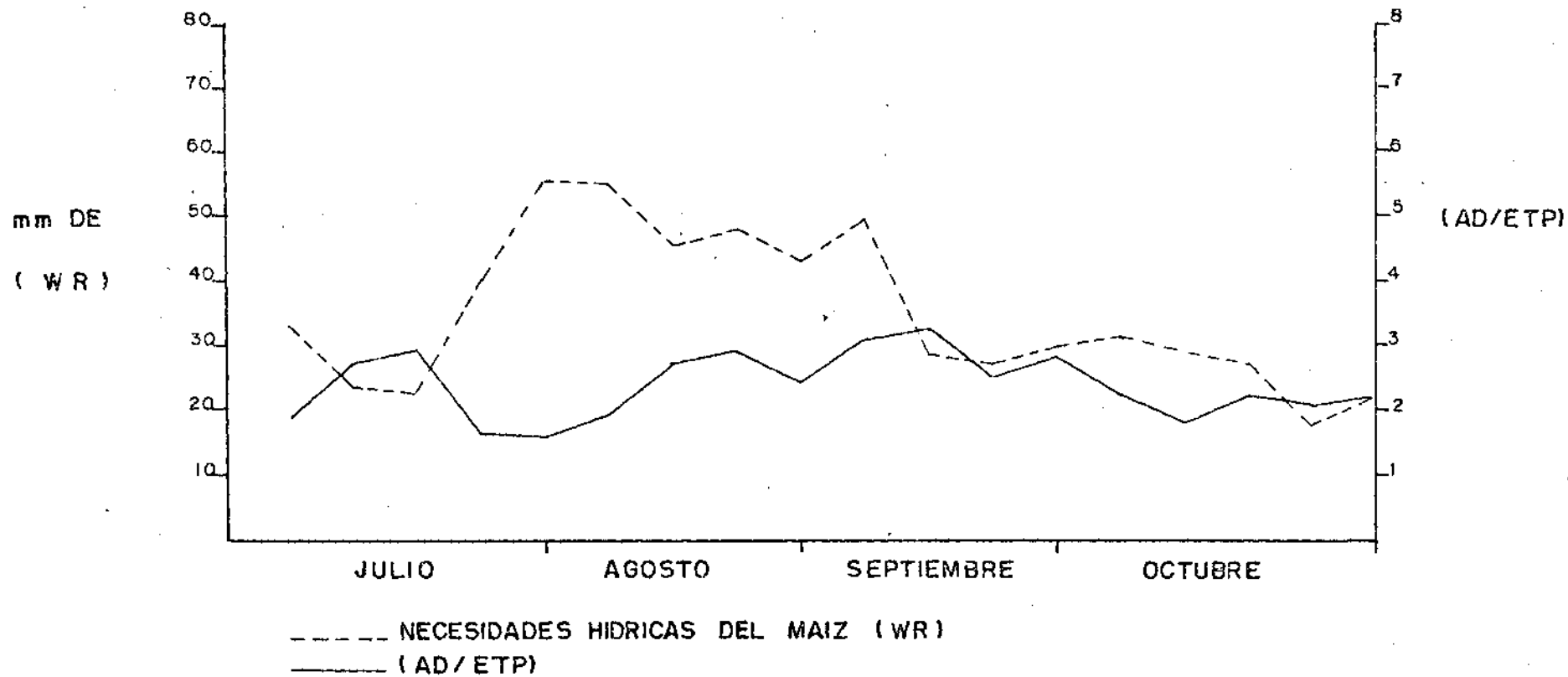
GRAFICA 9A.- VARIACIONES DE LA HDO Y EL 65 % DE ESTA COMPARADAS CON WR. PARA EL SITIO C.



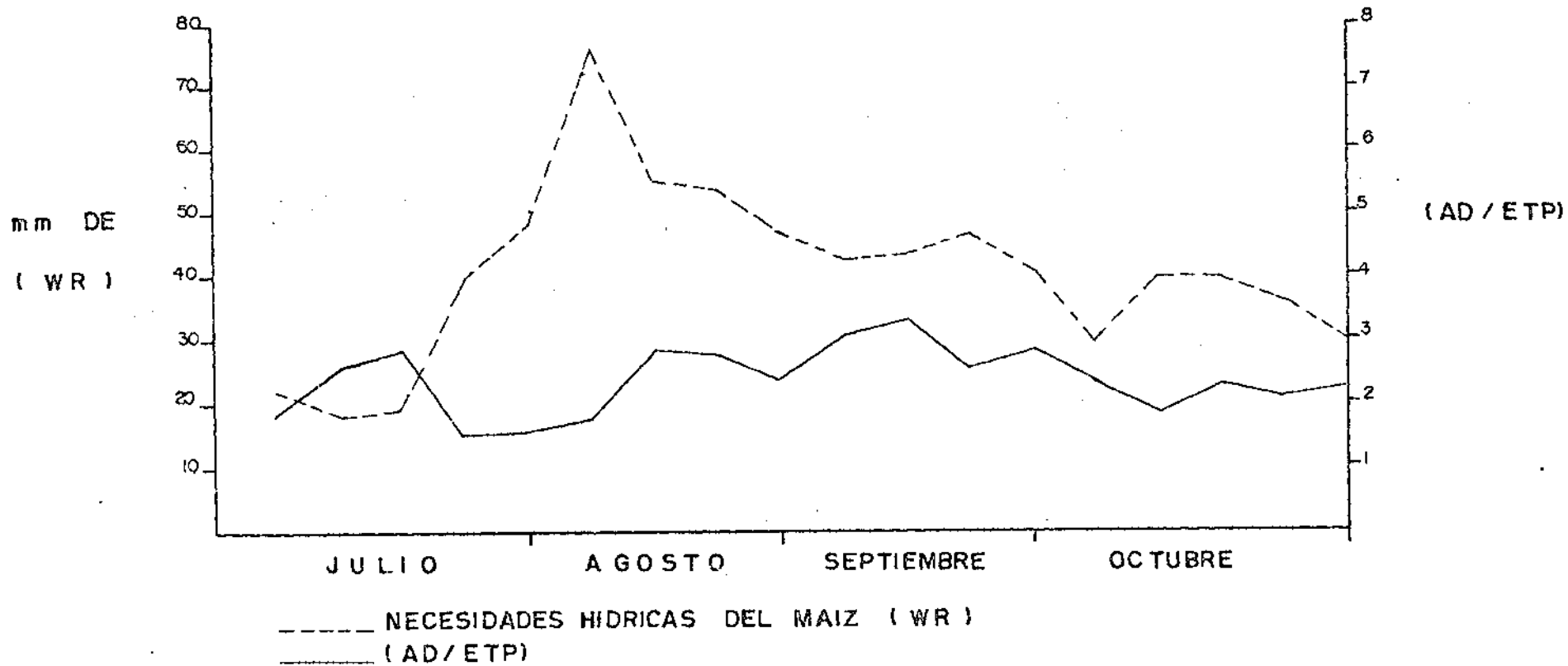
GRAFICA 10A.-VARIACIONES DE LA HDO Y EL 65% DE ESTA COMPARADAS CON WR.
PARA EL SITIO D.



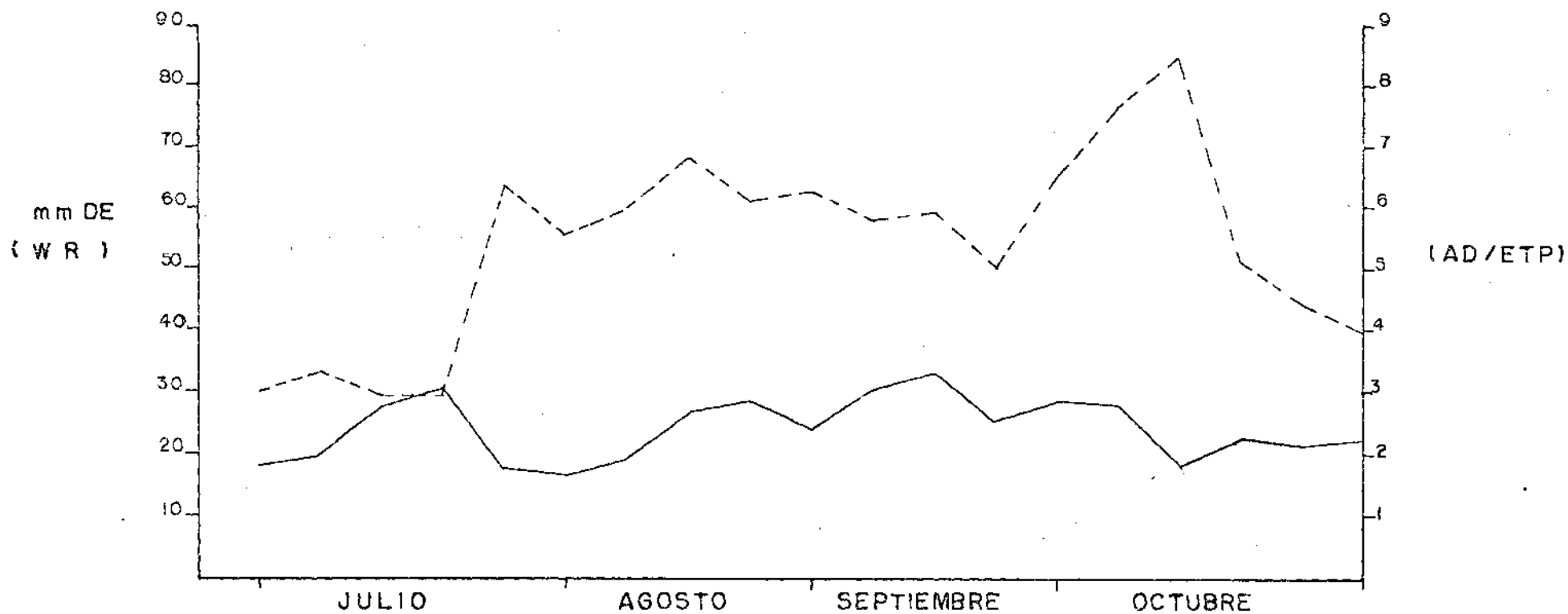
GRAFICA IIA.- RELACION ENTRE (AD/ETP) Y WR PARA EL SITIO A.



GRAFICA 12A.-RELACION ENTRE (AD/ETP) Y WR PARA EL SITIO B.

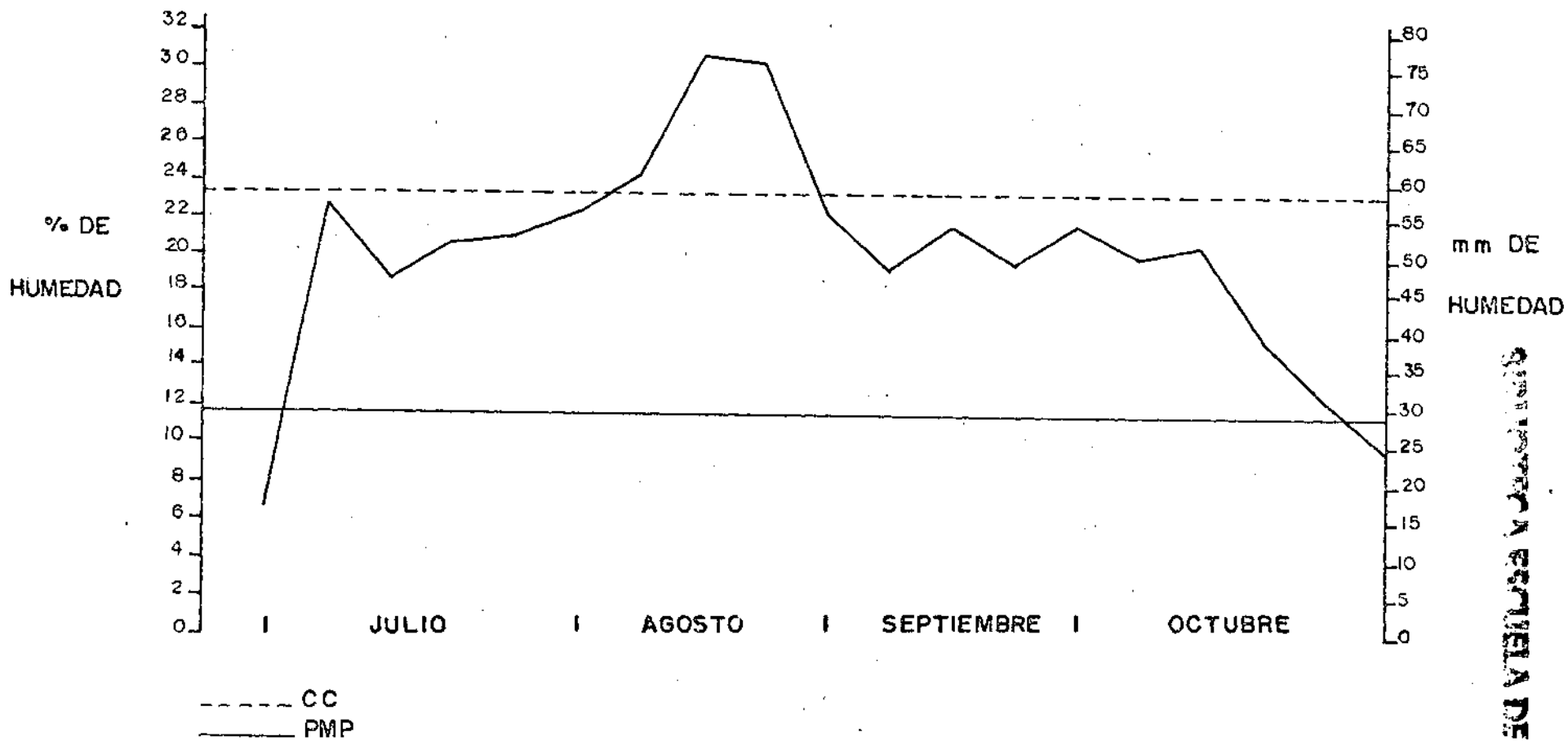


GRAFICA 13 A.- RELACION ENTRE (AD / ETP) Y WR PARA EL --
 SITIO C.



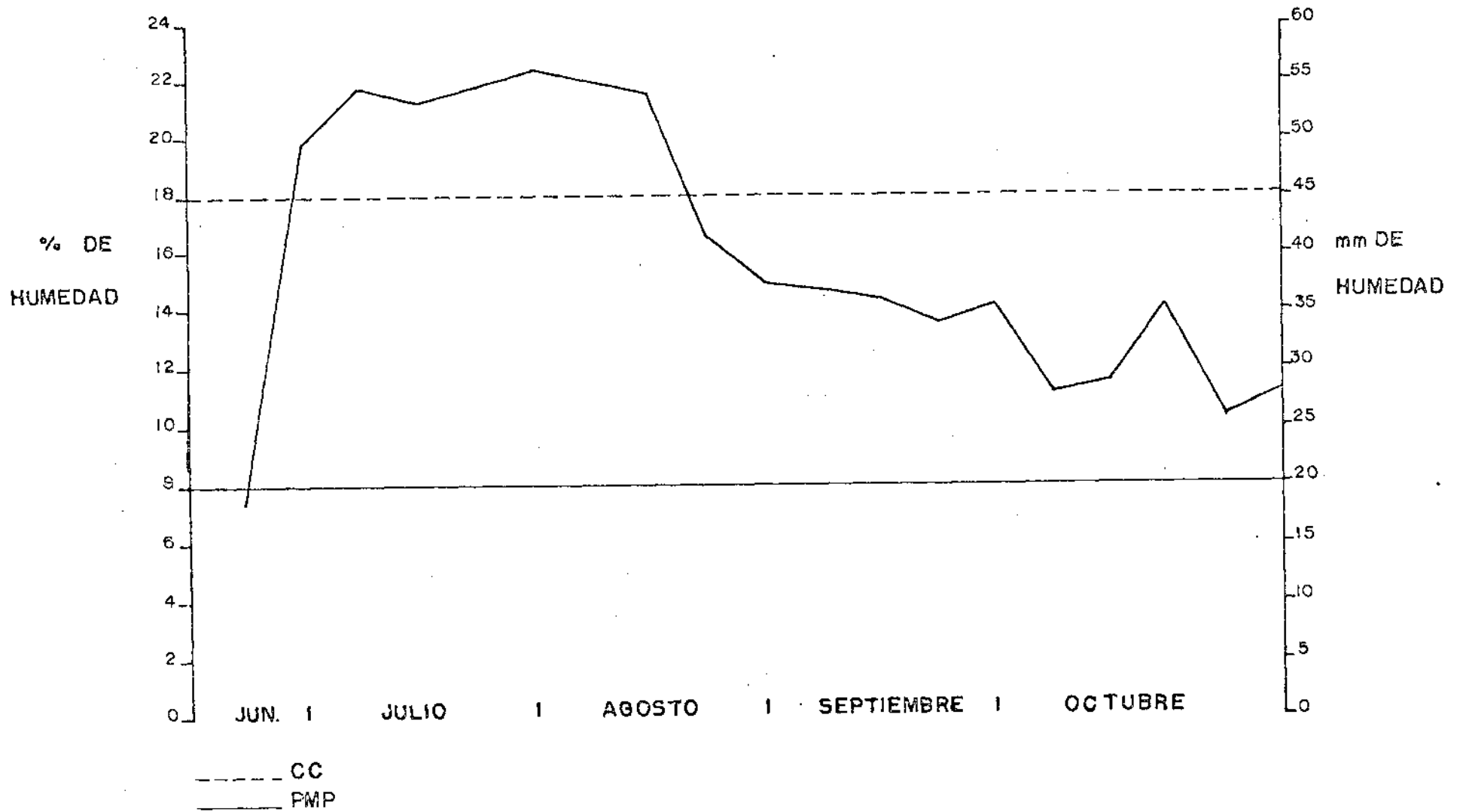
NECESIDADES HIDRICAS DEL MAIZ (WR)
(AD/ETP)

GRAFICA 14A.- RELACION ENTRE (AD/ETP) Y WR PARA EL SITIO D.

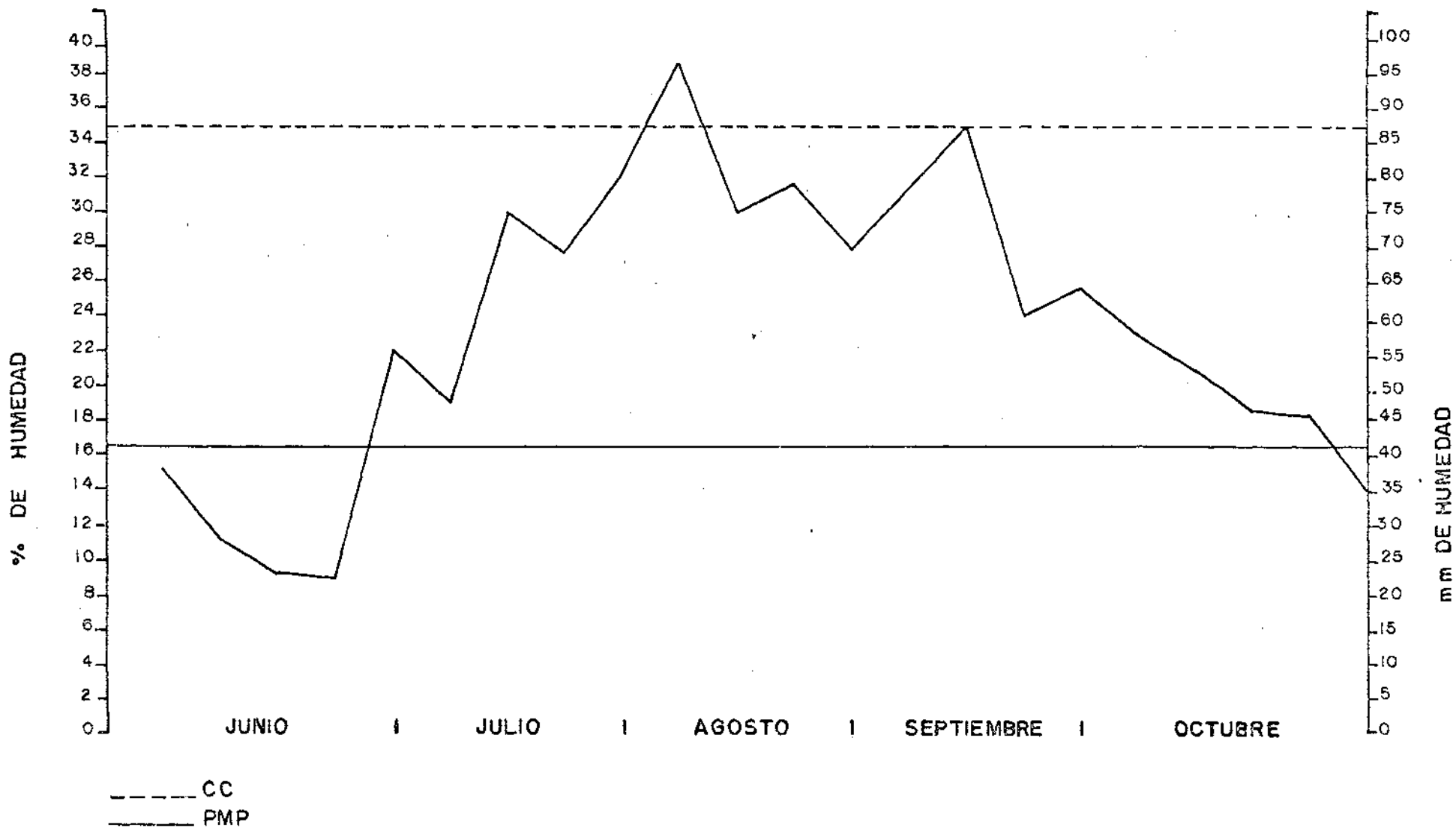


GRAFICA 15 A.- COMPORTAMIENTO DE LA VARIABLE H2O PARA EL SITIO A.

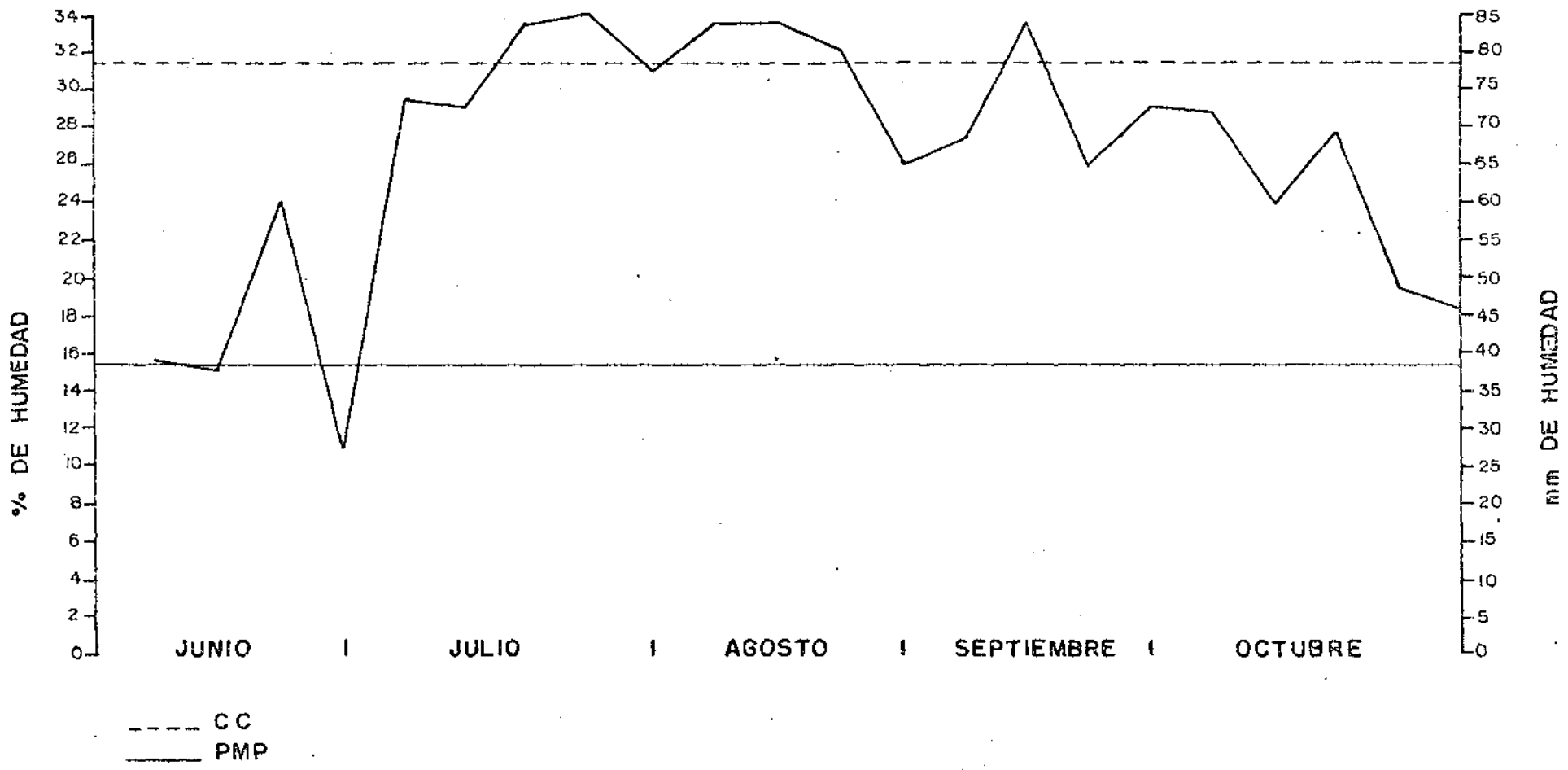
AGRICULTURA



GRAFICA 16A.- COMPORTAMIENTO DE LA VARIABLE H2O PARA EL SITIO B.

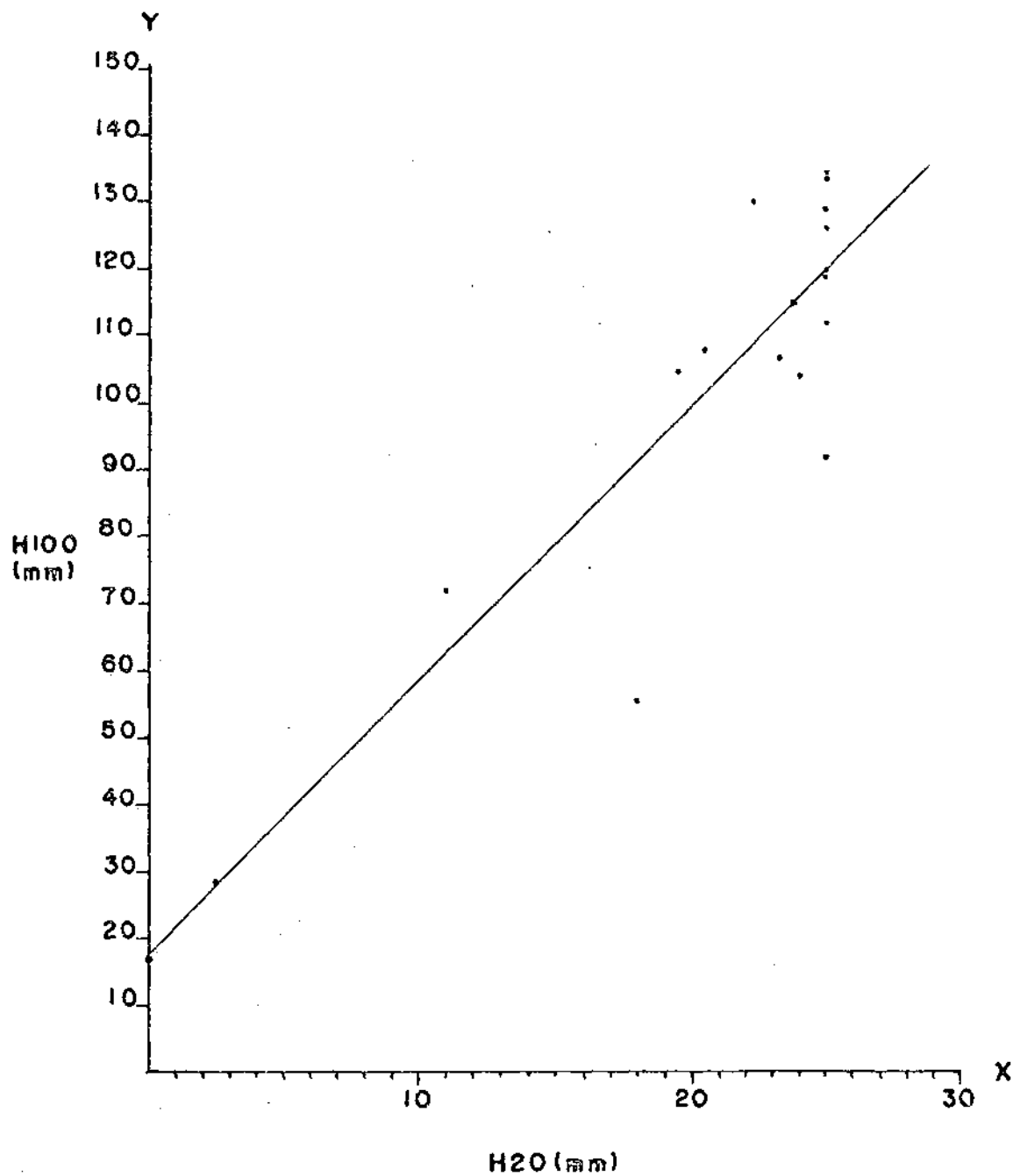


GRAFICA 17A.- COMPORTAMIENTO DE LA VARIABLE H2O PARA EL SITIO C.



GRAFICA 18 A.- COMPORTAMIENTO DE LA VARIABLE H2O PARA EL SITIO D.

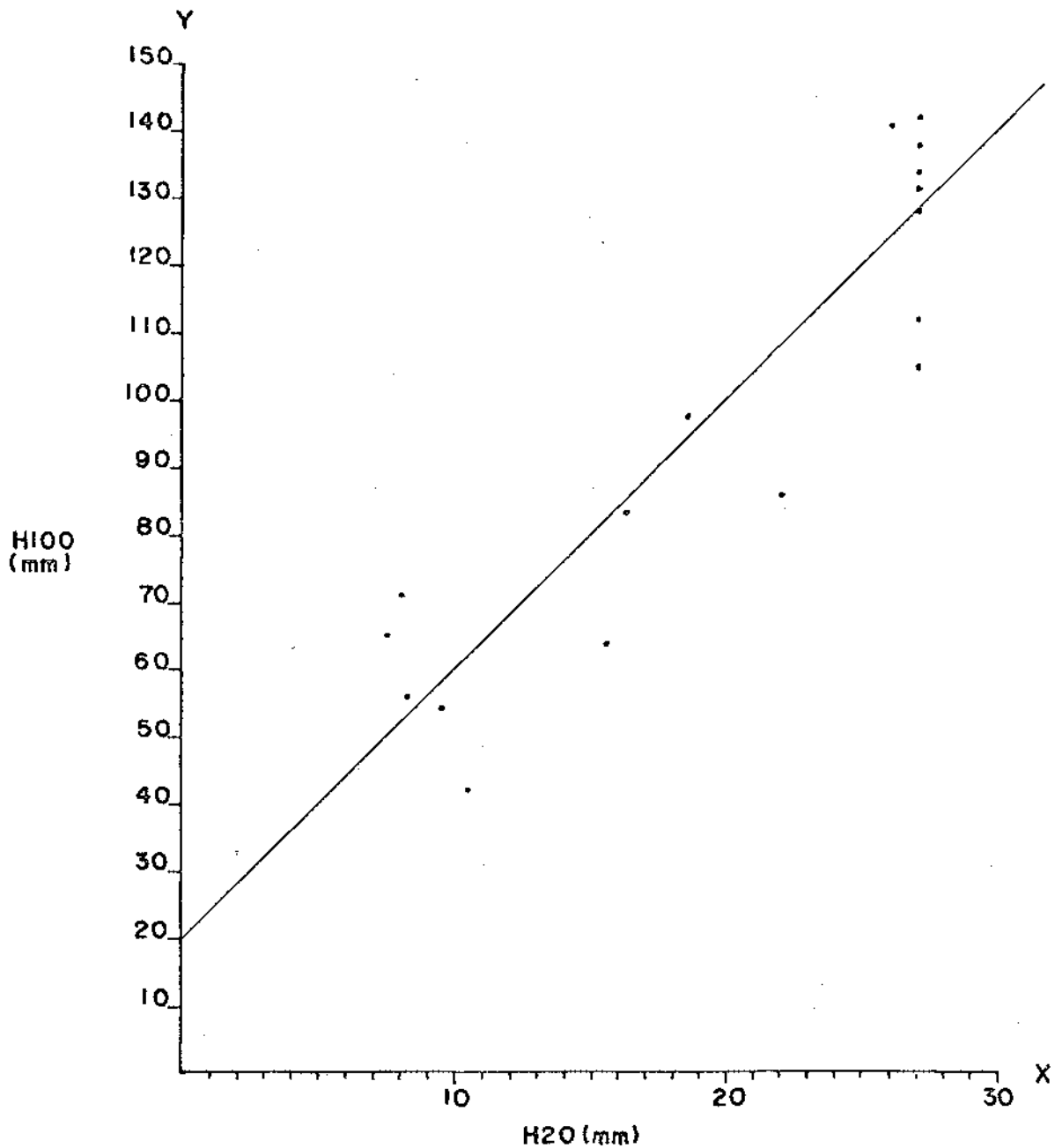
$$H100 = 18.1096 + 4.0546 (H20) \quad r = 0.9121$$



GRAFICA 19.—RECTA DE REGRESION PARA EL SITIO A.

BIBLIOTECA ESCUELA DE AGRICULTURA

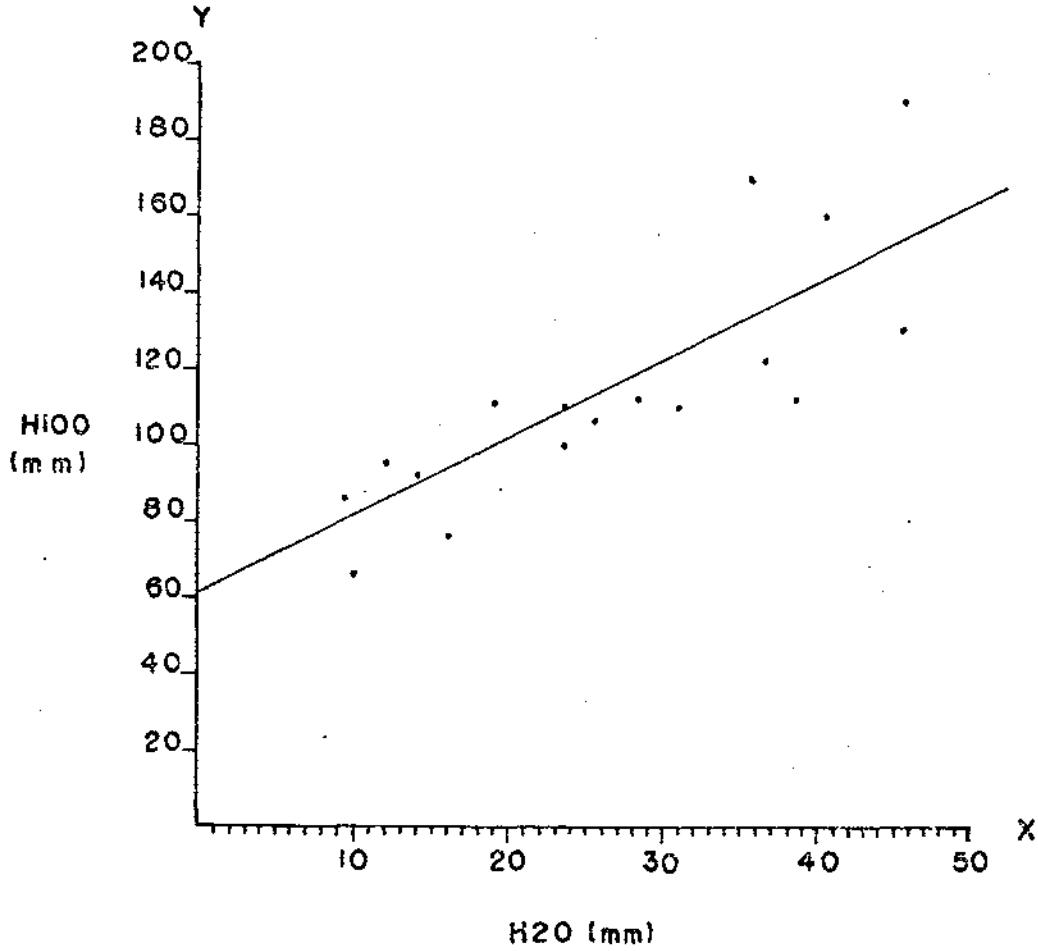
$$H100 = 20.4901 + 3.9706 (H20) \quad r = 0.9134$$



GRAFICA 20.-RECTA DE REGRESION PARA EL SITIO B.

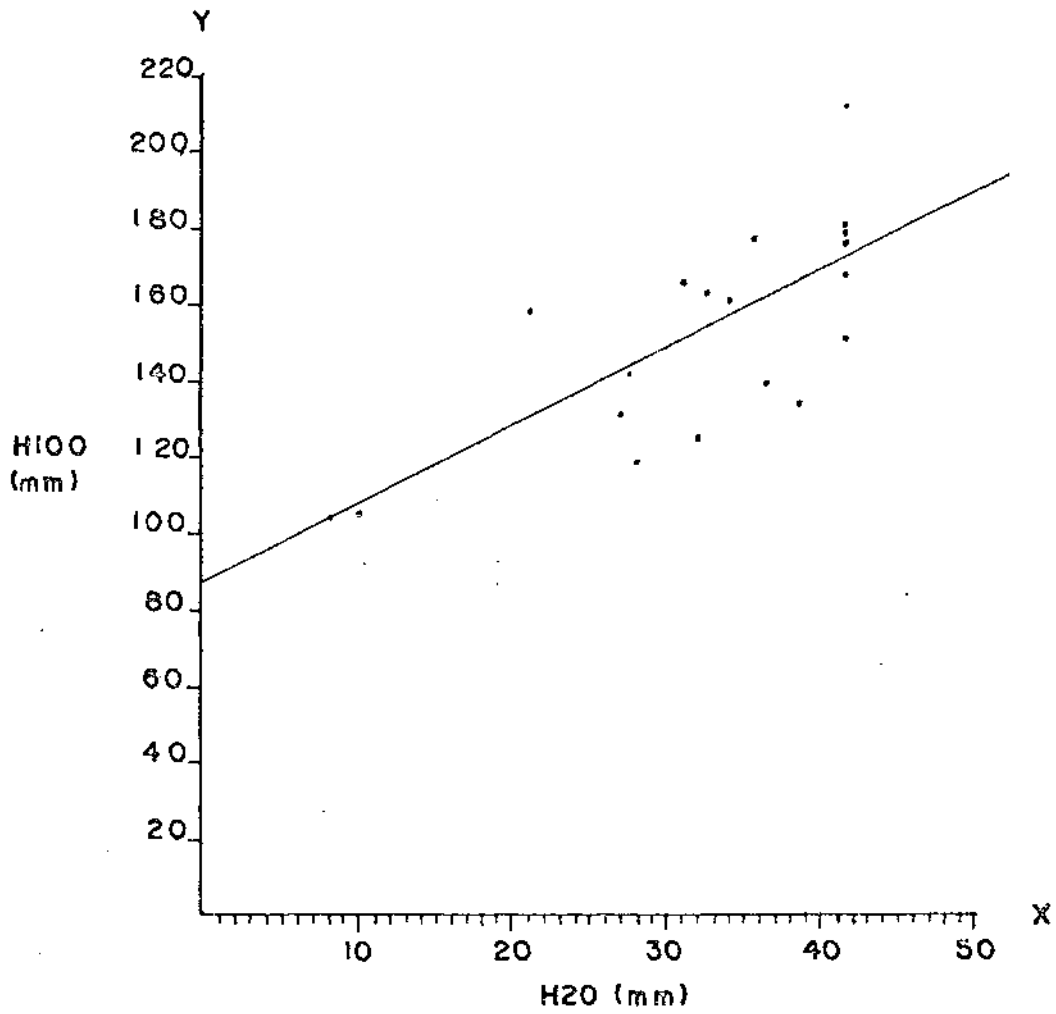
$$H100 = 61.6318 + 2.0219 (H20)$$

$$r = 0.8262$$



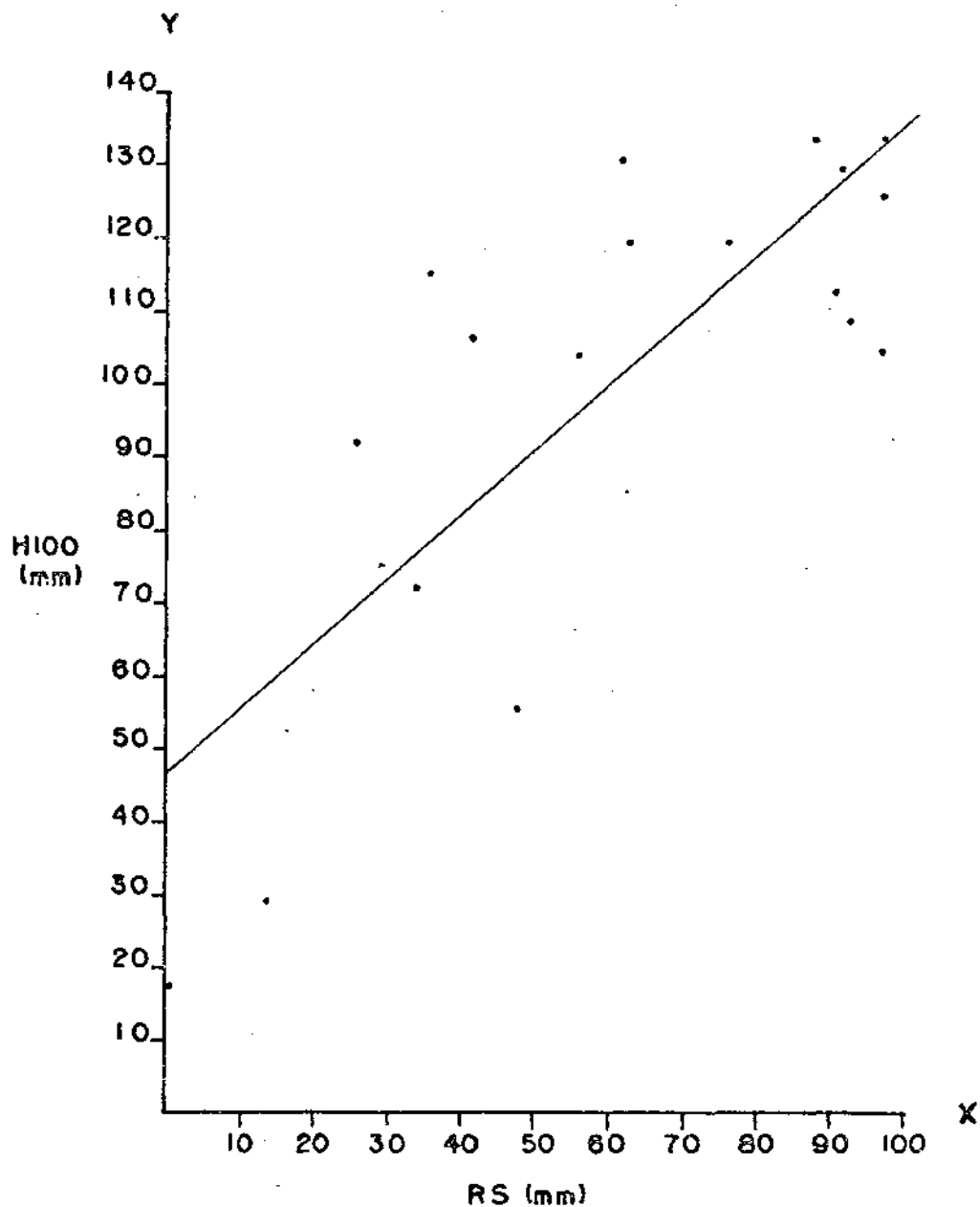
GRAFICA 21.- RECTA DE REGRESION PARA EL SITIO C.

$$H100 = 86.6590 + 2.0572 (H20) \quad r = 0.7317$$



GRAFICA 22.- RECTA DE REGRESION PARA EL SITIO D.

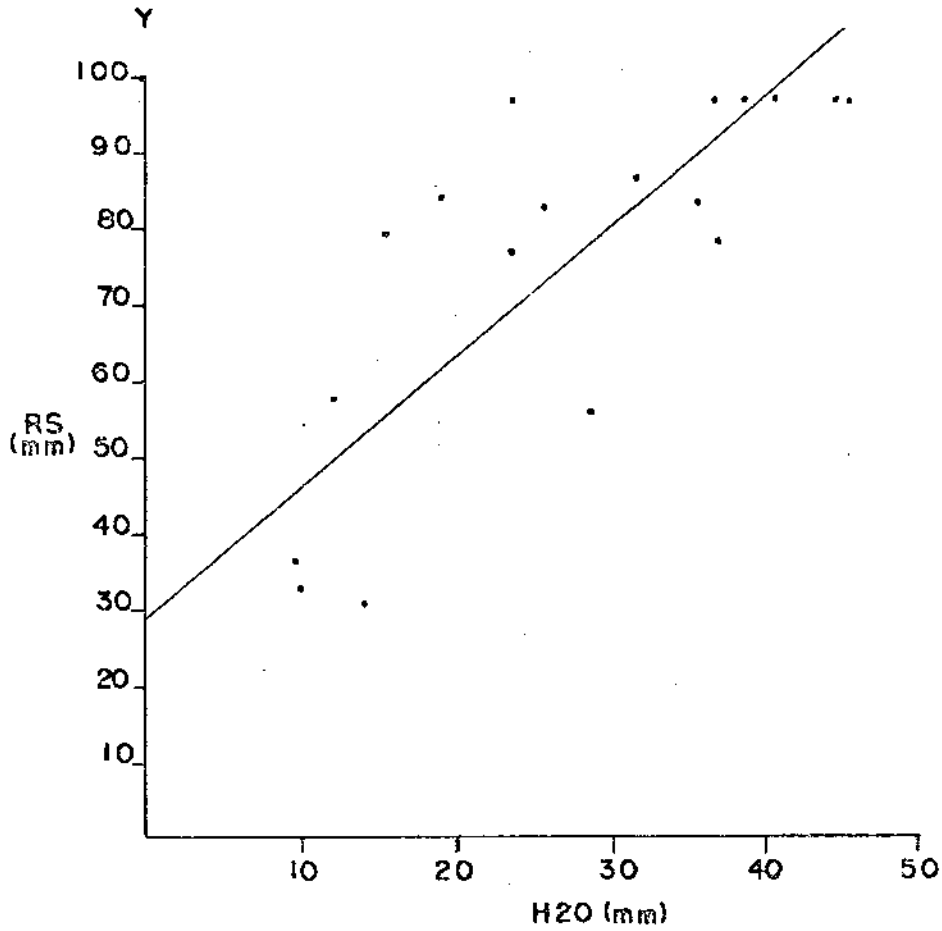
$$H100 = 47.2177 + 0.8662 (RS) \quad r = 0.7826$$



GRAFICA.-- 23 RECTA DE REGRESION PARA EL SITIO A.

$$RS = 29.2563 + 1.7085 (H2O)$$

$$r = 0.8402$$



GRAFICA 25.- RECTA DE REGRESION PARA EL SITIO C.