

6 201



**Universidad Nacional Autónoma de México**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

Evaluación de Humedad Disponible  
en Suelos de Ando en el Distrito  
de Atlacomulco, México

TESIS PROFESIONAL  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO AGRICOLA  
P R E S E N T A  
RAUL BERRUECOS QUINTANA



Cuautitlán Izcalli, Edo. de México

Julio 1990

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## INDICE

	Pag.
<b>I. Introducción</b>	1
<b>II. Objetivos e Hipótesis</b>	5
2.1. Objetivo general	5
2.2. Objetivo específico	5
2.3. Hipótesis	5
<b>III. Revisión de Literatura</b>	6
3.1. Características generales de los suelos de andosol	6
3.2. Importancia de la humedad en el suelo	8
3.3. Densidad aparente	11
3.3.1. Influencia de la densidad aparente en los cultivos	11
3.3.2. Métodos de evaluación de la densidad aparente	12
3.4. Unidades térmicas	13
3.4.1. Influencia de la temperatura en los cultivos	13
3.4.2. Importancia de las unidades calor para los cultivos	13
3.5. Balance de humedad	14
3.6. Necesidades climáticas del cultivo del trigo	14
<b>IV. Materiales y Métodos</b>	16
4.1. Características del área de estudio	16
4.1.1. Ubicación geográfica	16
4.1.2. Características del agrosistema valles y laderas de altura (VALA)	16
4.1.3. Relieve	16
4.1.4. Clima	18
4.1.5. Sitios experimentales	18
4.2. Método gravimétrico	18
4.3. Método de membrana y olla de presión	18
4.4. Estimación de lámina aprovechable	21
4.4.1. Humedad gravimétrica	21
4.5. Cálculo de Balance de Humedad	22
4.5.1. Precipitaciones normales	23
4.5.2. Precipitación actual	23
4.5.3. Cantidad de días de lluvia	23
4.5.4. Evapotranspiración potencial	23
4.5.5. Coeficiente de cultivo	23
4.5.6. Requerimientos de agua	23
4.5.7. Diferencia entre precipitación actual y necesidades hídricas del cultivo	23
4.5.8. Reservas hídricas del terreno	24
4.5.9. Exceso y déficit de agua	24
4.5.10. Índice de requerimientos hídricos	24
4.6. Método de Blaney y Criddle, modificado por Hansen	24
4.7. Densidad aparente	25

	Pag.
<b>V. Resultados y discusión</b>	<b>27</b>
5.1. Estimación de lámina aprovechable	27
5.2. Humedad aprovechable	29
5.3. Cálculo de la evapotranspiración	33
5.3.1. Cálculo de la evaporación del tanque evaporímetro tipo "A"	37
5.4. Definición de los estados de desarrollo fenológico del cultivo del trigo	37
5.5. Cálculo de evapotranspiración máxima	39
5.6. Requerimientos de agua del cultivo del trigo	43
5.7. Balance hídrico	43
<b>VI. Conclusiones</b>	<b>48</b>
<b>VII. Recomendaciones</b>	<b>49</b>
<b>VIII. Bibliografía</b>	<b>50</b>
<b>IX. Apéndice</b>	<b>54</b>

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1	Página 3
Lámina aprovechable en dos agrosistemas del Distrito de Desarrollo Rural No. 68, Atlacomulco, Edo. Mex.	
Figura 2	Página 7
Secuencia del desarrollo de los suelos derivados de cenizas volcánicas, con mineralogía característica asociada y órdenes del suelo de acuerdo con séptima aproximación.	
Figura 3	Página 9
Principales propiedades físicas y químicas de los suelos derivados de cenizas volcánicas.	
Figura 4	Página 10
Esquema ilustrado de umbrales de humedad que se encuentran en el suelo.	
Figura 5	Página 17
Análisis agroclimático, estación climatológica Concepción del Monte, Agrosistema Valles y Laderas de altura (vala).	
Figura 6	Página 19
Localización gráfica de los sitios experimentales en el Municipio de San Felipe del Progreso, Mex.	
Figura 7	Página 28
Humedad acumulativa por profundidad de la localidad San Joaquín del Monte, Edo. Mex.	
Figura 8	Página 30
Humedad acumulativa por profundidad de la localidad de La Trinidad, Edo. Mex.	
Figura 9	Página 31
Humedad acumulativa por profundidad de la localidad de Yondecee del Cedro, Edo. Mex.	
Figura 10	Página 32
Análisis de varianza de humedad aprovechable con arreglo. Bloques al azar de la localidad de San Joaquín del Monte, Mex.	

Figura 11	Página 32
Prueba diferencial de medias bajo el método de Tuckey para la parcela de la localidad de San Joaquín del Monte, Mex.	
Figura 12	Página 34
Análisis de varianza de humedad aprovechable con arreglo en bloques al azar en la parcela de la Trinidad, Mex.	
Figura 13	Página 34
Prueba diferencial de medias bajo el método de Tuckey para la parcela de la localidad de la Trinidad, Mex.	
Figura 14	Página 35
Análisis de varianza de humedad aprovechable con arreglo en bloques al azar de la parcela de Yondece del Cedro, Mex.	
Figura 15	Página 35
Prueba diferencial de medias bajo el método de Tuckey para la parcela de Yondece del Cedro, Mex.	
Figura 16	Página 36
Análisis de varianza conjunto de las 3 parcelas con arreglo en bloques al azar.	
Figura 17	Página 36
Prueba diferencial de medias del análisis conjunto de las 3 parcelas bajo el método de Tuckey.	
Figura 18	Página 38
Evaporación media expresada en mm. de agua de 10 años a nivel semanal de la estación Climatológica de Concepción del Monte.	
Figura 19	Página 38
Evapotranspiración potencial calculada en base a la evaporación por semana expresada en mm. de agua de la Estación Climatológica de Concepción del Monte.	
Figura 20	Página 40
Curva única de Hansen, se graficó el coeficiente de cultivo (kc) para trigo en base al cálculo de unidades térmicas considerando el cero biológico.	

Figura 21	Página 4 1
Evapotranspiración máxima a nivel semanal y acumulativo mensual para el cultivo del trigo.	
Figura 22	Página 4 2
Uso consuntivo mediante el método de Blaney y Criddle, modificado por Hansen para el cultivo del trigo con datos de la Estación Climática de Concepción del Monte.	
Figura 23	Página 4 5
Balance Hídrico de la Estación Climatológica de Concepción del Monte para trigo en la localidad de San Joaquín del Monte.	
Figura 24	Página 4 6
Balance Hídrico de la Estación Climatológica de Concepción del Monte para trigo en la localidad de la Trinidad.	
Figura 25	Página 4 7
Balance Hídrico de la Estación Climatológica de Concepción del Monte para trigo en la localidad de Yondece del Cedro.	

## CUADROS DEL APENDICE

Cuadro 1A	Página 55
Principales unidades de suelos de la Mesa Central y su importancia de acuerdo a la superficie que cubre.	
Cuadro 2A	Página 56
Formato para determinar el Balance Hídrico propuesto por F.A.O. 1980	
Cuadro 3A	Página 57
Curva única de Hansen para el cálculo del coeficiente de cultivo (kc).	
Cuadro 4A	Página 58
Formato de uso consuntivo teórico mediante el Método Blaney y Criddle, modificado por Hansen.	
Cuadro 5A	Página 59
Humedad aprovechable expresada en mm. a 5 profundidades en la localidad de San Joaquín del Monte, Mex., 1986.	
Cuadro 6A	Página 60
Humedad aprovechable expresada en mm. a 5 profundidades en la localidad de La Trinidad, Edo. Mex., 1986.	
Cuadro 7A	Página 61
Humedad aprovechable expresada en mm. a 5 profundidades en la localidad de Yondecee del Cedro, Edo. Mex.	



## I. Introducción

En México es común encontrar volcanes y depósitos de cenizas volcánicas de magmas basálticas, andesíticas y riolíticas. Estas formaciones geológicas se observan de Norte a Sur en la Sierra Madre Occidental, desde los estados de Chihuahua hasta Chiapas.

En la Mesa Central se localizan en el eje neovolcánico formando Macizos Montañosos en Jalisco, Colima, Michoacán, Estado de México, Puebla y Veracruz. Otra formación geológica es la Sierra Madre del Sur de Guerrero, Oaxaca, Chiapas, Tabasco y Veracruz, estas elevaciones montañosas varían de los 2000 a 5000 m.s.n.m. y están cubiertos por vegetación de Abies spp., Pino spp., Quercus spp., y pastizales.

Dentro de la República Mexicana los suelos de cenizas volcánicas cubren una superficie de 490,750 Km<sup>2</sup>, en los cuales se desarrollan una diversidad de cultivos de importancia económica como el maíz, trigo y frijol, además de una variedad de cultivos industriales como el café, aguacate y caña de azúcar entre otros. (Agullera 1965).

Los suelos de ando son un ejemplo típico de los suelos de origen volcánico. Una de las características de esta unidad de suelo es una alta capacidad de retención de humedad y la disponibilidad de ésta durante una gran parte del año, lo cual se proyecta fuera del período de lluvias.

En el Estado de México la unidad de andosol ocupa el segundo lugar en importancia de superficie, (cuadro 1A). En particular en el Distrito de Atlacomulco la unidad de andosol es la primera en importancia y se localiza a alturas mayores de los 2,500 m.s.n.m., con la característica de humedad residual en el suelo considerada disponible todo el año, por ende, con un potencial hipotético para producir materia seca. Esta suposición se genera con recorridos de campo, según información obtenida con agricultores y experiencias de cultivo de trigo en invierno, por lo tanto, se visualiza la posibilidad de valorizar la humedad de invierno en estos suelos, la cual se considera como permanente, según los propios agricultores.

La justificación de este trabajo de investigación obedece a la dinámica reciente del Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Agrícola y Forestal de Estado de México (ICAMEX), junto con el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP) en el sentido de impulsar líneas de investigación que permitan incrementar la producción y productividad, conservando y/o mejorando los recursos a través de un enfoque regional, con óptica de investigación para el desarrollo a partir de tres niveles básicos de análisis, éstos son: agrosistemas que conforman el distrito; sistemas de producción familiares y sistemas de cultivos dominantes.

Para el desarrollo de este proyecto de investigación se considera la delimitación de agrosistemas regionales, a partir del concepto funcional que considera la definición de zonas homogéneas o con cierto gradiente de variación a su interior, que permite contrastar zonas diferentes a partir de factores de producción, tales como: unidades de suelo, isoyetas con probabilidad  $\geq 70\%$  de ocurrencia, isotermas, altura sobre el nivel del mar y topofomas. El producto fue la identificación inicial de 7 agrosistemas.

De acuerdo a sus características de importancia agrícola, es decir, tamaño de los agrosistemas, así como por su interés agronómico, y por cierto interés social, se pretende ampliar el horizonte sobre el manejo de recursos y técnicas regionales, a partir de datos

censales municipales fueron seleccionados dos agrosistemas, de los cuales uno de ellos corresponde al de estudio.

Posteriormente se realizaron en 1985 trabajos de campo con enfoque restringido al estudio de los sistemas de producción, el cual consistió en el inventario de recursos productivos, modalidades de actividades de producción intra y extra sistemas y en particular un seguimiento detallado del sistema de cultivo dominante, que en particular en el agrosistema de andosol es con la rotación maíz - maíz, con siembra antes de inicio de lluvias, es decir, valorizando la humedad residual existente al fin del invierno y con una práctica importante de la fuerza de trabajo familiar en el proceso productivo.

El análisis del sistema de producción, entre otras limitantes, evidenció limitaciones del manejo de la ganadería de solar respecto a la disponibilidad de forraje en primavera y verano, como un fenómeno generalizado en el agrosistema de andosol y por ello, según experiencias señaladas de los agricultores y datos empíricos de la figura 1, es posible suponer la existencia de humedad disponible en invierno, como una alternativa a explorar para incrementar la productividad de los recursos y resolver un problema en el funcionamiento de los sistemas de producción dominantes en este agrosistema.

En consecuencia, se justifica como necesidad el obtener datos cuantitativos acerca de las fluctuaciones regionales en invierno del régimen de humedad de este tipo de suelo para el sistema de cultivo señalado, lo anterior considerando la disponibilidad de agua como uno de los factores más variables para la producción y en particular en temporal, que es el caso del agrosistema bajo estudio.

En términos generales la humedad en los suelos comprende todas las formas de agua que entran al sistema del suelo, principalmente en forma de lluvia, granizadas, rocío, etc. El volumen total precipitado no constituye la cantidad real de agua en el suelo, la cual es determinada por los factores siguientes: intensidad de la lluvia, cubierta de vegetación, capacidad de infiltración, permeabilidad, pendiente, textura, materia orgánica, y el contenido original de humedad, lo que finaliza con una cierta humedad disponible, la cual como variable sintética será motivo del presente trabajo.

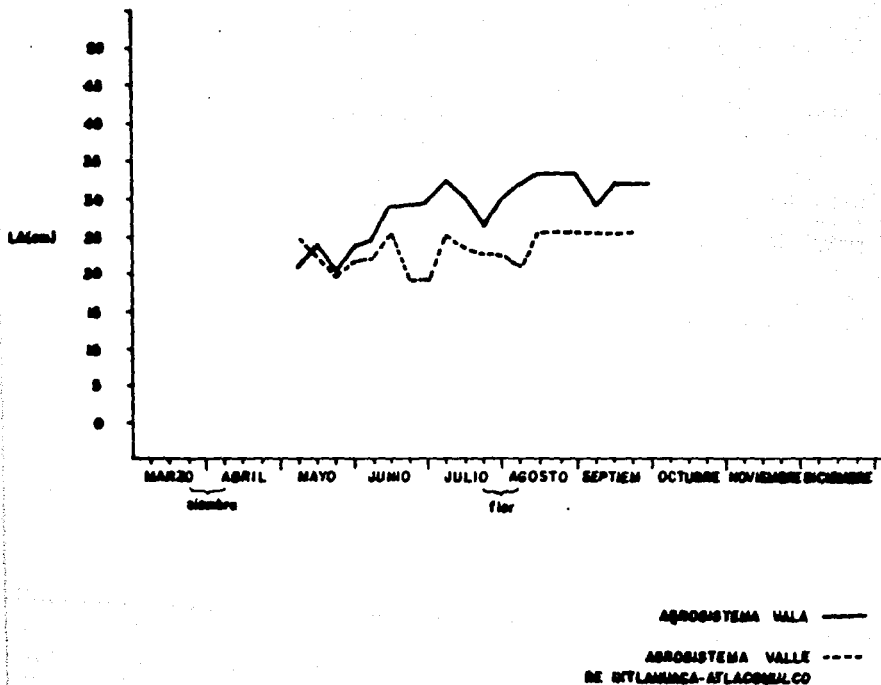
De acuerdo con Skaggs citado por Sandoval (1983), quien hace referencia a la importancia del almacenamiento y disponibilidad del agua del suelo en la producción de los cultivos, ésta ha sido ampliamente reconocida y se han realizado numerosas investigaciones para caracterizar las propiedades del suelo, responsables de la retención y absorción de ella, es por esto que los suelos de ando son de especial importancia debido a que tienen una baja densidad aparente por su textura y estructura, lo que permite la captura de humedad en forma significativa.

En el agrosistema, la mayoría de los sistemas de producción tienen ganadería de solar, principalmente bovinos, ovinos, porcinos y aves, lo cual está limitado en cierta medida por escasez y alto costo del alimento en determinadas épocas del año, y alto costo en los concentrados comerciales.

Por lo anteriormente mencionado este trabajo es pionero y tiene como objetivo conocer el régimen de humedad de invierno y proponer su aprovechamiento para que la producción de forraje de ciclo corto que no interfiera el sistema de cultivo tradicionalmente practicado que es maíz-maíz. Este régimen de humedad podría ser

Figura 1

LAMINA APROVECHABLE EN DOS AGROSISTEMAS DEL DISTRITO DESARROLLO RURAL  
No. 68, ATLACOMULCO, MEX, ORTIZ (1986)



potencialmente productivo y susceptible de ser aprovechado por los agricultores, considerando los recursos disponibles y sus necesidades. Navarro et.al. (1986).

El problema de estudio es por lo tanto la evaluación de la humedad disponible en invierno en suelos de ando, en el sistema de cultivo maíz-malz, finalizado para evaluar su aptitud de producción de materia seca.

## **II. Objetivos e Hipótesis**

### **2.1. Objetivo General:**

**Evaluar la homogeneidad de la humedad disponible al interior del agrosistema en el ciclo otoño-invierno con el fin de estimar su aptitud potencial para el establecimiento de cultivos para producción de materia seca.**

### **2.2. Objetivos Específicos:**

**2.2.1. Evaluar la humedad disponible en suelos de ando en diferentes sitios con el fin de comprobar la homogeneidad supuesta.**

**2.2.2. Confrontar la humedad disponible en suelos de ando con la demanda de humedad para un cultivo de uso potencial.**

**2.2.3. Estimar la disponibilidad térmica del agrosistema para la producción de materia seca de invierno en el contexto de manejo y rotación de un sistema de cultivo en andosol.**

### **2.3 Hipótesis**

**2.3.1. La tendencia de humedad disponible durante el ciclo primavera-verano se supone que ofrece una cantidad importante para el periodo otoño-invierno generando una aptitud para su utilización agrícola con cultivos que sean menos sensibles a bajas temperaturas.**

### III. Revisión de Literatura

#### 3.1 Características generales de los suelos de ando.

Los suelos derivados de cenizas volcánicas reciben diversas nominaciones de los distintos países, sin embargo, en la reunión para la clasificación y correlación de los suelos derivados de cenizas volcánicas celebrada en Tokio (Japón) en el año de 1964, se llegó a la conclusión de que "suelo de ando", era el más adecuado, Abdon (1966).

Kanno (1962), reporta que las cenizas derivadas de las erupciones volcánicas son compuestos finamente divididos de material ígneo: andesítico, basáltico o riolítico y que al ser depositados no han estado sujetos a ningún proceso de intemperismo. Una vez que estos materiales volcánicos han sido depositados, los agentes del intemperismo comienzan a actuar sobre ellos, ocasionando cambios graduales sobre el material que formará el suelo. Se inició así el proceso de desarrollo de un ando, el cual se caracteriza por tener un alto contenido de materia orgánica, y poseer material arcilloso y alofánico.

Hay que notar la diferencia entre las formas de las partículas de la ceniza no consolidada y las rocas cristalinas consolidadas, pues el hecho de que las partículas no consolidadas sean intemperizadas más rápidamente que las rocas cristalinas, se explica debido a que, por su forma y tamaño exponen al proceso de intemperismo una mayor área.

Los depósitos de cenizas volcánicas se caracterizan por su alta porosidad y permeabilidad, las que, bajo condiciones húmedas propiciadas por fuertes escurrimientos, aceleran la desbasificación y la pérdida de sílice impidiendo la formación de arcillas cristalinas y favoreciendo la formación del alofano.

En la figura 2, se resumen las ideas de Fields (1955), Dubol y Soepraptoharato (1960), Besoain (1969), Martini (1969), y Flach (1969), en relación con el proceso de desarrollo de los suelos derivados de cenizas volcánicas; aparentemente la mayoría de los latosoles en centroamérica.

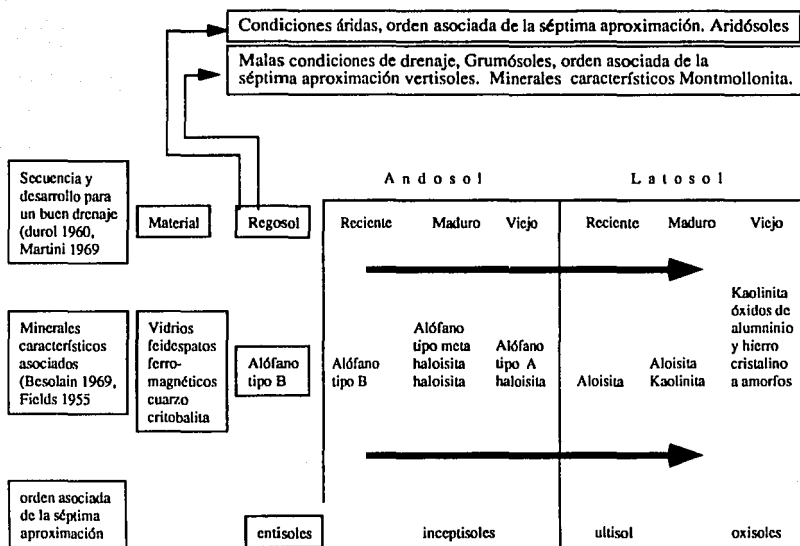
La intemperización de las arcillas volcánicas por regla general, bajo condiciones de humedad y buen drenaje, puede conducir a la formación de varios minerales secundarios. Si se trata de un suelo joven, predominan minerales amorfos: alofano y haloisita. Estos suelos son fácilmente reconocidos por su color oscuro (andosol). El alofano es así uno de los primeros minerales secundarios formados a partir de la intemperización del vidrio volcánico, componente esencial de las cenizas volcánicas. De Paiva (1974).

Señala Swindale, 1965, todavía, que a pesar de que casi todos los autores han relacionado las propiedades de los suelos de cenizas volcánicas con los coloides minerales amorfos que contienen, se debe recordar que estos suelos también contienen mucha materia orgánica. Hay algunos de ellos que casi pueden considerarse un suelo orgánico. Lo que sucede es que, hasta la fecha la gran dificultad de extraer la materia orgánica, impide la investigación más avanzada de la relación entre los constituyentes orgánicos y las propiedades del suelo; y como los constituyentes inorgánicos son mucho más fáciles de separar, han sido estudiados más ampliamente.

En nuestro país se localizan vastas regiones constituidas por depósitos de cenizas volcánicas; muchos de estos depósitos han producido suelos de ando con características como:

Figura 2

**Secuencia del Desarrollo de los Suelos Derivados de Cenizas Volcánicas, con Mineralogía Característica Asociada y Ordenes del Suelo de Acuerdo con la Séptima Aproximación.**



estructura débil o sin estructura, alto contenido de materia orgánica, alta capacidad de intercambio catiónico, valores bajos de densidad aparente, alta porosidad, alto contenido de humedad, etc. López, et al. (1979).

En la figura 3 se resumen algunas propiedades físicas y químicas de diversos autores.

### 3.2. Importancia de la humedad en el suelo.

El suelo se compone de tres fases, la fase sólida, la fase gaseosa y la fase líquida; sabemos además, que en el área edafológica se clasifican los tipos de humedad que se encuentran en el suelo y son: agua de gravedad, agua capilar y agua higroscópica, sin embargo, sólo se mencionará la humedad que la planta es capaz de asimilar, la cual se encuentra entre los parámetros de humedad del suelo (capacidad de campo y punto de marchitez permanente) que se definen en la figura 4.

Probablemente pueda afirmarse que en todo el mundo el agua constituye el principal factor limitante para el desarrollo de las plantas, ya que aún en áreas húmedas, como el Este de Inglaterra, el riego suplementario efectuado durante varios años, se tradujo en un aumento sustancial en la producción de cultivos. Fitzpatrick (1978).

El mismo autor menciona que en muchas zonas semiáridas, donde el riego no es factible, se practican diversos métodos de conservación de humedad, estos métodos de cultivo en áreas áridas y semiáridas sin riego consiste en cultivar una área dada dos años alternados, dejando que se almacene la humedad durante el barbecho. En Siberia donde la nieve derretida proporciona agua abundante para los cultivos de primavera, el suelo es arado en otoño formando surcos donde se queda la nieve, evitando así que los vientos fuertes la transporten o evaporen.

Raats, citado por Sandoval (1983) menciona que junto con la radiación solar y los nutrientes, el agua es un factor primordial en la producción de los cultivos. Señala también que aunque la cantidad de agua que directamente participa en la fotosíntesis es muy pequeña, la totalidad de las reacciones químicas y procesos de transporte en la planta, requieren de un medio acuoso.

Una práctica empírica regionalizada de la agricultura campesina en suelos de ando, es la de realizar siembras tempranas, en marzo o abril, de tal forma que cuando se establece el temporal el cultivo ya haya alcanzado fases vegetativas avanzadas, lo cual se manifiesta en la cosecha ya que generalmente se siembran criollos de ciclo largo.

Se ha encontrado que según la textura del suelo la capacidad de retención de humedad, así como el punto de marchitamiento permanente son variables, así, por ejemplo, el contenido de agua en suelos arcillosos en su punto de marchitamiento permanente es mayor que en los suelos arenosos. Fitzpatrick. (1978).

Según Doorenbos(1979), el efecto del déficit de agua sobre el rendimiento, es relativamente menor cuando éste se presenta en la etapa vegetativa y de maduración y este efecto es mayor cuando sucede en la etapa de floración y en las etapas de formación de grano.

Downey (1972) en una revisión sobre la relación humedad-rendimientos, muestra que los cultivos forrajeros no parecen tener etapas particularmente sensibles a déficit de humedad, en cambio los cultivos no forrajeros sí parecen tener etapas sensibles.



Figura 3

### PRINCIPALES PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS SUELOS DERIVADAS DE LAS CENIZAS VOLCÁNICAS

Forsythe et-al (1974)

1. Profundos entre 50-100 cms.
2. Densidad aparente entre 0.45-1.75 gr/cm<sup>3</sup>
3. Alta retención de agua disponible para las plantas
4. Las arcillas son difíciles de dispersar
5. La retención de la humedad se cambia irreversiblemente al secarse al aire la humedad del campo
6. Texturas tienden a ser francas
7. Baja adhesión cuando están mojados
8. Los suelos poseen tendencia a hincharse al mojarse y a contraerse al secarse

Swidale (1969)

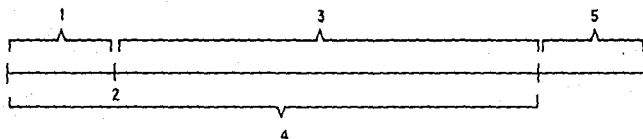
1. Alta porosidad total
2. Baja densidad aparente
3. Muy alto contenido de humedad
4. Difícil dispersión
5. Difícil de mojar después de secados
6. Gran variación en el tamaño de partículas
7. Alta permeabilidad saturada
8. Alta disponibilidad de agua

Swidale (1969) propiedades químicas

1. P.h. menores de 5.0
2. Alta capacidad de intercambio de cationes
3. Saturación de bases muy variables
4. Relación c/n es generalmente alta
5. Pueden fijar grandes cantidades de fosfato, nitratos y otros de estructura similar
6. El material humificado es resistente a la descomposición microbológica

Figura 4

ESQUEMA ILUSTRATIVO DE UMBRALES DE HUMEDAD QUE SE ENCUENTRAN EN EL SUELO



- 1. AGUA NO DISPONIBLE:** Agua (absorbida) retenida por el suelo a valores superiores de la Presión Osmótica que la planta puede ejercer para tomar esta agua.
- 2. PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE:** Porcentaje de agua que queda en el suelo cuando las plantas se marchitan en forma permanente, dado que el P.M.P. es un valor dinámico que depende del suelo de la planta y del clima, generalmente se interpreta como porcentaje de humedad correspondiente a 15 bar o a -1500 julios/kg.
- 3. AGUA DISPONIBLE O HUMEDAD APROVECHABLE:** Agua presente en el suelo que puede ser aprovechada por las raíces de las plantas y generalmente se encuentra de 15 bar a 1/3 de bar.
- 4. CAPACIDAD DE CAMPO:** Es la totalidad del agua que el suelo recibe y que en cantidad suficiente lo satura: una parte se drena (agua libre) y otra es retenida en contra de la acción de la gravedad, esta agua retenida es la capilar y la higroscópica, (está absorbida), requiere de una succión tan grande para ser tomada por la planta, que ésta se marchita antes de lograr absorberla, por tanto la única agua que queda disponible es la capilar (que está absorbida); y la cantidad de ella, es igual a la diferencia entre toda la que el suelo retuvo: C.C. y la que la planta puede tomar de la que fue retenida: P.M.P. cuando se requieren valores exactos se deben usar términos más exactos tales como porcentaje correspondiente a un tercio de bar.
- 5. PUNTO DE SATURACION:** El suelo ya no puede admitir más agua y su capacidad de infiltración es deficiente provocando el encharcamiento  $1 + 2 + 3 + 4 +$  agua de gravedad o libre = 5.

Una de las más importantes características de estos suelos de ando es la de tener un material arcilloso amorfo (Alofano) que es el responsable de la alta capacidad de intercambio de estos suelos y de su alta fijación de fósforo. Otra propiedad inherente al material amorfo es su alto poder de hidratación lo que está relacionado con su alta plasticidad y consistencia untuosa. Bravo (1969).

Cuando estos suelos que generalmente soportan una vegetación de bosque son desmontados y sometidos al cultivo, se hacen más marcadas las propiedades de retención y fijación de fósforo que es uno de los elementos más importantes dentro de la nutrición vegetal. Bravo (1969).

El contenido de humedad del suelo tiene efecto sobre la eficiencia y disponibilidad de los nutrientes aplicados en diversas formas, los suelos de ando se desarrollan en condiciones aeróbicas y tienen un flujo de agua hacia abajo, pero debido al contenido alto de alofano tienen un alto grado de retención de agua. Fitzpatrick (1984).

Es conveniente encontrar una relación entre el tiempo y la variabilidad de la humedad del suelo; esta cuantificación tanto en el tiempo como en el espacio, será susceptible de generalizar de acuerdo a la extensión del agrosistema en estudio.

### 3.3. Densidad Aparente.

La densidad aparente es una medida común importante en la relación entre los sólidos y los poros en un momento dado. Depende en gran parte del contenido de agua en los suelos, que se contraen conforme se secan o se mojan. Es necesario conocer dos características: el peso seco de la muestra del suelo y el volumen que la muestra aparente de suelo ocupaba bajo las condiciones de campo. Sampat (1973).

El mismo autor menciona a los suelos de textura fina como las arcillas, tienen más espacio poroso total que los ordinarios, aunque los poros individuales son generalmente más pequeños, hay muchos más poros y el resultado neto es una porosidad total mayor en los suelos finos.

Por lo tanto, en el estado de saturación, los suelos de textura fina contienen mayor cantidad de agua que los de textura ordinaria.

Los suelos retienen agua en dos formas: en los intersticios, poros o capilares que existen entre las partículas sólidas, y por absorción sobre las superficies sólidas de las partículas de arcilla y de materia orgánica. Es importante señalar que el agua retenida en un suelo, aún cuando esté bastante seco, no puede separarse netamente en agua capilar y agua absorbida. Russell (1968).

#### 3.3.1 Influencia de la Densidad Aparente.

La densidad aparente juega un papel importante desde el punto de vista agrícola, "ya que interactúa directamente con la textura y estructura del suelo". La densidad varía de acuerdo a los trabajos que se realicen en el suelo, ya que de ello depende el porcentaje de espacios porosos que comprende la buena o mala preparación, esto redundará en la infiltración afectando lógicamente la absorción y adsorción de agua, y esto último se define la distribución de agua-aire, lo cual es vital para el buen desarrollo de raíces y por ende de la planta.

Existe también otro tipo de densidad que es la densidad real, ésta es la medida de

espacios porosos que existe en un suelo y es obtenida a partir de la densidad aparente, es decir, se obtiene la muestra de suelo seco y se coloca en un recipiente graduado, se toma la lectura del volumen que ocupa y mediante una bureta se le va agregando agua hasta que ésta llega a cubrir el haz de la muestra, a la cantidad de agua que fue agregada es el volumen de espacios porosos que se tenía en la muestra, a esto se le llama densidad real.

### 3.3.2. Métodos de Evaluación de la Densidad Aparente.

La técnica del núcleo. El instrumento extractor de núcleos se hinchó en el suelo hasta la profundidad deseada, se toma la muestra y se retira. Como se conoce el volumen de la muestra es fácil obtener la densidad en masa y la capacidad de aire y de agua del núcleo para cualquier contenido de humedad deseada.

El tamaño del muestreador o cilindro influye en la compresión, los tubos de muestreo delgados la favorecen, se produce un efecto muy leve en la estructura natural del suelo al martillar el instrumento para introducirlo en el suelo. Después de extraída la muestra se pone en un recipiente parafinado o en botes de humedad que sellen herméticamente de modo que los núcleos pueden ser almacenados hasta que puedan hacerse medidas completas de porosidad sin tener serias pérdidas de humedad. Lutz citado por Baver et-al (1980).

La técnica del terrón. La densidad en masa de los bloques naturales del suelo cubiertos con parafina fue medida por Shaw en 1908, citado por Baver en 1980. Este principio básico fue usado por Sekera (1931) para determinar la porosidad y la capacidad de agua de los suelos. Después de saturar el terrón por capilaridad en agua con presión de unos 7 cm., se determina su volumen midiendo el desplazamiento que produce el terrón húmedo en aceite mineral. Luego se extrae del aceite el terrón húmedo, se lava con xileno hasta que esté libre de aceite, se seca y se pesa para determinar la porosidad de aireación.

Este método está bien adaptado al estudio de la porosidad de las unidades mayores en que se deshace el suelo. Puede dar un concepto erróneo de la porosidad de perfil como conjunto si hay muchos poros entre estos agregados o fragmentos.

Transmisión de Rayos Gamma. La transmisión de Rayos Gamma a través de un material es función de la densidad del mismo. Vomocil (1954) aplicó este principio a los suelos y obtuvo excelentes correlaciones con la densidad en masa determinada con el método del núcleo. Se hacen dos agujeros en el suelo, separados por cierta distancia. En uno de ellos se introduce una sonda que contiene un contador de geiger. Este detecta la radiación transmitida por el suelo desde una fuente de Rayos Gamma que ha sido introducida en el segundo agujero. La transmisión de Rayos Gamma sigue la ley de Beer:

$$\frac{I}{I_0} = e^{-U \cdot X}$$

donde :

$I_0$  es la intensidad de la radiación en la fuente de Rayos Gamma.

$I$  es la intensidad de la radiación transmitida a una distancia "X" de la fuente, y "U" es el factor que es proporcional a la densidad aparente del suelo. Como la intensidad transmitida está en función de contenido de humedad del suelo,

se deben hacer determinaciones de agua del suelo al tiempo de medir la densidad.

### 3.4. Unidades Térmicas.

#### 3.4.1. Influencia de la temperatura en los cultivos.

Todos los cultivos se desarrollan en rangos de temperatura específicos para desarrollar en condiciones óptimas cada etapa fisiológica y alcanzar su madurez culminando en el rendimiento. Existen límites máximos, mínimos y óptimos, la cual puede afectar el desarrollo del cultivo. Cuando se presentan temperaturas máximas el cultivo tiende a perder humedad y si son por períodos prolongados bajo condiciones de déficit hídrico es seguro que pueda morir el cultivo. Cuando se presentan temperaturas mínimas algunas especies pueden entrar en latencia, otras no, pero cuando son rebazados estos límites, ya sean máximos o mínimos, la planta generalmente muere.

Los procesos fisiológicos que realizan las plantas como la fotosíntesis, respiración y crecimiento responden en forma diferente a la temperatura, es por ello que existe temperatura óptima para cada función, si no, existen otros factores de desarrollo. Ortíz, 1987.

En relación al trigo, éste se produce en regiones templadas y frías, situadas desde 15° a 60° de latitud Norte y de 27° a 40° de latitud Sur, pero esto no quiere decir que en otras regiones no puede cultivarse; esto debido a la obtención de nuevas variedades que se adaptan a otras regiones o países. Ortíz, 1987, el mismo autor cita a Evans, et-al (1983), y menciona que los trigos se desarrollan en forma óptima bajo condiciones estacionales semejantes a aquellas en las que el cultivo se originó, es decir, en latitudes alrededor de 30°, temperaturas frías, días de invierno cortos (10-14 hrs.) con intensidades de luz relativamente bajas.

La iniciación y diferenciación floral ocurre al incrementarse la longitud del día, la incidencia de radiación solar y la temperatura, mientras que el llenado de grano tiene lugar bajo la presencia de luz brillante, con longitud del día de 13-14 hrs. Sin embargo, el aumento de la temperatura y stress de agua afectarán en forma negativa el llenado del grano.

#### 3.4.2. Importancia de las unidades calor para los cultivos.

La constante térmica para un determinado cultivo es la cantidad de calor que se acumula en la planta desde la emergencia hasta la madurez fisiológica, y esta acumulación de calor es variable para diferentes localidades.

Bootsma (1977), señala que aún para un mismo cultivo se requiere de diferentes cantidades dependiendo de la localidad, ya que calculó para el maíz en Kantville 2,207 unidades térmicas (u.t.); en Truro, 2,249 u.t. y en Chardottetown, 2,241 u.t. Por otra parte, Pascale y Damarío, en 1954 confirmaron que existe variabilidad en la cantidad necesaria de las u.t. para completar el desarrollo vegetativo, el cultivo de trigo aún en el mismo lugar para años diferentes y para distintas fechas de siembra.

Esta variabilidad se debe a que existen factores ambientales que la modifican: contenido de humedad del suelo, nivel de fertilidad, temperatura y tipo de suelo, además de la densidad

de población, entre otros.

Mora (1985), determinó las condiciones agroclimáticas en variedades de trigo en el área del campo agrícola experimental El Bajío, y para ello utilizó el Método Directo o de Cero Biológico, que consiste en sumar las temperaturas medias diarias eliminando los valores menor a 0°C, debido a que presentó mejor ajuste a la región, fue realizado para las dos fechas de siembra de 1º y 24 de diciembre; concluyó que los requerimientos de unidades calor fueron mayores para la fecha 1º de diciembre con 2,291 y 2,095 para el 24 de diciembre, y el mayor rendimiento fue en la primera fecha.

Ortiz (1987) realizó trabajos de requerimientos térmicos para trigo, el cual lo desarrolló en el área de influencia del campo agrícola experimental Valle de México, para este trabajo evalúa diferentes métodos concluyendo que el de cero biológico es el que mejor se ajusta a la región, obtuvo como resultados que las variedades: Salamanca S-75, Zacatecas VT-74, Cleopatra VS-74, Anáhuac F-75, Pavón F-76, Tesopaco S-76, México M-82 y Mixteco S-82; fluctúan de 1659 a 1788 u.t. desde siembra a grano masoso, esta evaluación se hizo en los dos ciclos de P-V y O-I, lógicamente en el ciclo P-V se requirió de una menor cantidad de u.t. que en O-I.

### 3.5. Balance de Humedad.

Las cosechas han fluctuado siempre de año en año, presentándose años favorables y desfavorables para los cultivos. Recientemente se ha prestado una renovada atención a la influencia del clima en el crecimiento y desarrollo de los cultivos, especialmente por lo que se refiere a las relaciones entre condiciones de agua-suelo-planta.

Fréré y Popov (1980), presentaron un método formulado por la F.A.O. para establecer el balance hídrico. Este método consiste en la utilización simultánea de datos reales sobre precipitación y de información climatológica para el cálculo de necesidades de agua de los cultivos. Su fundamento es el balance hídrico acumulativo registrado a lo largo de la estación de crecimiento de un cultivo establecido por períodos sucesivos de 10 días, y no es mas 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, África y América del Sur (cuadro 2A).

Este método ha sido utilizado por Perales (1980), para predecir rendimientos y necesidades hídricas para los cultivos de girasol, maíz, frijol, sorgo y trigo en Apodaca, Nuevo León. Sus resultados han marcado la pauta para considerar a este método como promisorio y estimar así el comportamiento del temporal en zonas reducidas o agrosistemas.

Velázquez (1985) utiliza varios métodos, entre ellos el de balance hídrico propuesto por Frere y Popov, realizando la caracterización agroclimática a partir de una estación climatológica que tiene 30 años con registros completos, la estación se encuentra en la parte central del Valle del Mezquital y debido a su topografía se puede homogenizar las fechas del período húmedo y estación de crecimiento para el maíz a todo el Valle del Mezquital.

### 3.6. Necesidades climáticas del cultivo del trigo.

Las necesidades respecto a duración del día y temperatura son factores claves en la

selección de variedades. Estas variedades pueden agruparse en los tipos de invierno o de primavera, de acuerdo con sus exigencias en cuanto a frío (vernalización) durante su desarrollo inicial para el desarrollo normal de las espigas durante los días largos. El trigo de invierno en sus etapas iniciales de desarrollo, presenta una fuerte resistencia a la helada, hasta  $-20^{\circ}\text{C}$ . Esta resistencia la pierde durante el período activo de crecimiento de primavera. Doorembos (1979).

El mismo autor menciona que para los trigos de invierno y primavera la temperatura mínima diurna para obtener un crecimiento apreciable es de  $5^{\circ}\text{C}$ . Temperatura óptima para el crecimiento de renuevos oscila entre  $15^{\circ}$  y  $20^{\circ}\text{C}$  para la maduración  $18^{\circ}\text{C}$ . Para rendimientos elevados requiere de 450-650 mm dependiendo del clima y de la duración del período vegetativo.

Para Evans (1975), la germinación se produce entre los  $4^{\circ}$  y  $37^{\circ}\text{C}$ , con óptimo ubicado entre los  $20^{\circ}$  y  $25^{\circ}\text{C}$ . El contenido de humedad mínimo para que se cumpla es del 35 a 45% del peso del grano, siendo más rápida a medida que la humedad se incrementa por encima de este nivel.

Los cereales del ciclo invernal tienden a producir un mayor peso de raíces que los sembrados en primavera, tal vez por lo prolongado del ciclo y por las bajas temperaturas. En el trigo se desarrollan dos sistemas radicales diferentes, las raíces seminales y las adventicias.

El mismo autor cita a Junges y Chujo que mencionan que la vernalización con temperaturas bajo  $0^{\circ}\text{C}$ , es necesidad de los cereales; opinando que la temperatura más efectiva para la vernalización del trigo de invierno era de  $3^{\circ}\text{C}$ . Mientras que los primaverales era de  $10^{\circ}\text{C}$ . El límite superior para una vernalización efectiva es de  $11^{\circ}\text{C}$ , y temperaturas diurnas de  $30^{\circ}\text{C}$  no reducen el efecto vernalizante de las noches frías, siempre que no sobrepasen las ocho horas por día, período prolongado de temperaturas altas durante la vernalización pueden destruir su efectividad.

## IV. Materiales y Métodos

### 4.1. Características del Area de Estudio.

4.1.1. Ubicación geográfica: en el Estado de México los suelos de ando están ubicados casi en su totalidad en la zona sur del valle de Toluca, ocupando las partes altas, cubriendo una superficie de aproximadamente 100,000 has. que integran parte de los municipios de Ocoyoacac, Capulhuac, Jalatlaco, Santiago Tianguistenco, Joquincingo, Ocuilán, Tenango del Valle, Calimaya, Zinacantepec, Amanalco, Villa de Allende, Villa Victoria y San Felipe del Progreso. Cortes et-al, (1973).

El trabajo de investigación se desarrolló al interior del distrito de desarrollo rural 068 Atlacomulco, este se localiza al Noroeste del Estado de México, tiene una superficie de 313,082 Ha. y se compone de ocho municipios que son: Temascalcingo, Acambay, Atlacomulco, San Bartolo Morelos, Jocotitlán, El Oro, Jiquipilco, Ixtlahuaca y San Felipe del Progreso.

La superficie total del Distrito es de 313,082 has. de acuerdo al uso actual del suelo, de las cuales 193,536 has. son de uso agrícola, 38,036 has. de riego y punta de riego y 155,500 has. de temporal y humedad residual. De la unidad de Andosol se cuenta con una superficie agrícola de 40,414 has.

### 4.1.2. Características del Agrosistema Valles y Laderas de Altura (Vala).

Este agrosistema fue el seleccionado para el trabajo de campo, como se comenta en términos precedentes. En la figura 5 puede observarse que la distribución de lluvias es bastante homogénea, iniciándose normalmente a principios de junio hasta fines de septiembre, presentándose cuatro meses de precipitación uniforme, obviamente se presenta un déficit de precipitación al inicio del cultivo abarcando gran parte del ciclo vegetativo (prácticamente los meses de abril y mayo).

En la misma figura se observa una mayor evapotranspiración en los meses del crecimiento vegetativo la cual va disminuyendo al avanzar el ciclo de cultivo y el inicio de lluvia.

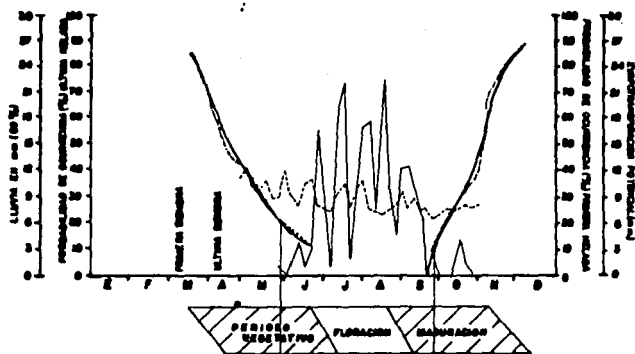
De acuerdo con Ortiz (1987), nos muestra en la Figura 5 que el período libre de heladas oscila entre el 14 de abril y el 27 de mayo para última helada y del 25 de septiembre al 18 de octubre para primera helada. Lo anterior estimando un 80% de probabilidad de ocurrencia para última helada y 90% para primera helada, el cual nos deja una estación de crecimiento de 123-188 días libres de heladas y 91 días de período húmedo iniciándose este último el 20 de junio y finalizando del 10-18 de septiembre.

4.1.3. Relieve: la zona se encuentra en la parte Oeste del Estado de México, colindante con Michoacán y pertenece a la región fisiográfica de valles y lomeríos con pendientes de hasta un 30%.



Figura 5

Análisis Agroclimático, Estación Climatológica Concepción del Monte  
 Agroclima Valle y Laderas de Altura (VALA). Ortiz (1987).



SIMBOLOGIA

- Período Libre de Heladas (PLH) - - - -
- Lluvia al 80% - - - -
- ETP X 0.5 (MM) - - - -

4.1.4. Clima: El clima que predomina en la región es C(w<sub>2</sub>)(w), según García (1973). Es un clima templado subhúmedo con temperatura media del mes más frío entre -3 y 18°C y la del mes más caliente mayor de 6.5°C. Es el clima más húmedo de los subhúmedos con dos máximos de lluvia separados por dos estaciones secas, una larga en invierno y una corta en la temporada lluviosa. El régimen del lluvias en el mes más húmedo tiene una precipitación superior al menos 10 veces a la del mes más seco.

#### 4.1.5. Sitios Experimentales.

Los muestreos se iniciaron el 30 de octubre de 1986 y finalizaron el 25 de marzo de 1987, siendo un total de 21 muestreos por sitio experimental, estos muestreos se realizaron c/10 cm. hasta 0.5 mts. con 3 muestras para formar una muestra compuesta con 3 repeticiones por sitio experimental. Los muestreos de humedad se realizaron en las comunidades de La Trinidad, que tiene una altura de 2,670 m.s.n.m.; Yondece del Cedro, que se encuentra a 2,719 m.s.n.m. y San Joaquín del Monte a 2,740 m.s.n.m. pertenecientes al Municipio de San Felipe del Progreso. (Figura 6).

#### 4.2. Método Gravimétrico.

El método gravimétrico es el más simple y de mayor exactitud para cuantificar la humedad. Este método consiste en tomar muestras de suelo de la profundidad deseada, se colocan en botes de aluminio que cierren herméticamente y se sellan para evitar la pérdida de humedad. Las muestras se pesan húmedas. Luego se secan en un horno a una temperatura de 105 a 110°C hasta que alcancen peso constante (generalmente 24 hrs); posteriormente se saca y se vuelve a pesar. El contenido de la humedad se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$Ps = \frac{(PB + PSH) - (PB + PSS)}{PSS} \times 100$$

$$Ps = \frac{(PSH - PSS)}{PSS} \times 100$$

donde:

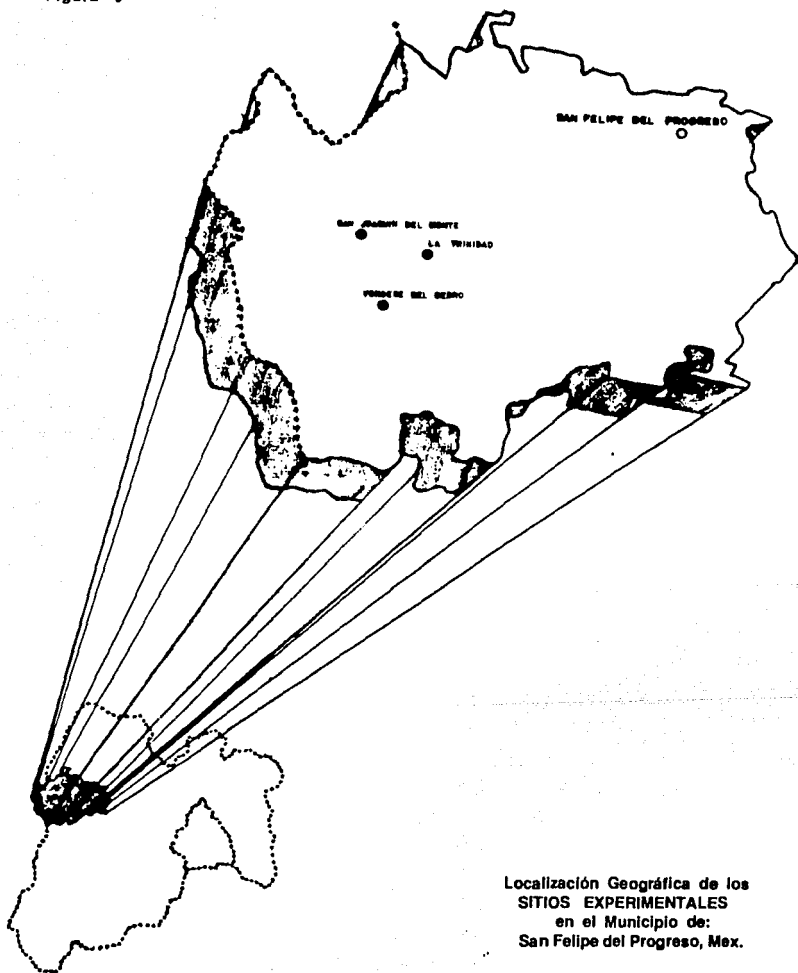
- PS = por ciento de humedad respecto a suelo seco.
- PB = peso del bote
- PSH = peso del suelo húmedo
- PSS = peso del suelo seco

Así únicamente se determina el contenido de humedad; para saber la disponibilidad de humedad para las plantas debe relacionarse el contenido de humedad con la tensión de humedad del suelo, y preferentemente con el esfuerzo de humedad del suelo.

#### 4.3. Método de Membrana y Olla de Presión.

Con los métodos de la Olla de Presión y Membrana de Presión se obtiene la curva de

Figura 6



Localización Geográfica de los  
SITIOS EXPERIMENTALES  
en el Municipio de:  
San Felipe del Progreso, Mex.

tensión de humedad, el cual nos definen los puntos de capacidad de campo de un suelo de acuerdo a sus propiedades físico-químicas del mismo, así como, el punto de marchitez permanente, estableciendo de esta manera el agua disponible que tiene un suelo y que puede ser aprovechado por la planta.

El método de la Olla de Presión es el más desarrollado, pues permite hacer la determinación del valor de la capacidad de campo de un gran número de muestras en corto tiempo. Consiste en aplicar aire a presión de 1/3 de atmósfera a muestras de suelo previamente saturadas.

El equipo que se utiliza es: olla de presión y platos de cerámica, anillos de hule de 1 cm, de alto y 6 cm. de diámetro para contener muestras de 25 gr. cuando menos, balanza granataria, estufa y botes para determinación de humedad.

Las muestras se preparan por triplicado con 25 gr. de suelo tamizado y colocando el suelo en los anillos de retención en el plato poroso que evita la separación de las partículas, se vacía el suelo en cada anillo y se empareja el contenido en cada uno de ellos.

Se dejan las muestras saturadas agregando agua en el plato poroso durante 18 horas, y se retira el exceso de agua con una pipeta, se tapa la olla y se aplica una presión de 1/3 de atmósfera por un período de 18 a 24 hrs; hasta que deje de escurrir el agua.

Después de este tiempo de extracción, se quita la presión de la línea de aire comprimido y se obstruye la salida de los tubos de cada plato para evitar movimientos de agua hacia las muestras. Las muestras se pasan a botes y se calcula el valor de la capacidad de campo en por ciento con respecto al peso del suelo seco.

Método de la membrana de presión. Este procedimiento se usa para obtener una estimación de la humedad retenida en muestras de suelos a una tensión de 15 atmósferas. Este es uno de los métodos más usados para determinar el punto de marchitamiento permanente (p.m.p.) y se le conoce también como el método de Richards, pues fue reportado por éste en 1947.

De la Peña (1977) dice que los resultados más exactos son los que se obtienen con muestras inalteradas, sin embargo en muestras alteradas se pueden lograr resultados relativamente confiables en un 90% aproximadamente. También dice que en los suelos que retienen mucha humedad existe mayor correlación con los datos de p.m.p. obtenidos en el campo que en otros suelos que retienen menos humedad, cuando se dispone de aparatos con membrana de presión; el equipo que se utiliza es el siguiente: membrana de presión, anillos de hule de 1 cm. de alto por 6 cm. de diámetro que pueden contener 25 gr. de suelo aproximadamente, balanza, estufa y botes para humedad.

El método que se presenta es el que se usa con muestras alteradas debido a la dificultad de obtener muestras inalteradas de poco espesor.

Procedimiento: se preparan muestras por duplicado de suelo tamizado por una malla de 2 mm con perforaciones circulares. Uno de los propósitos de esta operación es eliminar piedras mayores de 2 mm.

Otro es reducir los agregados a menos de 2 mm. toda esta muestra se vierte luego en un pequeño mezclador y se agita para que se produzca una mezcla. Algunos movimientos suelen producir segregación en lugar de mezcla, y se debe tener especial cuidado para obtener una muestra bien mezclada.

Se humedece la membrana, se instala el aparato y se recorta alrededor del disco de bronce. Los anillos para el suelo se ponen en la membrana. Para evitar separación por tamaño entre las partículas, se pasa todo el suelo en forma violenta al anillo de retención. Si sólo pasa una parte y queda algo en el recipiente, la muestra no es representativa. Se empareja la muestra en el anillo, se cubre todo el aparato con un pedazo de papel encerado y se deja en reposo con un exceso de agua en la membrana, cuando menos por 16 horas.

Se quita el exceso de agua de la membrana por medio de una pipeta o tubo de hule, se cierra la membrana de presión y se deja entrar el aire a una presión de 15 atmósferas, después de una cuantas horas hay una marcada determinación en la cantidad de agua que sale de la membrana. En este momento se puede aplicar una presión diferencial de 0.28 kg. por centímetro cuadrado sobre el diafragma de hule en la parte superior de la cámara del suelo. Esta acción del diafragma mantiene la muestra en contacto con la membrana, acelerando la extracción del agua en suelos de textura fina que se contraen fácilmente.

El uso del diafragma no es necesario para suelos de textura media o gruesa.

Se sacan las muestras en cualquier tiempo después de 48 horas del comienzo de la extracción o cuando las lecturas en una bureta para escurrimiento indiquen que se ha llegado al equilibrio. La mayor parte de los suelos llegan al equilibrio en un tiempo de 18 a 20 hrs., aunque algunos requieren de mayor tiempo para evitar cambios de humedad.

Las muestras se deben pasar a botes para humedad tan pronto como se quite la presión de extracción. Se determina el porcentaje de humedad secando a peso constante a 105°C y se expresa teniendo como base el peso del suelo seco. Richards y Weaver (1944).

#### 4.4 Estimación de Lámina Aprovechable.

Cuando se percola el exceso de agua, se considera que el suelo se encuentra a capacidad de campo debido a la máxima retención de humedad que generan las fuerzas del suelo. En esta etapa, parte de la humedad retenida que se encuentra en forma de películas delgadas y puentes entre las partículas, sólo una parte de esta humedad es aprovechable para las plantas, ya que cuando existe un déficit de humedad el suelo presenta una fuerza osmótica mayor que el de la planta, y por lo tanto la humedad no está disponible para estas, a esto se le denomina punto de marchitez permanente.

4.4.1. Humedad Gravimétrica. La humedad del suelo se puede expresar gravimétricamente con base en la masa o volumétricamente, con base en el volumen. La humedad gravimétrica es la forma más básica de expresar la humedad del suelo y se entiende por ello la masa de agua contenida por unidad de masa de sólidos del suelo. Frecuentemente se expresa como un porcentaje (Soil Science Society of America; International Society of Soil Science).

Para el presente trabajo se realizó de acuerdo a los lineamientos de humedad gravimétrica utilizando la siguiente fórmula:

$$(\%) \text{ Hg.} = \frac{(\text{PSH}) - (\text{PSS})}{\text{PSS}} \times 100$$

donde:

- (%) Hg = porcentaje de humedad gravimétrica  
 PSH = peso de suelo húmedo  
 PSS = peso de suelo secado al horno

Para una mejor interpretación de los datos obtenidos se utilizó la humedad aprovechable, la cual se calcula de la siguiente manera:

$$H.A. = \frac{PSS}{PSH}$$

donde:

- HA = humedad aprovechable en cm.  
 PSS = diferencia del peso de suelo húmedo, menos el seco  
 PSH = peso de suelo húmedo

Para la obtención de lámina aprovechable se utiliza la siguiente fórmula:

$$L.A. = H.A. \times Pa \times Prof.$$

donde:

- L.A. = lámina aprovechable en cm.  
 H.A. = humedad aprovechable en cm.  
 Pa = densidad aparente en  $gr/cm^3$   
 Prof = profundidad a la que se muestreó en cm.

Para un mejor entendimiento de la fórmula se ilustra en un ejemplo:

El día 30 de octubre se muestreó en la localidad de San Joaquín del Monte, se tiene una humedad aprovechable de 0.40 cm., a una profundidad de 0-10 cm. y una densidad aparente de  $0.87 gr/cm^3$

$$LA = 0.40 \times 10 \times 0.87$$

LA = 3.48 cm., es decir, 34.8 mm. de humedad, a una profundidad de 0-10 cm. en la localidad de San Joaquín del Monte.

#### 4.5. Cálculo del Balance de Humedad.

Fréré y Popov (1980), diseñaron un método que propone la F.A.O. para calcular el balance hídrico acumulativo, registrado a lo largo del crecimiento de un cultivo dado, estableciendo por periodos sucesivos de 10 días. El balance hídrico se basa en la diferencia de precipitación que ha recibido el cultivo y el agua perdida por éste, mediante la evapotranspiración, así como el terreno, también se debe incluir el agua retenida por el terreno. Estos cálculos son registrados en una plantilla establecida por F.A.O. el cual finaliza en índice estimativos decenalmente en donde se puede presentar exceso o diferencia de humedad en ciertas etapas fenológicas del cultivo. (Ver 2A).

Cabe mencionar que este método está destinado fundamentalmente a los países en desarrollo, donde, por lo general, el mayor factor adverso de la agricultura sin riego es la inadecuada disponibilidad de agua para los cultivos.

Se detallan a continuación los diferentes factores que componen el balance hídrico.

4.5.1. Precipitaciones Normales (Pn). Este símbolo expresa la precipitación promedio por decena o semana calculada a partir de una serie climatológica de la estación que se está trabajando, y nos indica la fecha "normal" de comienzo de la estación de las lluvias y su duración "normal". Así mismo, da una idea del grado de desviación de la precipitación real respecto a "normal", cuando se la compara con el monto real de la precipitación registrado en el renglón siguiente.

4.5.2. Precipitación Actual (Pa). La precipitación real representa el total de la precipitación que ha caído en cada decena del año que se está utilizando, excluyendo los chaparrones breves que no tienen importancia para la agricultura.

4.5.3. Cantidad de Días de Lluvia (da). El número de días que llueve permite comprender mejor la distribución de la lluvia durante el período, así como, pequeñas estaciones de sequía.

4.5.4. Evapotranspiración Potencial (E.T.P.). La Evapotranspiración Potencial tomada como referencia en este 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. Este valor de Evapotranspiración Potencial se encuentra con la evaporación del tanque evaporímetro multiplicada por un factor que va de 0.70 a 0.85.

4.5.5. Coeficiente del Cultivo (Kc). El primer período de la vegetación comienza con el nacimiento de la planta y va hasta la aparición de los órganos de reproducción (espigas en el caso de cereales de grano pequeño y espiguillas en el del maíz). Durante este período la evapotranspiración real máxima del cultivo es una fracción de la evapotranspiración potencial de referencia. Esta fracción, que aumenta desde 0.3 en el momento del nacimiento hasta 0.9-1.0 en el período de espigamiento, es el coeficiente de cultivo.

El segundo período se caracteriza por una etapa compacta y uniforme del cultivo y abarca un lapso de 20 días antes hasta aproximadamente 30 días después de la floración. Durante este lapso el coeficiente de cultivo es caracterizado por valores de 1.0 o incluso levemente superiores 1.1 o 1.2.

El tercer período principal de desarrollo del cultivo comienza con la formación de grano. Durante este período, el grano se desarrollará y madurará mientras que el aparato vegetativo se irá marchitando. Las exigencias de agua del cultivo disminuirán de 0.9 hasta alrededor de 0.4-0.5 en el momento de madurez. (Ver figura 3A).

4.5.6. Requerimientos de agua del cultivo (WR). Este valor es obtenido multiplicando la evapotranspiración potencial de cada década por su coeficiente de cultivo (kc) correspondiente. También es posible calcular el requerimiento total del agua del cultivo para una estación sumando los requerimientos de agua de cada decena.

4.5.7. Diferencia entre Precipitación Actual y Necesidades Hídricas del Cultivo (pa - WR). La diferencia aquí obtenida nos indica la cantidad de agua disponible para los cultivos, sin

tener en cuenta el agua almacenada en el terreno. En base a esto, se puede apreciar que el efecto de una precipitación dada puede variar de acuerdo con el periodo de desarrollo del cultivo.

4.5.8. Reservas Hídricas del Terreno (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 capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP). En este trabajo se utiliza la humedad aprovechable a una profundidad de 0-50 cm. que fue muestreada semanalmente cada 10 cm. de profundidad.

4.5.9. Exceso y Déficit de Agua (s/d). El exceso se refiere a toda cantidad de agua que supere un determinado nivel de almacenamiento. Los déficits se refieren a toda necesidad de agua que supere por defecto el nivel cero de almacenamiento hídrico.

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

- 100% si no hay déficit o si el exceso es menor de 100 mm.
- Si el exceso es mayor de 100 mm entonces restar 3% de 100.
- 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.

$$I = 100 - \left( \frac{D}{WR} \times 100 \right)$$

donde:

- I = índice de agua  
D = déficit, cantidad de agua que requiere el cultivo en esta etapa.  
WR = total de requerimiento de agua.

#### 4.6. Método de Blaney y Criddle, Modificado por Hansen.

Este método se aplica a cultivos con riego básicamente. Se hizo la correlación entre la cantidad de agua que los cultivos obtienen del suelo con la temperatura media mensual y con la fracción del brillo solar anual que hubo durante esos meses. Esto mismo se realizó en una gran variedad de lugares; los resultados dieron la siguiente ecuación empírica generada por Blaney y Criddle.

$$U = KF = \sum k F K \sum p t$$

donde:

- U = uso consuntivo del cultivo  
F = suma del uso consuntivo durante el periodo (suma de los productos de temperatura



media y porcentaje de horas diurnas anuales)

K = coeficiente de cultivo obtenido de la curva de Hansen (Ver cuadro 20)

t = temperatura media mensual (°C)

P = porcentaje de las horas diurnas del año que hubo durante el periodo

f = factor de uso consuntivo mensual =  $t \times p / 100$

k = coeficiente mensual empírico (u/f).

u = kf = uso consuntivo mensual

Debido a su simplicidad de cálculo y los datos básicos con que se maneja, este método se ha usado extensamente para estimar las necesidades hídricas del cultivo con un buen grado de aproximación. Para la estimación de cultivo de temporal solo se substituye el factor  $\lambda$  de riego por la constante 0.85. En el anexo 4 se presenta la plantilla y desglose de la fórmulas que se utilizan. (Ver cuadro 3A).

#### 4.7. Densidad Aparente.

La densidad aparente es el cociente que resulta de dividir el peso del suelo seco entre el volumen total, incluyendo los espacios porosos. Usualmente se expresa en  $\text{gr}/\text{cm}^3$  y su fórmula es la siguiente:

$$D_a = \frac{PSS}{VT}$$

donde:

DA = densidad aparente  $\text{gr}/\text{cm}^3$   
PSS = peso de suelo seco, gr.  
VT = volumen total,  $\text{cm}^3$

La determinación puede hacerse por diferentes métodos, entre ellos se pueden mencionar:

- Método de terrón o parafina.
- Método del cilindro de un volumen conocido.
- Método de la probeta.

Para el presente trabajo el método que se utilizó para determinar la densidad aparente fue el del cilindro, el cual es usado para muestras inalteradas.

Este método se realiza con un cilindro de 7.5 cm. de diámetro aproximadamente y es introducido por impacto, cuando se tiene el cilindro enterrado se saca con cuidado sin que se desmorone la muestra, ya que si esto sucede se tiene que repetir todo el proceso. Ya obtenida la cantidad de suelo que cabe en el cilindro se deposita el suelo en un bote de humedad que cierre herméticamente y se lleva al laboratorio, se pesa y se seca la muestra

en la estufa a una temperatura de 105°C hasta alcanzar peso constante, posteriormente se obtiene el volumen total del cilindro y con los datos resultantes se sustituyen en la fórmula y se obtiene la densidad aparente.

## V. RESULTADOS Y DISCUSION

### 5.1 Estimación de Lámina Aprovechable.

La cuantificación de lámina aprovechable se realizó de acuerdo a la fórmula que se presentó anteriormente, obteniéndose los resultados que se presentan en el cuadro 5A, 6A y 7A, se obtuvo también la densidad aparente, la cual se presenta por profundidad y por localidad.

Durante el desarrollo del tesado cuando se mencione el término humedad nos estamos refiriendo a la humedad aprovechable.

Para facilitar la interpretación de resultados se obtuvo la media de las 3 muestras al interior de cada localidad y para cada profundidad. La humedad de cada horizonte o profundidad se graficó en forma acumulativa, encontrándose que para la localidad de San Joaquín del Monte la lámina aprovechable entre 0 - 10 cm. se mantuvo casi estable, ya que cuando se inició los muestreos se encontró 32 mm de humedad y finalizó en 23 mm.

Las fluctuaciones de humedad casi no se manifiestan en estas profundidades y sí es más marcada para las profundidades de 0 - 20 cm., en donde se inicia con 52 mm. de humedad y para la fecha del 4 de noviembre se incrementa a 85 mm. que es la máxima humedad que alcanza en esta profundidad, se observa ligeros descensos paulatinos y uno marcado es el de la fecha del 9 al 16 de enero en donde se pierde casi 20 mm. de humedad aprovechable y finaliza para esta profundidad de 0 - 20 con 51 mm. Ver figura 7.

Para las profundidades de 0 - 30, 0 - 40 y 0 50 cm. el comportamiento es muy semejante y marcado que el de la profundidad de 0 - 20 cm. y se puede encontrar una mayor cantidad de humedad aprovechable a mayor profundidad, lógicamente el aprovechamiento de esta humedad estará en función de la habilidad que posea la raíz para explorar o colonizar hasta cierta profundidad en el desarrollo de su ciclo fenológico o que se pierda por evaporación.

Para la localidad de La Trinidad, al iniciar el muestreo a la profundidad de 0 - 10 cm. se encontró 35 mm de humedad aprovechable y se finalizó con 23 mm, o sea que existió una fluctuación de 12 mm. en los 21 muestreos.

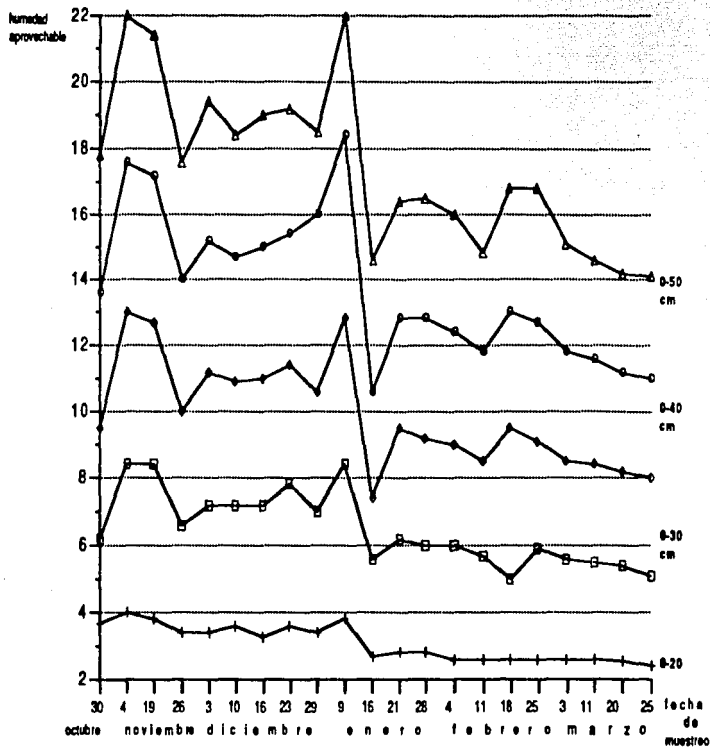
El comportamiento entre profundidades es muy semejante y describiremos la profundidad de 0 - 50 cm. Al inicio se obtuvo 200 mm. de humedad, se incrementó para la fecha del 4 de noviembre donde fue su máximo punto de humedad con 213 mm., es decir si se comprimiesen los 50 cm. de suelo eliminando los espacios de aire y se quedaran solo el agua y el suelo se tendrían 21.3 cm. de agua y el resto de tierra. Este punto máximo comienza a declinar a partir de la fecha mencionada hasta finalizar el día 25 de marzo con 135 mm. de humedad.

Es importante hacer mención que el suelo queda expuesto a la radiación solar directa a suelo desnudo a diferencia de suelos en donde existe maleza que sirve para capturar el rocío e incorporar al suelo y así aumentar la humedad aprovechable. Ver figura 8.

Cuando se realizó la estimación de humedad, en el terreno no se encontraba ningún cultivo de explotación comercial, sólo pequeñas parcelas en donde se estaba evaluando la

Figura 7

HUMEDAD ACUMULATIVA DE LA LOCALIDAD DE  
SAN JOAQUIN DEL MONTE, MEXICO



respuesta del Ebo en asociación con trigo y avena, esto con fines de investigación. De este experimento se evaluó la humedad aprovechable del suelo, el cual fue superior a los datos del presente trabajo, esto debido tal vez a que el follaje desarrollado tiene gran capacidad de retención del rocío presentándose buena humedad en la carcanía al sistema Radicular, esto mejoraría teóricamente la disponibilidad de humedad del suelo.

En la figura 9 se presenta el comportamiento de la humedad aprovechable por profundidad acumulativa de la localidad de Yondecae del Cedro, al inicio del muestreo se encontró con 35 mm. de humedad el cual descendió paulatinamente y se finalizó con 25 mm. perdiéndose únicamente 10 mm. y para las profundidades de 0 - 20 cm. se tiene humedad de 73 mm. y finaliza en 60 mm. es decir, que se pierde casi la misma cantidad de humedad que la profundidad de 0 - 30 cm. se inicia con 116 mm. de humedad y se finaliza con 95 mm. Se pierde 20 mm. de humedad lo cual se puede ratificar que en este tipo de suelo el buen desarrollo de los cultivos de invierno depende en un inicio de el desarrollo de la raíz para satisfacer sus requerimiento de agua, es decir, conforme la raíz sea más profunda. Esto asegurando su desarrollo fenológico.

## 5.2. Humedad aprovechable.

El método estadístico que se utilizó fue Bloques al Azar, realizándose un análisis de varianza por parcela, así como las pruebas medias bajo el método de Tuckey, de igual manera se realizó para las 3 parcelas en forma conjunta el análisis de varianza con arreglo en bloques al azar realizándose la prueba de media por el método de Tuckey se consideró la humedad acumulativa de la profundidad de 0 - 50 cm. con 3 repeticiones por parcela y las 21 fechas muestreadas, se optó por esta profundidad únicamente ya que cuando se establece cualquier cultivo la colonización radicular se mueve a diferentes profundidades. Estas no son estáticas en determinada profundidad, sino que se desarrollan de acuerdo a las características edáficas, fisiográficas, climáticas, etc., que condicionan el desarrollo radicular.

En el cuadro 7A se presentan los datos que se utilizaron para realizar el análisis de varianza.

Los cuadros de análisis de varianza se presentan en los cuadros 10, 12 y 14 por parcela, 16 y 17 en forma conjunta.

En el cuadro 10 de la localidad de San Joaquín del Monte, se observa diferencia altamente significativa para los tratamientos, en este caso la humedad aprovechable lo que se comprueba cuando se realiza la prueba de Tuckey y el comportamiento de las medias lo que se afirma que existe diferencia de humedad entre la primera fecha de muestreo y los finales, al interior de la parcela.

En el cuadro 11 se presenta la prueba de Tuckey para comparar las fechas por localidad de San Joaquín de Monte.

En él se observan las fechas 10, 2, 8, 5 y 7 como las fechas de mayor humedad aunque sólo la fecha 10 es diferente a las demás fechas, coincidiendo todas en el mes de diciembre, lo cual hace suponer una cierta aportación de humedad del medio ambiente al suelo mediante rocío, neblina y serenos, el resto de las fechas va disminuyendo paulatinamente.

Figura 8

HUMEDAD ACUMULATIVA POR PROFUNDIDAD DE LA LOCALIDAD DE LA TRINIDAD, MEXICO

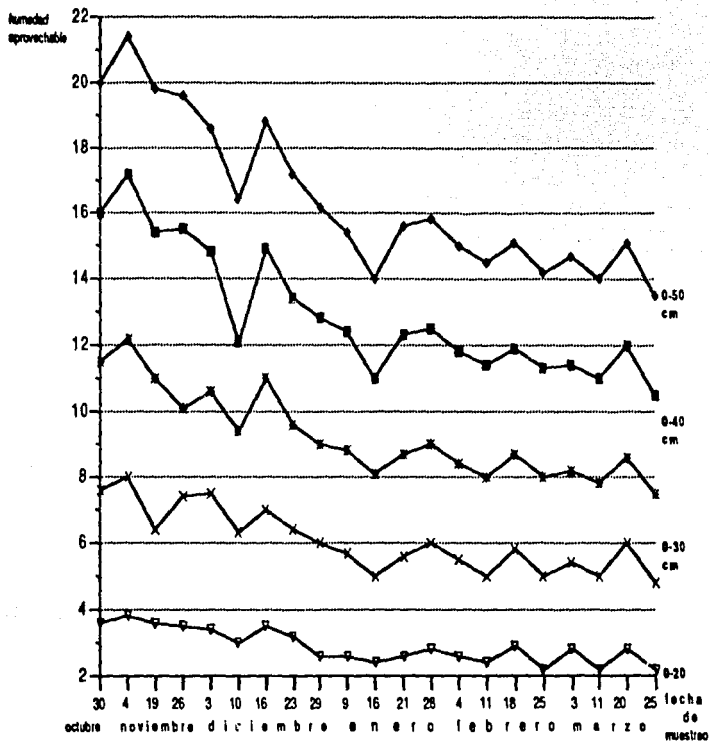


Figura 9

HUMEDAD ACUMULATIVA DE LA LOCALIDAD DE  
YONDECEE DEL CEDRO, MEXICO

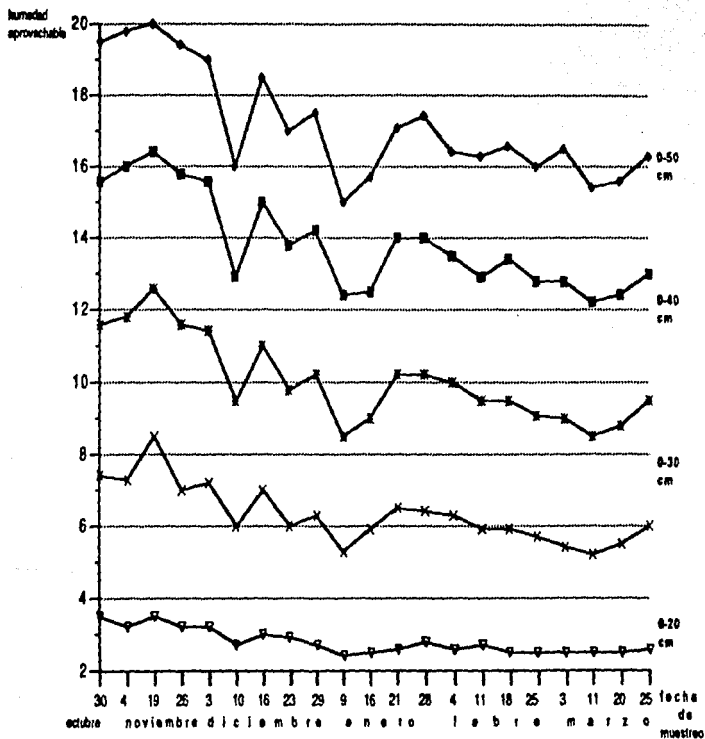


Figura 10

Análisis de Varianza de Humedad Aprovechable con Arreglo en bloques al Azar de la Localidad de San Joaquín del Monte

causas de variación	G L	S C	C M	Fc	05 F t 01	
Bloques	2	458.8913	229.44565	1.90**	1.84	2.37**
Tratamiento	20	38 265.6825	1913.284125	15.91**		
Error	40	4 808.9744	120.22436			
Total	62	43 533.5482				

C.V.= 6.28%

\*\* Diferencia estadística significativa

Figura 11

Prueba Diferencial de Medidas Bajo el Método de Tuckey para la Parcela de la Localidad de San Joaquín del Monte.

Tratamiento	Fecha	Humedad	Grupo Tuckey
10	090187	222,467	
2	041186	220,533	
3	191186	215,700	
8	231286	193,933	
5	031286	193,583	
7	131286	191,167	
6	101286	186,867	
9	291286	186,300	
1	301086	178,700	
4	261186	176,733	
16	180287	168,500	
13	280187	165,567	
12	210187	164,467	
17	250287	161,200	
14	040287	166,433	
18	030387	151,800	
15	110287	148,067	
11	160187	147,700	
19	110387	147,500	
20	200387	143,200	
21	250387	141,761	



Para la localidad de La Trinidad se encontró en el análisis de varianza que se presenta en el cuadro No. 12 que existe diferencia altamente significativa para los tratamientos o fechas muestreadas tanto 05 y 01 de significancia, lo cual lógicamente afirma la diferencia de humedad que existe en el suelo a través del tiempo, se tiene buen grado de confiabilidad y sólo 5.64% de error.

En el cuadro 13 se presenta la comparación de medias bajo el método de Tuckey para las fechas de la localidad de la Trinidad y se observa que las 4 primeras fechas son las de mayor humedad. Esta localidad se encuentra en una topografía plana y generalmente se comportó con estabilidad la humedad a excepción de la fecha 11, ya que en esta fecha se realizó el barbecho de post-cosecha que practica este agricultor en el mes de enero y se tuvo gran pérdida de humedad, llegando posteriormente al equilibrio, cabe mencionar que durante las 21 muestras existe una diferencia de 82 mm. en la humedad más alta y la más baja.

En el cuadro No. 14 se presenta el análisis de varianza en la parcela de Yondecœ del Cedro, se encuentra que existe diferencia altamente significativa para los tratamientos o fechas, lo cual muestra la existencia de variación de humedad al interior de la parcela a través del tiempo en que se muestreó el coeficiente de variabilidad es bastante aceptable de solo 5.78% teniendo buena confiabilidad de resultados.

En el cuadro 15 se presenta la prueba de medias bajo el método de Tuckey para la localidad de Yondecœ del Cedro, se observa que para las 7 primeras fechas son estadísticamente iguales a excepción de la fecha 6, ya que para la segunda semana de diciembre el agricultor cortó y amogotó el rastrojo de maíz cosechado, dejando al descubierto el suelo y por ende pérdida de humedad por evaportranspiración. Esta pérdida de humedad se fue estabilizando e incrementándose paulatinamente, en esta localidad existía una diferencia de 60 mm. aproximadamente entre la mayor y menor humedad.

En el cuadro 16 se presenta el análisis de varianza conjunto, el cual coincide con los análisis individuales, existiendo diferencia altamente significativa para los tratamientos o fechas muestreadas, corroborando la diferencia de humedad a través del tiempo y con el diverso muestreo que le dan los agricultores a su parcela.

Ya que en determinadas fechas realizadas el corte, amogote, barbecho, etc., esto es diferente de acuerdo a las condiciones topográficas de cada parcela, los agricultores de las parcelas de Yondecœ y San Joaquín no barbechan hasta 8 días antes de sembrar, ya que por lo accidentado del terreno existe gran pérdida de suelo por viento, como ellos manifiestan, de alguna manera evitan la erosión eólica, el agricultor del valle tiene esa ventaja en comparación con los anteriores, ya que manifiestan guardar mayor humedad si realizan el barbecho en enero.

En el cuadro 17 se muestran las pruebas de medias bajo el método de Tuckey, encontrándose las 5 primeras fechas como estadísticamente iguales y la 2 y 3 como las mejores, entre la humedad más alta y la más baja existen 65 mm. de diferencia lo cual se puede decir que existe potencial que debe ser aprovechado para la producción de materia seca en el ciclo de otoño-invierno, con un cultivo que resista las bajas temperaturas.

### 5.3 Cálculo de la Evapotranspiración.

Figura 12

Análisis de Varianza de Humedad Aprovechable con Arreglo en Bloques al Azar en la Parcela de la Localidad de La Trinidad, México.

causas de variación	G L	S C	C M	Fc	F t	
					05	01
Bloques	2	41.9852	20.9926	0.24	1.84	2.37
Tratamiento	20	33870.8823	1693.544	19.51**		
Error	40	3470.9415	86.7735			
Total	62	37383.809				

\*\*Diferencia estadística altamente significativa

Figura 13

Prueba Diferencial de Medidas Bajo el Método de Tuckey para la Parcela de la Localidad de de La Trinidad, México.

Tratamiento	Fecha	Humedad	Grupo Tuckey
2	041186	217,553	
1	301086	203,200	
4	261186	196,200	
3	191186	195,933	
7	161286	188,567	
5	031286	187,200	
8	231286	172,233	
6	101286	164,067	
9	291286	162,167	
13	280187	157,733	
12	210187	156,200	
10	090187	154,233	
16	180287	151,700	
20	200387	151,600	
14	040287	150,700	
18	030387	148,133	
15	110287	145,200	
17	250287	143,733	
11	160187	141,133	
19	110387	139,933	
21	250387	135,033	

Figura 14

**Análisis de Varianza de Humedad Aprovechable con Arreglo en Boques al Azar en la Parcela de Yondece del Cedro, México.**

causas de variación	G L	S C	C M	Fc	F t 01	
Bloques	2	590,8826	295,4413	2,96	1,84	2,37
Tratamiento	20	16 733,8473	836,692365	8,40**		
Error	40	3 983,5641	99,5891025			
Total	62	21 308,294				

C. V. = 5,64%

\*\* Diferencia estadística altamente significativa

Figura 15

**Prueba Diferencial de Medidas Bajo el Método de Tuckey para la Parcela de la Localidad de Yondece del Cedro, México.**

Tratamiento	Fecha	Humedad	Grupo Tuckey
3	191186	210,700	
2	041186	197,200	
1	301086	195,300	
4	261186	195,267	
5	031286	190,133	
7	161286	184,633	
13	280187	175,800	
9	291286	175,767	
12	210187	172,200	
8	231286	169,867	
16	180287	167,467	
14	040287	169,900	
18	030387	163,333	
21	250387	163,067	
15	110287	162,600	
17	250287	161,067	
6	101286	159,300	
11	160187	157,633	
20	200387	155,967	
19	110387	154,233	
10	090187	150,467	

Figura 16

**Análisis de Varianza Conjunto de las Tres Parcelas con Arreglo en Boques al Azar**

causas de variación	G L	S C	C M	Fc	F <sub>t</sub>	
					05	01
Bloques	2	569.6953	284.8476	1.36	1,57	1.88
Tratamiento	20	70 278.3031	3513.9152	16.80**		
Error	166	34 712.505847	209.111481			
Total	188	105 560.504233				

C.V.= 8.47%

\*\* Diferencia estadística altamente significativa

Figura 17

**Prueba Diferencial de Medidas del Análisis en Conjunto de las Tres Parcelas Bajo el Método de Tuckey.**

Tratamiento	Fecha	Humedad	Grupo Tuckey
2	041186	211.756	
3	191186	207.444	
1	301086	192.400	A
5	031286	190.306	
4	261186	189.400	
7	161286	188.122	
8	231286	178.678	
10	090187	175.722	B
9	291286	174.744	
6	101286	170.078	
13	280187	166.367	
12	210187	164.289	C
16	180287	162.556	
14	040287	158.344	
17	250287	155.333	
18	030387	154.422	D
15	110287	151.956	
20	200387	150.256	
11	160187	148.822	E
19	110387	147.222	
21	250387	146.622	F
			G
			H

### 5.3.1. Evapotranspiración del Tanque Evaporimetro Tipo "A".

Para el cálculo de la Evapotranspiración se tomaron datos de la Estación Climatológica de Concepción del Monte, los datos fueron de 10 años y el tanque evaporimetro de la Estación cumplió con las características del Tanque Tipo "A", que son 122 cm. de diámetro, 25.4 cm. de profundidad, se encontraba sobre una tarima que deja circular el aire por debajo del tanque.

En el cuadro 18 se presenta la evaporación media de 10 años a nivel semanal de la estación climatológica de Concepción del Monte, para la obtención de la evapotranspiración potencial se utilizaron datos de Evapotranspiración y se multiplicó por un factor de 0.85.

Penman (1948) definió la evapotranspiración potencial, como la máxima cantidad de agua capaz de ser perdida por una capa continua de vegetación que cubra todo el terreno, cuando es ilimitada la cantidad de agua suministrada al suelo.

En base a estos principios podemos inferir la cantidad de agua que puede ser aprovechada por un cultivo y evitar la pérdida por evaporación, es por ello que se requiere conocer la evaporación y calcular la evapotranspiración potencial y evapotranspiración máxima.

En el cuadro 19 de la Evapotranspiración Potencial se observa una disminución de la Evapotranspiración en los meses de diciembre y enero que es cuando se presentan las principales heladas, aunque también se tiene que el mes de febrero es cuando se presenta la menor temperatura media mensual y que posteriormente se incrementa para el mes de marzo, así como también la Evapotranspiración Potencial.

Cabe hacer mención que en los meses de febrero y marzo se llevan a cabo los trabajos de preparación del suelo para iniciar las siembras en la segunda quincena del mes de marzo y finalizar el 30 de abril, solo estamos hablando de fechas de siembra para el agrosistema de valles y laderas de altura (VALA), estos trabajos de preparación sirven también para retener la humedad y no se pierda por capilaridad, al romper las columnas capilares la humedad es retenida fuertemente por el suelo, ya que no existen fugas al medio ambiente, esto es uno de los trabajos que pueden recomendarse para contar con buena humedad al momento de la siembra del sistema de cultivo maíz-maíz.

### 5.4. Definición de los Estados de Desarrollo Fenológico del Cultivo del Trigo.

Los cultivos en general (especialmente los anuales) atraviezan numerosos periodos desde la germinación hasta la madurez, el primer periodo de la vegetación comienza con la germinación de la semilla, nacimiento de la planta, desarrollo y crecimiento de hojas y tallos.

En la estimación de las unidades térmicas (u.t.) de 2291 U.T. se calculó en base al cero biológico que para el mes de noviembre del 1 al 30 el cultivo de trigo alcanzaría el 15% de desarrollo de su ciclo fenológico presentando un coeficiente de cultivo (Kc) de 0.3 en promedio para el mes. Ver figura 20.

Para el mes de diciembre y enero existe crecimiento vegetativo hasta la aparición de los órganos de reproducción (espigas en el caso de cereales de grano pequeño y espiguillas en el caso de maíz).

Figura 18

Evaporación Media Expresada en mm. de Agua Promedio de 10 años a Nivel Semanal de la Estación Climatológica de Concepción del Monte, México.

Mes	S e m a n a			
	1-8 1	9-16 2	17-23 3	24-31 4
Nov.	27.3	26.1	23.8	33.0
Dic.	24.7	24.5	25.7	26.9
Ene.	24.6	26.1	25.0	33.9
Feb	29.5	27.1	30.5	29.1
Mzo.	38.9	32.1	40.5	46.4

Figura 19

Evapotranspiración Potencial Calculada en Base a Evaporación por Semana Expresada en mm. de Agua de la Estación Climatológica de Concepción del Monte, México.

Mes	S e m a n a				$\sum ET_P$	temperatura $\bar{x}$ mensual en °C
	1	2	3	4		
Nov.	21.8	20.9	19.0	26.4	88.1	12.5
Dic.	19.7	19.6	20.5	21.5	81.3	11.1
Ene.	19.6	20.8	20.0	27.2	87.6	10.1
Feb	23.6	21.7	24.4	23.3	93.0	9.9
Mzo.	31.1	25.7	32.4	37.1	126.3	11.5

ETP = Evaporación X 0.85

Durante este período de la Evapotranspiración real máxima del cultivo es una fracción de la Evapotranspiración potencial de referencia. Esta fracción, que aumenta desde 0.2 (según curva única de Hansen) en el momento del nacimiento hasta 0.9 - 1.0 en el período de espigamiento.

El segundo período se presenta en el mes de febrero, hasta mediados del mes de marzo y se caracteriza por tener una capa compacta y uniforme del cultivo y abarca un lapso de 20 días antes, hasta 30 días después de la floración, según Freré y Popov (1980). Durante este lapso el coeficiente de cultivo es caracterizado por valores de 1.0 o incluso levemente superiores de hasta 1.1 - 1.2.

El tercer período el cual ya no se representa en la figura que se está analizando se inicia con la formación del grano, durante este período el grano se desarrollará y madurará mientras que el aparato vegetativo se irá marchitando. Las exigencias de agua del cultivo irán reduciéndose poco a poco y el coeficiente de cultivo disminuirá de 0.9 a 0.4 o menos, dependiendo del cultivo. Para el cultivo de trigo finaliza o alcanza su madurez fisiológica cuando el coeficiente de cultivo es de 0.2 aproximadamente.

En el trazo que se realizó a nivel semanal se observa el inicio en el mes de noviembre al 11 de marzo del trigo alcanza teóricamente en base a U.T. el 60% de desarrollo del ciclo fenológico llegando hasta floración, es decir que si se cosechara en esta etapa fenológica se tendría una excelente calidad de forraje que puede ser aprovechado para el desarrollo del sistema de producción pecuario, abarcando para ello sólo 131 días.

#### 5.5 Cálculo de Evapotranspiración Máxima (ETm)

La Evapotranspiración Máxima (ETm) se refiere a aquellas condiciones en que el agua es la conveniente para un crecimiento y desarrollo sin limitaciones: la ETm representa la tasa de Evapotranspiración Máxima de un cultivo sano, que crece en grandes campos y en condiciones óptimas de manejo agronómico y de riego.

Para obtener la ETm se obtuvieron los datos de Evapotranspiración de la Estación Climatológica de Concepción del Monte y se multiplicó por el factor 0.85 y así obtener la Evapotranspiración Potencial, estos datos son a nivel semanal utilizando medias, los cálculos y para obtener la ETm se hicieron a partir de la siguiente fórmula.

$$ETm = E.T.P. \times Kc.$$

donde:

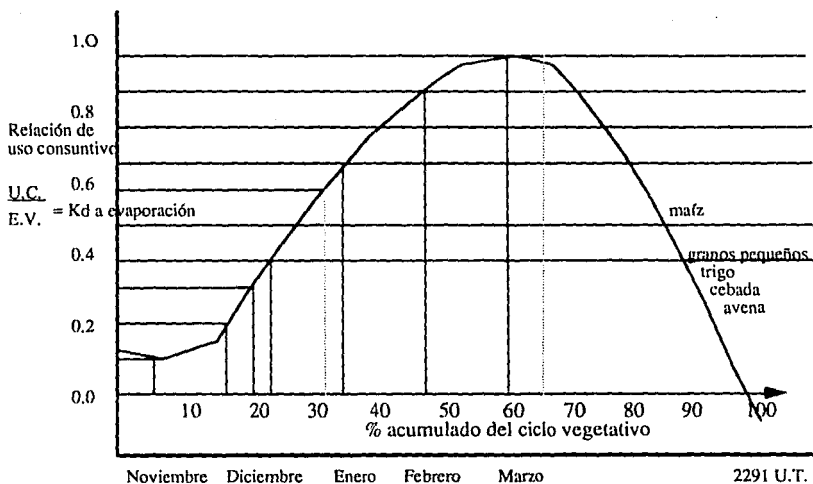
- ETm = Evapotranspiración Máxima en mm.
- ETP = Evapotranspiración Potencial en mm.
- Kc = Coeficiente de cultivo.

El factor Kc está determinado por el período vegetativo y la duración de las etapas de desarrollo del cultivo y así se seleccionan los valores que en determinado momento tenga el cultivo y los datos se obtienen de la curva única de Hansen que representa la figura 20.

En el cuadro 21 se presenta la Evapotranspiración Máxima a nivel semanal y el acumulativo a nivel mensual.

Figura 20

**CURVA UNICA DE HANSEN, SE GRAFICO EL COEFICIENTE DE CULTIVO ( $K_c$ ) PARA TRIGO EN BASE AL CALCULO DE UNIDADES TERMICAS CONSIDERANDO EL CERO BIOLÓGICO, AGUILERA (1980).**



131 días = 1328 u.t.



Figura 21

**EVAPORACION MAXIMA A NIVEL SEMANAL Y ACUMULATIVO MENSUAL PARA EL CULTIVO DE TRIGO**

Mes / Semana	EVAPORACION POTENCIAL					EVAPOTRANSPIRACION MAXIMA			
	1	2	3	4	KC	1	2	3	4
Nov.	21.8	20.9	19.0	26.4	0.3	6.54	6.09	5.7	7.92
Dic.	19.7	19.6	20.5	21.4	0.6	11.8	11.8	12.3	12.8
Ene.	19.7	20.8	20.0	27.2	0.85	16.7	17.7	17.0	23.1
Feb.	23.6	21.7	24.4	23.3	0.98	23.1	21.3	24.0	22.8
Mzo.	31.1	25.7	32.4	37.1	1.0	31.1	12.8	---	---

$\Sigma ET_m$  mensual en mm

Nov. 26.3

Dic. 48.7

Ene. 74.5

Feb. 91.2

Mzo. 43.8

284.5 mm.

\*solo corresponde a 4 días de la semana

Figura 22

**USO CONSUNTIVO MEDIANTE EL METODO BLANEY Y CRIDDLE, MODIFICADO POR HANSEN PARA EL CULTIVO DE TRIGO CON DATOS DE LA ESTACION CLIMATICA DE CONCEPCION DEL MONTE, MEXICO**

acumulado

Mes	J	T	t	P	F	Kd	U.C. 1	U.C. 2	U.C. 3
Nov.	.85	11.1	1.32	7.63	10.07	0.34	3.42	2.91	29.1
Dic.	.85	10.0	1.27	7.71	9.79	0.72	7.05	5.99	89.0
Ene.	.85	9.9	1.27	7.79	9.89	0.96	9.49	8.07	169.7
Feb.	.85	9.0	1.22	7.28	8.88	0.87	7.73	6.57	235.4
Mzo.	.85	11.5	1.34	8.41	11.26	0.48	5.40	4.57	281.3
							330.9	281.3	

Considerando el Kc de ETm

mm.

Mes	Kc.	F	U.C. 1	U.C. 2
Nov.	0.3	10.07	3.021	2.567
Dic.	0.6	9.79	5.874	4.992
Ene.	0.85	9.89	8.406	7.145
Feb.	0.98	8.88	8.702	7.397
Mzo.	1.0	11.26	11.260	9.571

372.6    316.7  
mm.    mm.

1. Uso Consuntivo sin ajuste
2. Uso Consuntivo ajustado
3. Uso Consuntivo acumulado

En el cuadro 22 se observa como aumenta el coeficiente de cultivo (Kc) conforme transcurren los meses, lo cual, se observa en la sumatoria de la ETm mensual, la cantidad de humedad que requiere un cultivo cuando el agua no es un factor limitante, es decir, que para el cultivo alcance el 60% de desarrollo vegetativo bajo las condiciones de temperatura y evapotranspiración se necesita 284.5 mm. para llegar a este punto del cultivo.

#### 5.6. Requerimientos de Agua del Cultivo de Trigo.

Para estimar los requerimientos hídricos de cualquier cultivo se han desarrollado metodologías para calcular de forma indirecta estos requerimientos, uno de esos métodos y el más usado es el cálculo de uso consuntivo, especialmente para determinar láminas de riego y aplicarlos en determinada etapa fenológica. Para el trigo se utilizará el método de Blaney y Criddle.

Para este trabajo se realizó el cálculo de uso consuntivo (u.c.) con datos de la estación climatológica de Concepción del Monte, este cálculo sólo se contempló del 1º de noviembre al 11 de marzo y los datos requeridos fueron de temperatura media mensual. Las coordenadas geográficas para estimar las horas luz o insolación mediante la tabla de porcentaje de horas luz o insolación en el día para cada mes del año en relación al número total en un año (P) y el Kc calculado en la curva única de Hansen (ver figura 20).

Los resultados del cálculo de uso consuntivo para el cultivo de trigo se presentan en el cuadro 19, y se tiene que para que un trigo de invierno que tenga 131 días para llegar a su desarrollo fenológico se requiere de 281.3 mm. de agua, esto quiere decir que es la cantidad de agua que se evapora del suelo, mas agua transpirada por la planta, mas agua utilizada para la construcción de tejido, considerando el método de Blaney y Criddle.

Si a este dato lo comparamos con el obtenido de la ETm que es de 284.5 mm. a un 60% de desarrollo vegetativo se puede esperar que en condiciones limitantes de temperatura del 1º de noviembre al 11 de marzo el cultivo de trigo lleve al 60% de desarrollo vegetativo con 285 mm. de agua.

En el cuadro 22 se aplicaron los Kc que sirvieron para obtener la ETm, con estos datos se incrementa el U.C. a 316.7 mm. que se requieren para que el cultivo de trigo llegue a su madurez fisiológica, lo cual graficando en la curva de desarrollo de Hansen con 285 mm. de humedad el cultivo llegaría a 83% de desarrollo, lo que nos da una idea positiva de la factibilidad de obtener materia seca en el ciclo otoño-invierno, esto sin considerar lluvias que se puedan presentar en los meses de noviembre a marzo, así como el rocío que se presenta cuando existe cobertura vegetal del suelo.

#### 5.7. Balance Hídrico

Para el cálculo de balance de humedad, se consideraron los datos de precipitación media mensual de los años con que contará la Estación Climatológica de Concepción de Monte, así como los datos de precipitación acumulativa semanal del año en que se trabajó, La Evapotranspiración para obtener la Evapotranspiración Potencial a nivel semanal, el coeficiente de cultivo se calculó tomando como base que el trigo requiere de 1750 unidades térmicas desde siembra a madurez fisiológica y la base que se utilizó fue el cero biológico, se consideró como fecha de siembra los primeros días del mes de noviembre y los datos de

unidades térmicas por lo que conforme se acumulaban se hizo el trazo en la gráfica en que se presenta la curva única de Hansen, obteniendo así el coeficiente de cultivo por semana hasta la fecha del 11 de marzo, en donde se cortarían el cultivo para seguir con los trabajos de preparación tradicionales del ciclo maíz-maíz.

Las reservas hídricas del suelo que se consideran en los balances hídricos es la humedad media de la profundidad de 0-50 cm. de cada localidad ya que como se mencionó anteriormente existe significación estadística para el factor parcelas. Por otro lado consideramos la profundidad de 0-50 cm. aunque sí exista significancia estadística para este factor, ya que el comportamiento del suelo y sus características son complejos, así como la colonización radicular es impredecible, es por ello que se consideró esta profundidad y su humedad media.

Ya con los datos de Reservas Hídricas con los cuales está expresada con los datos obtenidos a través de los muestreos para obtener humedad por localidad a una sola profundidad de 0-50 cm. se observa en los cuadros 23, 24 y 25 que para la localidad de San Joaquín del Monte el cultivo satisface sus necesidades hídricas hasta la cuarta semana de febrero ya que en la primera semana de marzo se quedaría el suelo sin humedad aprovechable para que la planta siguiera desarrollándose.

Para la localidad de la Trinidad es semejante, ya que para la primera semana de marzo se requeriría de 1.0 mm. de humedad para que el cultivo de trigo sobreviviera en esa semana. La única localidad que presenta humedad de reserva es la de Yondece del Cedro, aunque no es significativa la cantidad que guarda.

Este método de Balance Hídrico utilizado por F.A.O nos da un panorama de factibilidad de producción de materia verde en el agrosistema, además de aprovechar al máximo el recurso suelo y agua para diversificar su producción agrícola e impulsar el desarrollo de la pobre explotación pecuaria.

Si comparamos los datos que arrojaron el Método de Evapotranspiración Máxima, Uso Consuntivo y Balance Hídrico, en lo referente a cantidades sería de la siguiente manera:

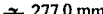

ETm.	U.C.	Bal. Hídrico
284.5 mm	281.3 mm	277.0 mm

Observamos que la diferencia de un método a otro es de 7.5 mm. de agua, lo cual nos habla de un buen aprovechamiento que se puede hacer de estos recursos solucionando parte de las necesidades del campesinado de esta región.

Figura 23

**BALANCE HIDRICO DE LA ESTACION CLIMATOLOGICA DE CONCEPCION DEL MONTE PARA TRIGO EN LA LOCALIDAD DE YONDECEE DEL CEDRO, MEXICO**

M e s	N o v i e m b r e				D i c i e m b r e				E n e r o			
semana	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Pn	8.6	1.4	1.9	1.4	4.2	5.7	2.7	0.2	1.5	2.2	9.2	9.6
Pa	0	0	0	0	2.0	0	0	0	0	0	0	0
ETP	21.8	20.9	19.0	26.4	19.7	19.6	20.5	21.5	19.6	20.8	20.0	27.1
Hc	0.2	0.24	0.3	0.4	0.5	0.6	0.67	0.77	0.8	0.86	0.9	0.91
Wr	4.36	5.0	5.7	10.5	9.8	11.7	13.7	16.5	15.7	17.8	18.0	25.7
Pa-wr	-4.36	-5.0	-5.7	-10.5	-7.8	-11.7	-13.7	-16.5	-15.7	-17.8	-18.0	-25.7
*Rs	44.0	43.1	35.3	38.6	36.9	38.2	38.7	37.2	43.9	29.5	32.8	33.0
s/d	39.6	38.1	29.6	28.1	29.1	26.5	25.0	20.7	28.2	11.7	14.8	7.3
M e s	F e b r e r o				M a r z o							
semana	1	2	3	4	1	2	3	4				
Pn	2.5	3.2	0.5	6.3	0.5	2.2	2.2	0.7				
Pa	13.6	0	0	0	0	0	0	0				
ETP	23.6	21.7	24.3	23.3	31.0	25.7	32.4	37.1				
Hc	0.96	1.0	1.0	1.0	0.98	√	√	√				
Wr	22.9	21.7	24.3	23.3	30.3	√	√	√				
Pa-wr	-9.3	-21.7	-24.3	-23.3	-30.3	√	√	√				
*Rs	32.0	29.5	33.0	32.1	30.3	√	√	√				
s/d	22.7	7.8	8.7	8.8	0	√	√	√				

 277.0 mm  
 131 días

\*Humedad Media aprovechable de 0-50 cm. expresada en mm.

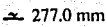
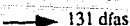
Figura 24

**BALANCE HIDRICO DE LA ESTACION CLIMATOLOGICA DE CONCEPCION DEL MONTE PARA TRIGO EN LA LOCALIDAD DE LA TRINIDAD, MEXICO**

M e s	N o v i e m b r e				D i c i e m b r e				E n e r o			
semana	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Pn	8.6	1.4	1.9	1.4	4.2	5.7	2.7	0.2	1.5	2.2	9.2	9.6
Pa	0	0	0	0	2.0	0	0	0	0	0	0	0
ETP	21.8	20.9	19.0	26.4	19.7	19.6	20.5	21.5	19.6	20.8	20.0	27.1
Hc	0.2	0.24	0.3	0.4	0.5	0.6	0.67	0.77	0.8	0.86	0.9	0.95
Wr	4.36	5.0	5.7	10.5	9.8	11.7	13.7	16.5	15.7	17.8	18.0	25.7
Pa-wr	-4.36	-5.0	-5.7	-10.5	-7.8	-11.7	-13.7	-16.5	-15.7	-17.8	-18.0	-25.7
*Rs	44.0	43.1	35.3	37.4	32.8	37.2	34.4	32.4	30.8	28.1	31.2	31.5
s/d	39.6	38.1	29.6	26.9	25.0	26.0	20.7	15.9	15.1	10.3	13.2	5.8

M e s	F e b r e r o				M a r z o			
semana	1	2	3	4	1	2	3	4
Pn	2.5	3.2	0.5	6.3	0.5	2.2	2.2	0.7
Pa	13.6	0	0	0	0	0	0	0
ETP	23.6	21.7	24.3	23.3	31.0	25.7	32.4	37.1
Hc	0.97	1.0	1.0	1.0	0.98	√	√	√
Wr	22.9	21.7	23.3	23.3	30.3	√	√	√
Pa-wr	-9.3	-21.7	-23.3	-23.3	-30.3	√	√	√
*Rs	30.1	29.0	28.7	32.1	29.3	√	√	√
s/d	20.8	7.3	5.4	8.8	1.0	√	√	√

 277.0 mm  
 131 dfas

\*Humedad Media aprovechable de 0-50 cm. expresada en mm.

Figura 25

**BALANCE HIDRICO DE LA ESTACION CLIMATOLOGICA DE CONCEPCION DEL MONTE PARA TRIGO EN LA LOCALIDAD DE YONDECEE DEL CEDRO, MEXICO**

Mes	N o v i e m b r e				D i c i e m b r e				E n e r o			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
semana												
Pn	8.6	1.4	1.9	1.4	4.2	5.7	2.7	0.2	1.5	2.2	9.2	9.6
Pa	0	0	0	0	2.0	0	0	0	0	0	0	0
ETP	21.8	20.9	19.0	26.4	19.7	19.6	20.5	21.5	19.6	20.8	20.0	27.1
Hc	0.2	0.24	0.3	0.4	0.5	0.6	0.67	0.77	0.8	0.86	0.9	0.95
Wr	4.36	5.0	5.7	10.5	9.8	11.7	13.7	16.5	15.7	17.8	18.0	25.7
Pa-wr	-4.36	-5.0	-5.7	-10.5	-7.8	-11.7	-13.7	-16.5	-15.7	-17.8	-18.0	-25.7
*Rs	39.4	42.3	39.0	37.9	31.8	36.8	34.1	35.1	30.0	31.3	34.4	34.8
s/d	35.0	37.3	33.3	27.4	24.0	25.1	20.4	18.6	14.3	13.5	16.4	9.1

Mes	F e b r e r o				M a r z o			
	1	2	3	4	1	2	3	4
semana								
Pn	2.5	3.2	0.5	6.3	0.5	2.2	2.2	0.7
Pa	13.6	0	0	0	0	0	0	0
ETP	23.6	21.7	24.3	23.3	31.0	25.7	32.4	37.1
Hc	0.97	1.0	1.0	1.0	0.98	√	√	√
Wr	22.9	21.7	23.3	23.3	30.3	√	√	√
Pa-wr	-9.3	-21.7	-23.3	-23.3	-30.3	√	√	√
*Rs	32.7	32.4	33.4	21.1	33.0	√	√	√
s/d	22.4	10.7	9.1	8.8	2.7	√	√	√

≈ 277.0 mm

\*Humedad Media aprovechable de 0-50 cm. expresada en mm.

## VI. CONCLUSIONES

6.1 La estimación de humedad aprovechable cuantificada en las diferentes parcelas de seguimiento en el agrosistema de estudio nos mostró que existe diferencia estadística significativa en fechas por localidad y entre localidades, por lo cual se concluye que la humedad al interior del agrosistema no es homogénea.

6.2. En base al análisis estadístico se encuentra diferencia altamente significativa de humedad aprovechable entre fechas en los diferentes sitios de muestreo.

6.3. Mediante el cálculo de la Evapotranspiración Máxima se requiere de 284.5 mm. de humedad aprovechable para que el cultivo del trigo llegue teóricamente al 60% de su desarrollo, encontrándose que en este punto del cultivo es cuando se tiene mejor calidad protéica si es utilizado como forraje.

6.4. Del método de uso consuntivo se obtuvo que 281.3 mm. son suficientes para que el cultivo de trigo satisfaga sus requerimientos hídricos y llegue a madurez fisiológica.

6.5. En el método de Balance Hídrico se estimó que el cultivo llegara al 60% de su desarrollo encontrándose que para el sitio de San Joaquín del Monte alcanza a satisfacer sus necesidades hídricas. Para el sitio de La Trinidad se tiene deficiencia de -1.0 mm. de agua para la última semana, y para Yondeco del Cedro satisface completamente estas necesidades hídricas del cultivo de trigo, por lo tanto, existe una aptitud del agrosistema para producción de materia seca de trigo en el ciclo otoño-invierno hasta el 60% de su ciclo de cultivo.

6.6. En los métodos utilizados para estimar los requerimientos para un cultivo potencial como trigo de invierno se presenta una relación favorable entre la evapotranspiración máxima, uso consuntivo y balance hídrico, estimando según posibilidades de desarrollo del cultivo. Es decir, son satisfechos los requerimientos hídricos y térmicos desde siembra hasta el 60% del ciclo del trigo.

Cabe agregar que el 60% del desarrollo del trigo, lo cual tiene perspectivas económicas, por la calidad bromatológica alcanzada en esta etapa y en parte justifica este tipo de manejo, y la necesidad de la investigación con referencia a la encuesta de los sistemas de producción que detecta la carencia de forraje de calidad en Invierno y Primavera para la alimentación animal.



## **VII. RECOMENDACIONES**

7.1. Se propone el diseño experimental de parcelas que considere la rotación de P-V y O-I, para evaluar los efectos siguientes y así decidir económicamente y socialmente un manejo generalizado.

7.2. Se sugiere en caso de no sembrar en el ciclo O-I se realicen trabajos de preparación después de cosechar para romper la capilaridad del suelo y por ende la pérdida de humedad por evaporación, con el fin de conservar la humedad en el suelo.

7.3. Se sugiere el marco de un manejo de rotación de cultivos en los ciclos Pv-OI-PV, recomendándose maíz-trigo-maíz o maíz-veza-maíz, maíz-asociación-maíz.

7.4. Se propone la realización de barbecho temprano y la siembra de veza y valorizar la humedad del suelo y compararla con suelo desnudo para evaluar la cantidad de humedad que se capta por rocío y es incorporada al suelo.

## VIII. BIBLIOGRAFIA

- Abdón Cortés Lombana (1966). Suelos de Ando en la República Mexicana, Sociedad Mexicana de las Ciencias del Suelo. Pag. 1-36
- Aguilera C.M., Martínez. T. R., (1980). Relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera, U.A.CH., 2da. Edición, Chapingo, México.
- Aguilera, H. Nicolás (1965). Suelos de Ando, Génesis, Morfología y Clasificación, Serie de Investigación No. 6, Colegio de Posgraduados, Chapingo, México. Pag. 1-12.
- Anaya, G.M. 1985, Problemas de Erosión y Desertificación el Suelos de América Latina. Ponencia Magistral presentada en el IX Congreso Latinoamericano y el III Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo, Palmira, Colombia.
- Andrade, E.T. (1974), Influencia del "Aporqué" Bajo Diferentes Métodos de Labranza Sobre el Rendimiento del Maíz para Forraje. Tesis M.C. con Especialidad en Suelos, Chapingo, México.
- Barger, G.L., R.H., Shaw and R.F. Dale (1959). Gamma Distribution Parameter for 2 and 3 Weeks Precipitation Totals. Iowa University.
- Bootsma, A., 1977. Maturity Indices for Corn in the Low Heat Unit Region of Easter Canada: a Review in: Agrometeorology of the Maize (Corn). Crop. WMO, No. 481. Pag. 56-66.
- Bravo, Grijalva Eduardo. Efecto de la Humedad sobre la Respuesta al Fósforo y su Absorción por Plantas de Sorgo en Suelos de Ando. Tesis de M. en C., Colegio de Posgraduados, Chapingo, México, 1969. Pag. 1-21 y 78-79.
- Buol, S. W., Hole, F. D., Mc Draken, R. J. (1983). Genesis y Clasificación de Suelos, Editorial Trillas, México.
- Castilla P.O., 1965. Determinación Práctica del Uso Consuntivo. Revista Ingeniería Hidráulica de México, Vol. XIX, No. 4., S.R.H., México.
- Chepil, W.D. (1945). Dynamics of Wind Erosion: I, Nature of Movement of Soil by Wind. Soil Science, 60:305-320.
- Collman, E.A., and Bodman, G.B., 1945. Moisture and Energy Conditions During Downwar Entry of Water Into Soil. Sci. Soc. Amer. Proc. 9:3-11.
- Cortés, F.J.I., Castillo, L.R., Turrent, F.A., Leyva, S.R., Narváez, F., (1973). Programa de Productividad en Suelos de Ando del Valle de Toluca. Memorias del VII Congreso, Nacional de la Ciencia del Suelo, Noviembre 1973, Veracruz, Ver., Tomo III, Sociedad Mexicana de Ciencia del Suelo.
- De la Peña I., 1977. El Buen Uso y Manejo del Agua de Riego. Boletín Técnico No. 8 del Comité Directivo del Distrito de Riego No. 28-41. Oficina de Riego y Drenaje. Cd. Obregón, Sonora, México.
- De Pavia, Luciano Francisco. Estudio de las Relaciones Agua-Suelo en Suelo de Cenizas

- Volcánicas de la Parte Central de México. Tesis de M. en C., Colegio de Posgraduados, Chapingo, México. 1974, Pag. 1-92.
- Donwey, L.A., 1972. Water-Yield Relations for Nonforge Crops. *Journal of the Irrigation and Drainage Division, ASCE*, Vol. 98, IRI, U.S.A.
- Doorenbos, J. y Pruit, W.O. (1977). Las Necesidades de Agua de los Cultivos FAO, 2da. Impresión. *Riego y Drenaje*, No. 24.
- Doorenbos, J., 1979. Efecto del Agua sobre el Rendimiento de los Cultivos. *Riego y Drenaje* No. 33, FAO, Roma.
- Ellison, E.D. 1947. *Studies on Raindrop Erosion*, Agric. Eng., Vol. 28.
- Evans, L.T., (1975). *Crop Physiology*. Cambridge University Press, Londres, Inglaterra.
- FitzPatrick, E.A., (1978). *Introducción a la Ciencia del Suelo*, Publicación Cultural, S.A.
- FitzPatrick, E. A., (1984). *Genesis y Clasificación de Suelos*, Editorial CECSA, México.
- Forsythe, W.M. y Díaz-Romeu R., (1969). La Densidad Aparente del Suelo y la Intemperización del Análisis de Laboratorio para el Campo. *Turrialba* 19;128-131. Costa Rica.
- Forsythe, W.M., 1974. Relación Agua-Suelo en Suelos Derivados de Cenizas Volcánicas de Centroamérica. Seminario sobre el Manejo de Suelos y el Proceso de Desarrollo en América Tropical, 10-14, Febrero, 1974. Cali, Colombia. Editado por Bornemiza, Elemer. Pag. 158-171.
- Forsythe, W. M. 1975. *Manual de Laboratorio de Física de Suelos*. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. San José, Costa Rica, Pag. 17-27.
- Frére, M., J.K., Rijkx y J. Rea, 1975. *Estudio Agroclimatólogico de la Zona Andina*. FAO, Roma.
- Frére, M. y Popov, G. F. Pronóstico de Cosechas Basados en Datos Agrometeorológicos. *Estudio FAO: Producción y Protección Vegetal* 17, Roma, 1980. Pag. 1-44.
- Guajardo, V.R., (1967). *Caracterización de algunos Suelos de Ando de la Sierra Tarasca*. Tesis de M. en C., Colegio de Posgraduados, Chapingo, México.
- Guinea, Emilio, (1953). *Estudio Botánico de Las Vevas (vicia spp) y Alberjas Españolas*. Inst. Nal. Invest. Agron., Madrid, España. Pag. 201-219.
- International Society of Soil Science. New of the Commission I. *Soil Physics Terminology*. International Society of Soil Sciencis. *Bulletin* No. 13. 1965. Pag. 7-10.
- Itie, Lecoat Manuel. Como Cultivar La Veza o Evo Tierra aa (12). Pag. 1066-1112. México, 1956.
- Kanno, 1962. *Genesis and Clasificación of Humic Allofamic Soils in Japan*. National Kyushu Agricultural Experiment. Station Chikugo, Fukuoka Prefecture Japan.
- Lazo de la V.J.L. y Osler, D.R. El Cultivo del Sorgo de Humedad Residual en la Faja Costera de Veracruz. *Agricultura Técnica en México*. Vol. 12. Pag. 31-32, México, 1962.

- López Costi J. Ferrera, Carrato Roland. Alcalde Blanco S. (1979). Efecto de la Fertilización Orgánica sobre la Población Microbiana en el Suelo de Ando de la S.T., Memorias del Seminario Suelos de Ando y sus Implicaciones en la Sierra Tarasca, 2-4 Agosto, 1979. Pátzcuaro, Mich., Segunda Ed. Colegio de Posgraduados.
- Suelos de Ando y sus Implicaciones en el Desarrollo Agrícola de la Sierra Tarasca. Los (1979). Memorias del Seminario Realizado en Agosto, 1979. Colegio de Posgraduados.
- Malagón, C.D. (1974). Propiedades Físicas de los Suelos, Vol. X, No. 1, Dir. Agrol. Inst. Geograf. "Agustín Codazzi", Bogotá, Colombia. 314-324.
- Martínez Menes Mario (1971). Calibración y Comparación de algunos Métodos para la Determinación de la Humedad del Suelo. Tesis de M. en C., Colegio de Posgraduados, Chapingo, México. Pag. 1-19 y 59-74.
- Mendizábal D.F., 1968. Métodos de Medición de Humedad de Suelo. Tesis de Licenciatura E.N.A., Chapingo, México. Pag. 1-9 y 32-40.
- Moncada de la F.J., (1960). Estudios Físicos-Químicos de Algunos Suelos de Origen Volcánico del Estado de Michoacán. Tesis de M. en C., Colegio de Posgraduados de la Escuela Nacional de Agricultura, Chapingo, México.
- Mora, G.M., 1985. Caracterización Agroclimática del Cultivo de Trigo para el Area del Centro Agrícola Experimental del Bajío (CIAB). Memorias de la 1 Reunión Nacional de Agroclimatología. UNAM. Junio, 1985. Pag. 195-200.
- Narváez, Carbajal Gabriel. Evaluación de un Modelo de Predicción que Relaciona Rendimiento y Humedad Aprovechable del Suelo en 3 Etapas Fenológicas del Trigo (*Triticum Aestivum* L.). Tesis de Licenciatura. UACH, Chapingo, México, 1982. Pag. 1-15.
- Navarro, I., Turrent, F.A., Laird, R.J. y Ortega, T.E., (1963). Problemas de Fertilidad de algunos Suelos de la Sierra Tarasca. Agr. Tec. en México 12:28-33.
- Navarro, G.H., Ortiz, T.C., Ríos I.R., García C.G., (1986). Resumen del Análisis y Conclusiones del Diagnóstico 1985 y Perspectivas de Investigación. SARH-INIFAP-CIAMEX-CAEVAMEX. (Inédito).
- Ontiveros, H.P. (1967). El Empleo de las Leguminosas como Abono Verde Tierra 22 (8). Pag. 592, 631, 633.
- Ortiz, T.C., 1987. Requerimientos Térmicos de ocho Variedades de Trigo (*Triticum Aestivum* L.) en Valles Altos. Tesis de Licenciatura, UACH. Chapingo, Mexico.
- Oviedo, M.A., El Aprovechamiento de la Humedad Residual para la Siembra del Maíz, El Campo 44 (912). Pag. 22-24, México, 1968.
- Pascuale, A.J., y Damarco, E.A., 1954. El Índice Heliotérmico Aplicado a los Trigos Argentinos Meteoros. Año IV. No. 3. Pag. 129-157.
- Perales, Rivera Silvia O. Predicción de Rendimientos y Necesidades de Riego para los Cultivares de Girasol, Maíz, Frijol, Sorgo y Trigo, Utilizando el Método de Balance de Agua para

- Apodaca, N.L. Tesis de Licenciatura del ITEC, Monterrey, N.L., México, 1980. Pag. 7-16.
- Richards, L.A. y Weaver, L.R., 1944. Moisture Retention by some Irrigated Soils as Related to Soil Moisture Tension. J. Agr. Research., U.S.A.
- Sandoval Ocegüera José. El Regimen de Humedad en el Suelo y su Efecto sobre Componentes de Rendimiento de Grano del Trigo. Tesis de M. en C., Colegio de Posgraduados, Chapingo, México, 1983. Pag. 1-16 y 88-91.
- Secretaría de Recursos Hidráulicos (1970). Evaluación de las Medidas de Infiltración. Memorandum Técnico No. 277, México.
- Soil Science Society of America. Glossary of Soil Science Terms. Madison Wisconsin., 1970. Pag. 27.
- Swindale, L.O., 1969. Propiedades de los Suelos sobre Cenizas Volcánicas. Panel sobre Suelos Derivados de las Cenizas Volcánicas de América Latina. Turrialba, Costa Rica.
- Thom, H.C.S., 1958. A Note on the Gamma distribution. Mon. Wea. Rev. 86 (4). Pag. V17.
- Velázquez G.J. de J., (1985). Caracterización Agroclimática y Alternativas de Cultivo para una Región de Temporal Deficiente en el Estado de Hidalgo. Tesis de Licenciatura, Universidad de Guadalajara, Zapopan, Jalisco.
- Villalpando I.J., (1979). Efecto Residual de la Gallinaza y el Fósforo sobre el Rendimiento de Maíz de Humedad Residual y Posibilidades de Sembrar Año con Año en la Sierra Tarasca. Memorias del Seminario "Suelos de Ando y sus Implicaciones en el Desarrollo Agrícola de la Sierra Tarasca. Pátzcuaro, Mich. Colegio de Posgraduados.
- Zárate Hernández Jesús. La Veza o Ebo, Tierra 4 (2). Pag. 84-86 y 122. México, 1949.

**IX. APENDICE**

**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

Cuadro 1a

**PRINCIPALES UNIDADES DE SUELO EN LA MESA CENTRAL DEL VALLE DE MEXICO Y SU IMPORTANCIA ESTATAL A LA SUPERFICIE QUE CUBREN**

Estado	unidad superf. (ha) %	Litosol	Vertisol	Andosol 54,285 36.1	Feozem 79,947 53.2	Luvisol	Rendzina	Planosol	Castañozem
D. F.		6,909 4.6							
Hidalgo	(ha) %	97,713 4.65		18,753 0.89	884,352 42.16	274,386 13.08	137,193 6.54	195,426 9.3	38,493 1.83
México	(ha) %		225,135 10.49	507,185 28.63	578,908 27	181,213 8.4	57,838 2.7	21,319 1	
Tlaxcala	(ha) %	11,226 2.7		14,779 3.6	115,058 28				
Total	(ha) %	117,822 2.4	232,044 4.8	595,002 12.4	1658,26 34.5	455,599 9.4	195,031 4.0	216,745 4.5	38,496 0.8
orden import.		9 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	1 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	8 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>	11 <sup>a</sup>

Estado	unidad superf. (ha) %	Cambisol	Regosol	Acrisol	Solonchak 8,883 5.9	Fluvisol	Total
D. F.							150.0
Hidalgo	(ha) %	57,246 2.72	393,813 18.77				2097.3
México	(ha) %	180,655 8.4	279,355 13	58,331 2.7	55,864 2.6		2145.80
Tlaxcala	(ha) %	178,720 44	43,303 10.7		2,303 0.5	38,763 9.6	404.15
Total	(ha) %	416,621 8.6	716,471 14.9	58,331 1.2	58,167 1.2	38,763 0.8	4797.3
orden import.		5 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	10 <sup>a</sup>	10 <sup>a</sup>	11 <sup>a</sup>	

Clasificación por orden de importancia: Feozem> Regosol> Andosol> Luvisol> Cambisol>  
 Calculó: Ing. Adrián Arellano Avilés, CIDAGEM, 1986.

Cuadro 2a

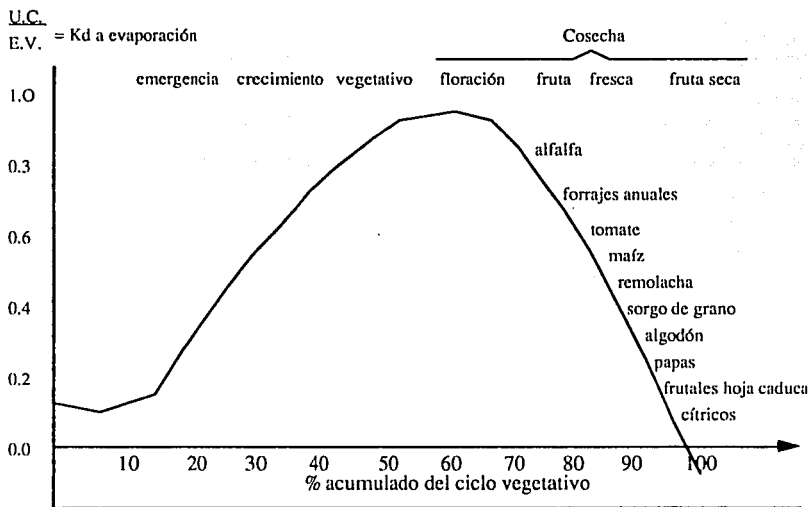
**FORMATO PARA DETERMINAR EL BALANCE HIDRICO PROPUESTO  
POR F.A.O., 1980.**

Mes	O c t u b r e			N o v i e m b r e			D i c i e m b r e			E n e r o		
	1a.	2a.	3a.	1a.	2a.	3a.	1a.	2a.	3a.	1a.	2a.	3a.
Pn												
Pa												
da												
ETP												
Kc												
WR												
P'a-wr												
R <sub>S</sub>												
s/d												
l												



Cuadro 3a

**CURVA UNICA DE HANSEN PARA EL CALCULO DEL COEFICIENTE DEL CULTIVO (Kc)**



Curva de Hansen para el cálculo de  $K_d$  = relación de uso  
consuntivo de evaporación  $\frac{U.C.}{E.V.}$  con el porcentaje  
acumulado del ciclo vegetativo



Cuadro 5a

HUMEDAD APROVECHABLE EXPRESADA EN mm., EN FORMA ACUMULATIVA  
A 5 PROFUNDIDADES DE LA LOCALIDAD DE SAN JOAQUIN DEL MONTE, MEXICO.

## B l o q u e s

Ha	I	II	III	$\Sigma$	$\bar{X}$
1	186.00	173.90	176.20	136.10	178.70
2	216.60	227.20	217.80	661.60	220.50
3	208.00	223.60	215.50	647.10	215.70
4	183.80	196.40	150.00	530.20	176.70
5	195.85	197.80	187.10	580.75	193.58
6	180.30	186.40	193.90	560.60	186.86
7	187.50	194.10	191.90	573.50	191.16
8	182.10	198.30	204.40	581.80	193.93
9	201.40	173.00	184.50	558.90	186.30
10	196.70	235.80	234.90	667.40	222.46
11	153.70	139.20	150.20	443.10	147.70
12	158.20	176.80	158.40	493.40	164.46
13	163.20	176.90	156.60	496.70	165.65
14	153.50	160.70	167.10	481.30	160.43
15	131.10	164.10	149.00	444.20	148.06
16	167.20	162.00	176.30	505.50	168.50
17	151.60	153.60	178.40	483.60	161.20
18	150.40	148.10	156.90	455.40	151.80
19	146.70	157.00	138.80	442.50	147.50
20	137.80	148.10	143.70	429.60	143.20
21	141.50	141.30	142.50	425.30	141.76
$\Sigma$	3593.15	3731.30	3674.10		
$\bar{X}$	171.10	177.68	174.95		

$$\bar{\Sigma} 10\ 998.55$$

Cuadro 6 a

**HUMEDAD APROVECHABLE EXPRESADA EN mm., EN FORMA ACUMULATIVA  
A 5 PROFUNDIDADES DE LA LOCALIDAD DE LA TRINIDAD, MEXICO.**

## B l o q u e s

Ha	I	II	III	$\Sigma$	$\bar{X}$
1	194.20	211.50	203.90	609.60	203.20
2	212.50	208.60	231.50	652.60	217.50
3	202.70	197.80	157.30	587.80	195.90
4	152.40	204.30	201.90	588.60	196.20
5	171.50	202.10	188.00	561.60	187.20
6	157.90	171.70	162.60	492.20	164.00
7	204.10	194.60	167.00	565.70	188.50
8	183.10	168.60	165.00	516.70	172.20
9	166.30	159.20	161.00	486.50	162.10
10	144.00	157.10	161.60	462.30	154.20
11	140.10	142.30	141.00	423.40	141.10
12	156.10	160.10	152.40	468.60	156.20
13	160.10	156.10	157.00	473.20	157.70
14	146.80	151.40	153.40	452.10	150.70
15	145.40	139.40	150.80	435.60	145.20
16	157.40	145.40	152.30	455.10	151.70
17	142.20	149.90	139.10	431.20	143.70
18	157.20	142.30	144.90	444.40	148.10
19	140.70	143.90	135.20	419.80	139.90
20	169.80	138.80	146.20	454.80	151.60
21	136.00	133.10	136.00	405.10	135.00
$\Sigma$	3470.50	3470.20	3438.60	10387.30	496.6
$\bar{X}$	165.20	165.60	163.70		164.8

Cuadro 7a

**HUMEDAD APROVECHABLE EXPRESADA EN mm. EN FORMA ACUMULATIVA  
A 5 PROFUNDIDADES DE LA LOCALIDAD DE YONDECEE DEL CEDRO, MEXICO**

## Bloques

Ha	I	II	III	$\Sigma$	$\bar{X}$
1	202.50	196.80	186.30	595.60	195.20
2	194.40	202.20	195.00	591.60	197.20
3	198.80	229.20	204.10	632.10	210.70
4	184.40	199.80	201.60	585.80	195.20
5	196.50	183.30	190.60	570.40	190.10
6	156.70	169.30	151.90	477.90	159.30
7	156.40	177.80	189.70	553.90	184.60
8	160.10	163.60	186.90	509.60	169.80
9	157.90	176.80	192.60	527.30	175.70
10	148.90	141.70	160.80	451.40	150.40
11	144.30	161.50	167.10	472.90	157.60
12	170.20	173.10	173.30	416.60	172.20
13	178.80	179.50	169.10	527.40	175.80
14	160.40	159.90	171.40	591.70	163.90
15	158.20	163.60	166.00	487.80	162.60
16	166.30	166.60	196.50	502.40	167.40
17	157.50	165.10	160.60	483.20	161.00
18	155.20	148.00	186.80	490.00	163.30
19	161.30	150.60	150.80	462.70	154.20
20	151.40	153.70	162.80	467.90	155.90
21	148.70	183.90	156.60	489.20	163.00
$\Sigma$	34538.90	3646.00	3692.50	10877.40	172.60
$\bar{X}$	167.50	173.60	175.80		