



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO**
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN



**“DETERMINACION DE LA NECESIDAD DE RIEGO,
EN 10 CULTIVOS MEDIANTE EL USO CONSUNTIVO
EN ZUMPANGO, EDO. DE MEX.”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO AGRICOLA
P R E S E N T A N :

JOSE MARTINIANO CHOREÑO TAPIA
FABIOLA DANYA PICHARDO RUIZ

ASESOR: ING. SALVADOR DEL CASTILLO RABADAN

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEXICO

1995

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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES-CUAUTITLÁN



DEPARTAMENTO DE
EXÁMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JAIME KELLER TORRES
DIRECTOR DE LA FEB-CUAUTITLÁN
P R E S E N T E .

AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS TITULADA:

"Determinación de la necesidad de riego, en 10 cultivos mediante el uso
consultivo en Zumpango, Estado de México".

que presenta el pasante José Martiniano Choroño Tapia
con número de cuenta: 8950241-8 para obtener el TÍTULO de:
Ingeniero Agrícola.

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXÁMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 20 de Octubre de 1995

PRESIDENTE Ing. Vicente Silva Carrillo

VOCAL Ing. Gustavo Ramírez Ballesteros

SECRETARIO Ing. Salvador C. del Castillo Rebadán

PRIMER SUPLENTE Ing. Felipe Solís Torres

SEGUNDO SUPLENTE Ing. Miguel Bayardo Parra

UAE/DEP/VAP/01

FALLA DE ORIGEN



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLÁN



DEPARTAMENTO DE
EXÁMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JAIME KELLER TORRES
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLÁN
PRESENTE.

AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS TITULADA:

"Determinación de la necesidad de riego, en 10 cultivos mediante el uso consecutivo en Zumpango, Estado de México".

que presenta la pasante: Fabiola Danya Pichardo Ruiz
con número de cuentas: 8601784-B para obtener el TÍTULO de:
Ingeniera Agrícola.

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXÁMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE.

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 20 de Octubre de 1995

PRESIDENTE	Ing. Vicente Silva Carrillo	
VOCAL	Ing. Gustavo Ramírez Ballesteros	
SECRETARIO	Ing. Salvador G. del Castillo Rabada	
PRIMER SUPLENTE	Ing. Felipe Solís Torres	
SEGUNDO SUPLENTE	Ing. Miguel Bayardo Parra	

UAE/DEP/VAP/02

FALLA DE ORIGEN

AGRADECIMIENTOS

A la UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO por la oportunidad brindada de estudiar en ésta "Máxima Casa de Estudios" cuyo orgullo de pertenecer a ella siempre llevaré en alto.

A la FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN y en especial a la Carrera de Ingeniería Agrícola por la formación académica recibida.

A los Ing. Vicente Silva C., Gustavo R. Ballesteros, Miguel Bayardo P., y Felipe Solís T. por sus sugerencias y aportaciones a este trabajo.

Al Ing. Salvador del Castillo Rabadán, con admiración, amistad y profundo agradecimiento en la dirección del presente estudio.

Al Lic. Ezequiel Rosales, al M.C Ernesto Abraham y a la Lic. Laura Alonso del sistema BANRURAL por su amistad y apoyo recibidos.

Al Distrito de Desarrollo Rural (SARH), Zumpango, Edo. de Méx. en especial al Ing. Asberto Mastache Pérez, Jefe del Departamento de Irrigación y Enlace Agrícola por las facilidades brindadas durante la realización del mismo.

A la Directiva de cada una de las Unidades de Riego, así como a los productores de las mismas.

GRACIAS

DEDICATORIA

A Dios por haberme permitido realizar una meta más en mi vida y poner en mi camino gente que ha contribuido en mi desarrollo personal.

A mis padres Matilde Tapia Valencia y a la memoria de mi padre Martiniano Choreño Bonilla. Dedico la presente como una muestra de mi más profundo agradecimiento y sincero reconocimiento por su apoyo y por haber sembrado en mí esa semilla de aliento hacia el estudio, que a base de sacrificios han cultivado durante años.

A mis hermanos porque de cualquier manera este logro ha sido parte de ellos.

A mi sobrina Paloma a quien quiero mucho y que espero que en un futuro, le sirva como estímulo en su vida profesional.

A la 14va. generación de Ingeniería Agrícola.

A la memoria del Ing. Jaime Murillo Boites.

José M. Choreño

DEDICATORIA

A Dios por ser lo más importante en mi vida.

A mis padres Demetrio y Esther, porque han sido mi mayor estímulo y por el inapreciable cariño, comprensión y apoyo que me han brindado a lo largo de la vida. Gracias a ellos he logrado un paso más en mi camino.

A mi hermana Mayi con todo mi cariño por su apoyo incondicional y por los formidables momentos que pasamos juntas.

A la memoria de mis abuelitos Ernesto y Luz a los cuales quiero mucho y siempre llevaré en mi memoria.

A mis amigos: Bertha, Juan, Sabino, Elisa, Felipe, Beatriz, Magda y muy especialmente a José Choreño por los agradables e inolvidables momentos compartidos a lo largo de la carrera y a la 14va. generación de Ingeniería Agrícola.

A la memoria del Ing. Jaime Murillo Boites.

Fabiola Danya

INDICE

	Página
i Resumen	1
I. Introducción	3
A. Objetivos	5
II. Revisión de Literatura	6
2.1 Antecedentes del Uso Consuntivo.....	6
2.2 Métodos para determinar el volumen de U.C.....	12
2.2.1 Métodos para estimar el U.C.....	14
2.3 Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera.....	24
2.3.1 El sistema agua - suelo	24
2.3.1.1 Clases de agua en el suelo.....	28
2.3.1.2 Disponibilidad de agua con relación a los vegetales.....	29
2.3.1.3 Parámetros de humedad en el suelo.....	30
2.3.2 El sistema agua-suelo-planta.....	35
2.3.2.1 Tipo de absorción del agua por la raíz.....	36
2.3.2.2 Extracción de humedad por la planta a dif. profund..	37
2.3.2.3 Transpiración.....	38
2.3.2.4 Evaporación.....	39
2.4 Precipitación.....	40
2.4.1 Precipitación Efectiva.....	40
2.5 Factores que intervienen en la Aplicación del U.C.....	44
2.5.1 U.C por la planta durante su desarrollo.....	44
2.5.2 Periodo crítico.....	49
2.5.3 Niveles de humedad para el cultivo.....	50
2.5.4 Eficiencia.....	52
2.6 Cuándo Regar.....	53
2.6.1 Método directo.....	53
2.6.2 Método indirecto.....	53
2.6.3 Intervalo de Riego.....	56
2.7 Sistemas de Riego.....	58
2.8 Importancia de la Aplicación Racional del Agua.....	67
2.9 Descripción del Area de Estudio.....	70
2.9.1 Localización.....	70

	Página
2.9.2 Superficie estudiada y uso del suelo.....	70
2.9.3 Climatología.....	72
2.9.4 Hidrología.....	75
2.9.5 Geología.....	75
2.9.6 Tipos de suelo.....	76
2.9.7 Agricultura.....	76
2.9.8 Aspectos socioeconómicos.....	79
2.9.9 Tenencia de la tierra.....	81
III. Materiales y Métodos.....	84
3.1 Método de Blaney y Criddle.....	84
3.2 Método de Grassi y Christiansen.....	86
3.3 Intervalo de Riego.....	87
IV. Discusión y Resultados.....	91
4.1 Relación U.C, Curva de Grassi, Intervalos de Riego y Climadiagrama..	91
4.2 U.C de Maíz, alfalfa, maíz forrajero, avena de inv., cebada, trigo, frijol, zanahoria, tomate de cáscara y calabacita.....	98
4.3 Representación del U.C en el climadiagrama por cultivo.....	108
4.4 Coeficientes de Desarrollo para cada cultivo.....	118
4.5 Programación de Riegos por el Método Gráfico para cada cultivo.....	123
4.6 Láminas de Riego.....	130
4.7 Volumen Neto Total por Cultivo.....	133
4.8 Tiempo de Riego por Cultivo.....	140
4.9 Calendario de Riegos y de Cultivos.....	142
V. Conclusiones.....	147
VI. Bibliografía.....	148
Anexos.....	151

INDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Diferentes autores y factores para la estimación del U.C.....	17
Cuadro 2. Métodos indirectos basados en datos climatológicos.....	18
Cuadro 3. Porciento de arena, limo y arcilla.....	24
Cuadro 4. Clasificación de diversos grupos de partículas minerales.....	26
Cuadro 5. Contenido de humedad a C.C y PMP para diferentes texturas.....	33
Cuadro 6. Atmósferas de presión según el agua aprovechable.....	34
Cuadro 7. Contenido hídrico de diversas estructuras vegetales.....	35
Cuadro 8. Profundidad de enraizamiento de algunas especies vegetales.....	37
Cuadro 9. Coeficiente de lluvia efectiva según Blaney y Criddle.....	41
Cuadro 10. Factores de corrección de la capacidad de almacenamiento del s.	42
Cuadro 11. Lluvia efectiva mensual método FAO.....	43
Cuadro 12. Periodos críticos de diferentes cultivos.....	49
Cuadro 13. Guía de la humedad aprovechable extraída del terreno.....	54
Cuadro 14. Comparación de volúmenes utilizados según sistema de riego.....	66
Cuadro 15. Clasificación del riego de acuerdo a las necesidades del país..	68
Cuadro 16. Fórmula climática de la zona de Zumpango.....	73
Cuadro 17. Datos climatológicos de Zumpango.....	74
Cuadro 18. Producción agrícola de Zumpango.....	78
Cuadro 19. Población ocupada por sector.....	80
Cuadro 20. Ejidos por comunidad.....	81
Cuadro 21. Distribución del riego en el Mpio. de Zumpango.....	82
Cuadro 22. Distribución del riego continuación.....	83
Cuadro 23. Datos utilizados para la aplicación de las láminas de riego....	131
Cuadro 24. Volumen neto total empleado por los cultivos.....	135
Cuadro 25. Volumen neto por cultivo y por riego.....	136
Cuadro 26. Tiempo de riego por cultivo.....	141
Cuadro 27. Unidades de riego que comprenden el área de estudio.....	146
Cuadro 28. Porcentajes de horas luz para cada mes del año.....	151
Cuadro 29. T°C medias mensuales para usarse en la fórmula de Blaney y C...	152
Cuadro 30. Coeficientes periódicos (K) propuestos por Grassi y Christian..	153
Cuadro 31. Coeficientes globales de U.C para diferentes cultivos.....	154

INDICE DE FIGURAS

Página

Figura 1. Triángulo de texturas en relación a su lámina aprovechable.....	25
Figura 2. Tipos de estructura en el suelo y su penetración del agua.....	27
Figura 3. Disponibilidad del agua con relación a los vegetales.....	30
Figura 4. Absorción de humedad por la raíz a diferentes profundidades.....	38
Figura 5. Principales fases fenológicas de algunos cultivos.....	46
Figura 6. Curvas de suministro de humedad en tres capas de suelo.....	51
Figura 7. Métodos directos para medir la humedad del suelo.....	55
Figura 8. Algunos métodos de riego.....	60
Croquis 1. Localización del área de estudio.....	71

1. RESUMEN

Desde hace varios años la atención del mundo entero se ha dirigido al estudio y conservación del agua en todos los sectores. El sector agrícola es la actividad que consume mayor cantidad de agua ya que la peculiaridad del clima en México hace del riego prácticamente indispensable en gran parte de los terrenos agrícolas. Sin embargo, en la actualidad el uso acelerado de este recurso a originado una sobre explotación del mismo.

Esto obliga a emplear métodos o técnicas que ayuden a tener un mejor aprovechamiento del agua, como es el caso del método de uso consuntivo (U.C) mediante el cual, se determina la lámina total empleada por el cultivo durante todo su ciclo, que incluye el agua evaporada, transpirada y el agua para la formación de tejidos.

Para determinar el uso consuntivo se emplean dos métodos: directos e indirectos. Lamentablemente para estimar los requerimientos de agua por los cultivos de manera directa se debe contar con instrumental generalmente difícil de obtener, por razones económicas, de operación y de tiempo disponible; por lo que en la mayoría de los casos se estiman consumos de agua a base de métodos indirectos que se basan principalmente en condiciones climáticas que se registran en la estación meteorológica del lugar, por mínimas que sean.

El presente trabajo se llevo a cabo en el Mpio. de Zumpango, Edo. de Méx. empleando el método indirecto propuesto por los investigadores, H.F. Blaney y W.D. Criddle para obtener los U.C globales de los siguientes cultivos: Alfalfa, avena de invierno, trigo, cebada, frijol, maíz de grano, forrajero, calabacita, zanahoria y tomate de cáscara.

Dicho método empírico, específico es uno de los más utilizados debido a la accesibilidad de los datos que se requieren para su uso, y porque son de los más usuales en la mayoría de las estaciones meteorológicas. Este método se basa tomando en cuenta factores atmosféricos como la temperatura y la luminosidad.

Para determinar el uso consuntivo mensual se utilizó el método propuesto por los investigadores Grassi y Christiansen que relaciona los coeficientes de crecimiento a través del porcentaje de ciclo vegetativo.

A partir del uso consuntivo y como una forma de suministrar el agua al cultivo en base a sus necesidades, se realizó un programa de riego para lo cual se determinaron: Láminas, intervalos y número de riegos.

Por lo anterior se concluye, que las necesidades de riego en cualquier cultivo se pueden determinar mediante la utilización de un método indirecto de uso consuntivo, principalmente en zonas agrícolas cuyos datos climatológicos sean muy limitados; además, a partir del uso consuntivo de un cultivo y relacionándolo con sus coeficientes de crecimiento y su porcentaje de ciclo vegetativo, se puede determinar ésta necesidad de agua en cada fase fenológica o etapa de desarrollo; lo anterior es de gran importancia puesto que a partir de conocer el consumo individual de agua de cada cultivo permitirá la planeación de los mismos donde se quieran implantar así como el sistema de riego a utilizar y su operación posterior tomando en cuenta el agua de que se dispone. Lo anterior evita riesgos durante el desarrollo del cultivo principalmente durante su período crítico.

I. INTRODUCCION

La evaluación de la agricultura en México, ha sido frenada por diversos factores dentro de los cuales el principal es atribuido a la disponibilidad del agua para riego.

La agricultura es la actividad que consume la mayor cantidad de agua, tanto de origen subterráneo como superficial. En las regiones áridas y semiáridas las aguas subterráneas son la única posibilidad para hacer agricultura, así como en las zonas donde el temporal no es suficiente para cubrir las necesidades del cultivo, el empleo con estas aguas es utilizado como riego complementario.

De acuerdo a la necesidad de agua la República Mexicana se divide de la siguiente manera:

De las 196.4 mill. de has que cuenta el territorio solamente 24 son útiles para el desarrollo de la agricultura, 70 mill. de has son de agostaderos y 21.96 mill. de has de pastizales, el resto está comprendido por montañas, bosques y desiertos. De las 24 has cultivables 8 abastecen su agricultura con aguas superficiales y en mayor cantidad con aguas subterráneas, 4 mill. de has aunque cuentan con agua de lluvia necesitan complementar sus requerimientos con aguas subterráneas, 9 mill. de has son de temporal y los 3 mill. de has restantes tienen que ser rescatadas por exceso de humedad. (SARH, 1975)

Como se puede ver la peculiaridad del clima en México hacen del riego prácticamente indispensable en gran parte de los terrenos agrícolas.

Sin embargo el uso acelerado de las aguas subterráneas a originado una sobre explotación de este recurso, en algunas zonas por el desarrollo de la agricultura de exportación y en otras por la falta de planeación, en el uso de este recurso, misma que en algunos de los casos se ha venido superando por los Distritos de Desarrollo Rural (D.D.R). En el caso particular del Mpio. de Zumpango, Edo. de Méx. parte de su superficie agrícola se abastece con la utilización de aguas subterráneas extraídas por 9 pozos profundos, en el área de estudio y que en los últimos años se ha detectado una disminución en los niveles

de extracción, para lo cual fue necesario realizar un programa de rehabilitación de los cuales sólo 7 permanecieron activos y 2 de ellos se abatieron mismos que en la actualidad utilizan aguas residuales, (aguas negras).

Como se puede ver no solamente es importante la utilización de técnicas que ayuden a atenuar la pérdida excesiva de agua sino también cuantificar su grado de agotamiento en el suelo y en la planta, la cual se puede determinar por el uso consuntivo que se define como el volumen de agua consumido por un cultivo en su función de transpiración de formación de tejidos y del agua evaporada del suelo donde se encuentra, ya que el consumo individual de los cultivos a implantar permitirá la planeación del sistema de riego así como su operación posterior.

A. OBJETIVOS

- Determinar el volumen total de agua demandado por los cultivos durante su desarrollo, mediante el cálculo de uso consumtivo por el método de Blaney y Criddle.
- Realizar un programa de riego a partir del volumen total demandado por el cultivo, dependiendo de la necesidad de agua, requerida durante su ciclo de desarrollo.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1 Antecedentes del Uso Consuntivo

Durante varios años, se han llevado a cabo diversos estudios en los cuales se trata de relacionar numerosos factores, que ayuden a estimar cual es la cantidad de agua necesaria para que la planta realice sus funciones. En un principio se procedió mediante experimentos manejados en forma estadística en los cuales se pudo determinar las láminas de riego netas para diferentes cultivos de una región, así como el número de riegos y la época de aplicación de éstos.

Este procedimiento es evidentemente de un gran valor práctico porque involucra factores como: suelo, clima, cultivo, agua y tecnología aplicada al cultivo. A continuación se citan algunos de estos trabajos.

. Pruitt, (1907). Empleo el método de lisímetros o tanques para la determinación del uso consuntivo por medio de pesadas sucesivas. Actualmente este lisímetro se tiene como base para calibrar otros. El lisímetro consiste en un tanque de 6 m. de diámetro y 95 cm. de profundidad, que emplea 45 ton. de suelo con un mecanismo de relojería que puede registrar 0.015 cm. de lámina de agua consumida o evapotranspirada. El tanque es de plástico con tubos en la parte inferior para el abastecimiento de agua con una capa de arena y sembrada de Rye - Grass.

. Wiltsoe, (1912). Fue el primero en medir el consumo de agua por las plantas en parcelas experimentales. Los rendimientos fueron comparados con el agua utilizada. En casi todos los cultivos donde se llevó a cabo dicho experimento, presentaron mayores rendimientos, hasta un punto donde después de agregar agua decayeron éstos.

. Briggs et al, (1916). Estudiaron el efecto de la transpiración en varias plantas, encontrando una relación entre el fenómeno del agua, la radiación solar, la temperatura del aire y las lecturas en los termómetros de bulbo húmedo.

. Livingsstone, (1920). Desarrolló las primeras ideas sobre el atmómetro-

Junto con Thorne. Dichos instrumentos eran de cualquier forma y servían para medir o estimar, la intensidad de evaporación. Su funcionamiento consiste en una esfera porosa de cerámica que tiene un vástago barnizado del mismo material, que se introduce dentro de un recipiente graduado que contiene agua. Al recibir la radiación de la atmósfera, se produce una evaporación en la superficie de la esfera que ocasiona una succión en el depósito graduado en el que se mide el agua evaporada.

. Hedke, (1924). Propuso una de las primeras fórmulas empíricas para el cálculo de la evapotranspiración, por medio de la cual se estima el uso consuntivo, a través del análisis de las unidades de calor para los cultivos en una región específica.

Dedujo que existe una relación lineal entre la cantidad de agua consumida y la cantidad de calor disponible:

$$U.C = KH \quad \text{donde:}$$

U.C = Uso consuntivo en mm. para un período de tiempo considerado.

K = Constante que depende del cultivo.

H = Calor disponible en °C.

Esta fórmula tuvo como inconveniente la estimación de la humedad, ya que se basó principalmente en hipótesis además de que el valor de "K", debe elegirse con cierto criterio y experiencia, ya que sólo se tenían datos muy limitados para ésta. Dicha fórmula sólo se emplea para uso consuntivo anual o estacionales y para la zona donde se realizó el experimento, en el Valle de Mezquital, Nuevo México.

. Blaney, (1927). Junto con otros colaboradores fueron los comisionados para evaluar el uso consuntivo de varias plantas, de distintos Estados del Suroeste de Estados Unidos.

. Field, (1930). Fue el primero en emplear el término de uso consuntivo del agua, en Estados Unidos de América, atrayendo la atención de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles, comisionando a un grupo de sus miembros para que estudiaran éste aspecto del aprovechamiento de las aguas.

. Morin et al, (1940). Propusieron fórmulas empíricas para calcular la -

evaporación y el uso consuntivo, siempre y cuando se dispusiera de datos de evaporación, temperatura y humedad. Sin embargo en 1946, Blaney y Ewing, modificaron dicho método para que pudiera estimarse el uso consuntivo en regiones donde no se contara con datos de la humedad. Estos resultados no son 100% confiables por lo antes mencionado.

. Hargreaves, (1947). Propuso el uso de tanques de evaporación standar tipo A, para relacionar los registros de evaporación con el uso consuntivo.

. Penman, (1947). Realizó estudios con tanques de evaporación tipo A, para latitudes de 50°, obteniendo relaciones entre la evapotranspiración (Et) y la evaporación (E), para varias épocas del año. A partir de esto, se realizaron innumerables estudios, que permitían obtener coeficientes para estimar la evapotranspiración potencial y el uso consuntivo real en función de la evaporación de una superficie libre de agua, correlacionando diferentes periodos de ciclo vegetativo y cultivos.

. Lauges, (1948). Llevo a cabo una de las investigaciones más detalladas que se hicieron sobre el consumo de agua por las plantas, en Inglaterra.

. Thorthwaite, (1948). Modifico una fórmula que ya había realizado con anterioridad, para el cálculo de la evapotranspiración potencial, la fórmula que él propuso es la siguiente:

$$E_p = 1.6 \left(\frac{10 T}{I} \right)^a$$

$$I = \sum_{1}^{12} i = \sum_{1}^{12} \left(\frac{T}{5} \right)^{1.514} \quad \text{donde:}$$

E_p = Evapotranspiración potencial mensual, en milímetros de lámina de agua.

T = Temperatura media mensual, en °C.

I = Suma de todas las eficiencias mensuales de T° a través del año, (número)

$i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1.514}$, número.

a = Es función de índice de eficiencia anual de la temperatura, (número), su valor es el siguiente:

$$a = 6.57 (10^{-7}) T^3 - 7.11 (10^{-5}) T^2 + 0.49239$$

Debe tomarse en cuenta que la evapotranspiración va de acuerdo con la la-

titud del lugar y las horas luz diaria mensual promedio, para cada mes del año

La ventaja principal de esta fórmula es que se obtienen valores aproximados de la evapotranspiración potencial, tomando en cuenta sólo la temperatura por ello es utilizada para estudios especiales sobre requerimientos de agua a nivel continental o mundial siendo una fórmula de inestimable valor teórico y práctico.

Entre sus desventajas, es que el único factor que interviene para el cálculo de la E_p , es la temperatura mensual.

Blaney et al, (1950). Encontraron una ecuación en la que relacionaban varios factores, sin tomar en cuenta la humedad. La fórmula queda expresada de la siguiente manera:

$$U.C = K \cdot F \quad \text{donde:}$$

U.C = Uso consuntivo total en mm.

K = Coeficiente que depende del cultivo (coef. global).

F = Factor de temperatura y luminosidad.

El factor de luminosidad y temperatura para el período esperado se calcula con la siguiente ecuación:

$$F = \sum f \quad \text{en donde:}$$

f = Son los factores de luminosidad y temperatura para el período estimado, expresados en centímetros de lámina de agua.

En la mayoría de las determinaciones del uso consuntivo, se consideran períodos de un mes, por lo que las f serán mensuales.

Entre las ventajas de este método se encuentran las siguientes:

Esta fórmula es más simple que la obtenida por otros investigadores, ya que Blaney y Criddle propusieron este método empírico específico, tomando en cuenta factores atmosféricos como la temperatura y la luminosidad y factores relacionados, con el cultivo, como los coeficientes de desarrollo relativos al ciclo vegetativo de las plantas. Se emplea este método, principalmente debido a la accesibilidad de los datos que se requieren para el cálculo del uso consuntivo.

. Penman. (1950). En Inglaterra, Penman, realizó una serie de estudios en Rothamsted, en la cual obtuvo una fórmula para el cálculo de la evaporación de una superficie libre de agua, combinando el balance, de la radiación solar y - la ecuación aerodinámica.

La fórmula de Penman es la que más elementos retoma, para su cálculo, es muy compleja, pero por lo mismo es la más aproximada que se conoce para el cálculo, de la evapotranspiración utilizada principalmente para zonas templadas.- Sin embargo es de difícil aplicación por la falta de aparatos de precisión con que debieran estar equipados las estaciones meteorológicas.

. Thornthwaite et al, (1954). Propusieron que la intensidad de la transpiración se resume a una función continua y decreciente de la reducción del contenido de humedad del suelo.

. Hansen, (1963). Propuso la curva única de uso consuntivo, para varios - cultivos agrícolas principales. Con dicha curva se puede conocer la evapotranspiración del cultivo en cualquier época o edad del mismo, mediante la siguiente expresión:

$$U.C = (k) (E_v) \quad \text{donde:}$$

U.C = Uso consuntivo en cualquier época de desarrollo del cultivo, en cm.

K = Valor de k de la gráfica de Hansen.

E_v = Evaporación (datos del observatorio meteorológico).

La curva consiste en ir colocando en el eje de las ordenadas la relación entre el uso consuntivo y la evaporación, en las distintas etapas de desarrollo del cultivo (germinación, desarrollo vegetativo, floración y fructificación) y en el eje de las abscisas el porcentaje del ciclo vegetativo. La expresión es la siguiente:

$$K = \frac{U.C}{E} \quad \text{en donde:}$$

K = Constante que depende del cultivo (diferente de la K de la de Blaney y - Criddle).

U.C= Uso consuntivo

E = Evaporación

. Grassi-Christiansen, (1964). Dichos investigadores encontraron una fórmula en función de la evapotranspiración real o actual:

$$ET = Ep \cdot C_{cv} \cdot F \text{ donde:}$$

- Et = Evapotranspiración real o actual en mm/día
Ep = Evapotranspiración potencial en mm/día
C_{cv} = Coeficiente de duración del ciclo vegetativo
F = Factor del cultivo

La evapotranspiración potencial se define como: Aquella que se presenta en superficies total y permanentemente cubiertas de vegetación y suficientemente grandes para que el efecto de los vientos no cause desequilibrios bruscos en la humedad relativa y en la temperatura de las masas de aire que se encuentran directamente en contacto con ellas.

. Palacios, (1967). Desarrollo trabajos en el Distrito de Riego No. 38 - "río Mayo, Son." y encontro valores del coeficiente k, para diversos cultivos agrícolas, según su porcentaje de desarrollo, mediante la evapotranspiración óptima. La expresión de evapotranspiración óptima (Et_o) se define como la cantidad de agua que utiliza un cultivo para obtener el rendimiento económicamente óptimo.

. Instituto Experimental Agronómico, Italia, (1981-1990). Durante este período se realizaron experimentos para comparar los diferentes métodos empíricos para el cálculo del uso consuntivo en el Suroeste de Italia para diferentes cultivos. Resultando que el mejor y el más entendible es el de Blaney y Criddle modificado por Penman y la FAO.

. Colegio de Postgraduados, (1992). En la actualidad el método de uso consuntivo, se esta utilizando, tanto en zonas áridas como tropicales, tal es el caso de la caña de azúcar en Veracruz, cuyo uso consuntivo fue tomado como referencia para la construcción e instalación de un sistema de drenes y desagües entubados.

. Universidad de California, (1994). Aplicación y evaluación del uso consuntivo (Blaney y Criddle) en Medicago sativa, en California en un clima árido y semiárido para determinar el calendario de los riegos y su eficiencia.

2.2 Métodos para Determinar el Volumen de Uso Consuntivo

Para corregir las deficiencias en la cantidad y en la distribución de la precipitación pluvial se utiliza el riego, la necesidad del riego depende de varios factores como son: profundidad del sistema radicular de cada cultivo, forma del sistema de raíces y textura del suelo en relación con su capacidad de retención de la humedad.

El término de uso consuntivo se refiere al volumen de agua consumida por un cultivo en su función de transpiración, en su función de formación de tejidos y la evaporada desde el suelo donde vive el mencionado cultivo, entonces:

Uso Consuntivo = Agua de transpiración + agua de formación de tejidos + agua evaporada del suelo, de las hojas y tallos del vegetal.

Uso consuntivo (U.C), se ha considerado casi como sinónimo de Evapotranspiración (ET), la diferencia que existe entre estos dos términos es que en la E.T no se incluye el consumo de agua de formación de tejidos, pero este consumo es tan pequeño en comparación con la transpiración y la evaporación que por lo tanto se desprecia (no excede del 1% del total).

Se debe considerar que el U.C es un volumen de agua que consumen las plantas durante su ciclo vegetativo, que no debe ser considerado como un volumen fijo de agua consumida, porque depende de varios factores como son:

- a) El suelo (textura, salinidad, fertilidad, profundidad)
- b) El cultivo (especie, variedad, fase de desarrollo, ciclo vegetativo, fisiología)
- c) El agua (cantidad, disponibilidad, eficiencia de aplicación, prácticas de riego)
- d) El clima (temperatura, fotoperíodo, calor aprovechable, precipitación, viento, nubosidad, etc)

Los factores antes mencionados influyen conjuntamente para determinar el uso consuntivo, a continuación se explica brevemente dicha interacción:

Respecto al factor lluvia, puede ser determinante el U.C de un cultivo -

porque éste variara según la intensidad y la duración de la precipitación. Una lluvia ligera y de poca duración sólo humedece la superficie del suelo y esta humedad se evapora fácilmente sin que el cultivo la aproveche, por otra parte una lluvia de gran intensidad y larga duración podrá causar, dependiendo de la topografía del terreno, una inundación o una erosión por escurrimiento perjudicando al cultivo y modificando el U.C. La lluvia se aprovecha cuando proporciona una lámina mayor o igual a 2 cm (1").

Probablemente el factor que más influye en el U.C es la temperatura, ya que cuando es baja disminuye el ritmo de funcionamiento fisiológico de las plantas y además provoca el déficit de presión de difusión de la humedad atmosférica ocasionando, una disminución en el uso consuntivo, la situación contraria se presenta cuando la temperatura es alta.

Entre dos especies con diferente área foliar, tendrá un U.C mayor, la que tenga mayor área foliar. Entre variedades iguales sujetas a diferente luminosidad, a igualdad de las demás condiciones tendrá mayor U.C la variedad que disponga de mayor luminosidad.

La etapa de desarrollo del cultivo influye en el U.C porque en plantas de la misma variedad pero en diferente desarrollo fenológico, tendrá mayor uso consuntivo la de mayor desarrollo.

La humedad relativa del aire está en relación inversa con el uso consuntivo. Así la velocidad del viento está en relación directa con el U.C y la latitud del lugar influye en el U.C según sea la estación del año, por ejemplo en verano los días son más largos en el hemisferio norte y por lo tanto el día cuenta con más horas luz o sea un fotoperíodo de mayor duración que en invierno.

La calidad del agua de riego influye en el U.C debido a que si la concentración de sales es tal que la presión osmótica de la solución del suelo es muy alta, las plantas no podrán extraer los nutrientes ni el agua necesarios para su crecimiento y transpiración. Esto se puede corregir acortando el intervalo de riego o bien, aumentando la lámina entre dos riegos pues de esta manera se disminuye la presión osmótica en la solución del suelo.

La región natural en la cual se establezca el cultivo también influye en

el U.C pues éste, es mayor en zonas con una humedad relativa del aire que sea baja, como en las zonas áridas y con alta temperatura, en comparación con el U.C de zonas templadas y con humedad relativa alta.

A veces se utiliza también para definir el máximo uso consuntivo de un cultivo en una región, el término de evapotranspiración potencial (Ep) que es el volumen de agua por unidad de tiempo que transpira un cultivo de poca altura y de altura uniforme, cuyo follaje cubre totalmente el terreno y éste se encuentra a capacidad de campo, o sea que el cultivo dispone de toda el agua que necesita para su desarrollo óptimo.

2.2.1 Métodos para estimar el uso consuntivo

Los métodos directos se utilizan en zonas donde se tiene una agricultura ya establecida y proporcionan valores de U.C aproximados a la realidad. Entre estos se encuentran: (Palacios, 1979)

- a) Gravimétrico o patrón.
- b) Lisimétrico.
- c) De evapotranspirómetro
- d) De integración.
- e) De entrada y consumo de agua.
- f) Micrometeorológico.

- a) Gravimétrico.

También se le llama a este método como patrón, ya que con el se comparan los demás métodos. Consiste esencialmente en la toma de muestras de suelo de acuerdo con la profundidad radicular del cultivo, a estas muestras se les determina el contenido de humedad en por ciento en base a peso de suelo seco, y a través de todo el ciclo de cultivo de manera que al final de éste se obtiene la variación en el contenido de humedad que va registrando el suelo en promedio de % de humedad del suelo (Ps) diario.

Las muestras se obtienen con barrena Veihsmeier a varias profundidades según la profundidad de las raíces del cultivo. La manera de procesar estas muestras es la siguiente:

1. Las muestras obtenidas en el campo se ponen en botes herméticos para que no pierdan humedad durante el transporte al laboratorio.
2. En el laboratorio se pesan las muestras.
3. Se meten a la estufa a 105°C hasta peso constante.
4. Se sacan de la estufa y se vuelven a pesar.
5. Se aplica la fórmula: $Ps = \frac{Psh - Pss}{Pss} \times 100$ donde:
 Psh: Peso del suelo húmedo (gramos)
 Pss: Peso del suelo seco (gramos)
 Ps : % de humedad del suelo.

Después se aplica otra fórmula con la cual se obtiene la lámina diaria de U.C:

$$d = \frac{D}{100} \quad Pv = \frac{D}{100} \quad W \frac{\%s}{100} \quad \text{entonces:}$$

si : $L = d \quad Da = s \quad Pr = D \quad y \quad Ps = W$ se tiene que:

$$L = d = Pr \times Da \times Ps \quad \text{donde:}$$

L = Lámina de agua consumida diaria promedio.

Ps = % de humedad por peso de la muestra.

Da = Densidad aparente de la muestra de suelo (gramos/cm³)

Pr = Profundidad en metros a la que fue tomada la muestra.

Con la lámina diaria de U.C promedio, se calcula la lámina de U.C total - de cultivo empleando la ecuación:

$$U.C.T = L \quad \text{donde:}$$

U.C.T = Lámina de uso consuntivo total.

Ventajas de este método

- 1) Es de fácil aplicación.
- 2) El equipo requerido es de uso fácil.
- 3) Los resultados son muy aproximados a la realidad.

Desventajas.

- 1) Debido a que requiere de un número grande de muestras, requiere mucha mano-de obra y es caro.

- 2) En zonas con precipitación constante, no se recomienda.
- 3) La obtención de los Ps de las muestras de suelo es tardada, normalmente 24 horas.

b) Lisimétrico.

Este método estima la evapotranspiración potencial por diferencia de pesadas. Para entender que es un lisímetro hay que imaginarse una maceta que - ésta siendo pesada todos los días agregándole un peso de agua necesario para reponer el agua evapotranspirada y llevar de nuevo a la maceta a capacidad de campo. Se clasifican de la siguiente manera:

- a) Agronómicos.
- b) Hidrológicos.
- c) Hidrogeológicos.

Ventajas de este método.

- 1) Da lecturas directas sobre el consumo de agua por el cultivo y los lisímetros más precisos son los de báscula electrónica.
- 2) Permite medir la evapotranspiración en intervalos cortos.
- 3) Permite hacer inferencias sobre la influencia de los factores meteorológicos en el proceso.

Desventajas.

- 1) Es difícil hacer una buena simulación de condiciones naturales dentro del tanque lisimétrico en cuanto a estructura, compactación y profundidad adecuada del suelo, así como de cobertera vegetal y desarrollo de raíces del cultivo.
- 2) Se requiere de personal capacitado y entrenado.
- 3) El costo de un lisímetro es muy elevado.

c) Evapotranspirómetro.

Una variante del método lisimétrico es el evapotranspirómetro que también puede considerarse como una gran maceta pero que no se maneja por pesadas, sino por el método de entradas y salidas de agua y para estimar la evapotranspiración se mide el volumen de agua aplicado a la maceta y el volumen drenado y su diferencia es el volumen de agua consumido por evapotranspira -

ción o sea:

$$E_t = (V_a - V_d) \quad \text{en donde:}$$

E_t = Evapotranspiración

V_a = Volumen aplicado

V_d = Volumen drenado

La precisión del método depende de la precisión con la cual se miden V_a y V_d . Los evapotranspirómetros pueden instalarse en el campo o en el invernadero y siempre serán superficiales y no subterráneos.

Ventajas.

- 1) Las estimaciones de la evapotranspiración son directas.
- 2) Si las medidas de los volúmenes V_a y V_d se hacen con cuidado, este método tiene buena precisión.
- 3) Se pueden hacer mediciones en intervalos cortos.
- 4) Se pueden hacer inferencias sobre la influencia de los factores meteorológicos en el proceso.
- 5) Su costo no es elevado.

Desventajas.

- 1) Es difícil simular las condiciones naturales del suelo, el cultivo y el desarrollo de raíces del cultivo.
- 2) Se requiere de personal capacitado.

Métodos Indirectos.

Los métodos indirectos se pueden clasificar según el cuadro siguiente:

Cuadro 1 . Diferentes autores y factores que usaron para la estimación de la evapotranspiración

Año	Autor	Factores Usados
1928	Hedke	Calor disponible
1942	Lowry y Jhonson	Calor efectivo
1942	Blaney y Morin	Temperatura, hum. Rel., Duración del día.
1948	Thorntwaite	T°, latitud
1950	Blaney y Criddle	T° y Porcentaje de horas luz
1953	Turc	Temperatura y Radiación
1956	Hargreaves	T°, H.R., duración del día
1957	Makkink	T° y radiación

cont. cuadro 1.

Año	Autor	Factores Usados
1963	Jansen y Haise	Radiación Solar
1964	Grassi y Christiansen	T°. radiación, nubosidad
1965	Brutsaert	Evaporación
1966	Hargreaves	T°, altitud, H.R, viento, horas luz
1970	Penman (combinada)	T°, radiación, viento
1971	Hargreaves	T°, radiación, H.R, altitud, velocidad del viento
1972	García y López	T°, H.R

Fuente: Aguilera, 1975.

Los métodos basados en datos climáticos se basan en predicciones en datos esperados y la exactitud de las estimaciones depende fundamentalmente de las ecuaciones que están siendo utilizadas para describir las leyes físicas que gobiernan los procesos y de la confiabilidad de los datos climatológicos y del cultivo. Estos métodos propuestos por diversos investigadores se agrupan de acuerdo a los factores considerados como:

- A) Métodos de radiación
- B) Métodos basados en la T°
- C) Métodos de la Humedad Relativa

Cuadro 2. Métodos Indirectos basados en datos climatológicos

a) Radiación	1. Penman 2. Jensen y Haise
b) Temperatura	1. Hedke 2. Lowry y Jhonson 3. Thornthwaite 4. Blaney y Criddle
c) Humedad Relativa	1. Hargreaves

De dichos métodos sólo se describen a continuación los más utilizados:

A) Estos métodos se sugieren para aquellas regiones donde se dispone de datos de t° , de horas luz, nubosidad o radiación pero no se tienen datos de humedad relativa. La mayor parte de estos métodos son demasiados teóricos ya que han sido reducidos bajo condiciones de regiones muy definidas, los más empleados son:

• Método de Penman.

Efectuó una serie de experimentos en Rothamsted, Inglaterra y dedujo una fórmula que predice la pérdida de agua por evaporación desde una superficie libre de agua. Consiste en 2 términos, el término energía (radiación) y el término aerodinámico (humedad relativa y viento). La importancia relativa de los términos varía según las condiciones climáticas.

• Método de Jensen y Haise.

Evaluaron 3000 observaciones de la evapotranspiración obtenida a través de muestreos de suelos durante más de 35 años principalmente en la parte oeste de los E.U. encontrando una alta correlación entre la relación de evapotranspiración potencial y radiación solar neta recibida por el cultivo. Su fórmula es la siguiente:

$$Etp = (0.0252 T + 0.078) R_s \quad \text{donde:}$$

Etp=Evapotranspiración potencial, mm/día

T =Temperatura, $^{\circ}C$

R_s =Radiación solar neta, mm/día

Posteriormente Jensen (1966) generalizó la ecuación de la manera siguiente:

$$Etp = C_t (T - T_x) R_s \quad \text{donde:}$$

Etp= Evapotranspiración potencial medida en mm/día. Cuando R_s está expresada en mm/día. Cuando R_s está expresada en estas unidades.

C_t = Coeficiente de t° que es constante para un área dada y se deriva a partir de datos a largo plazo de t° máx. y mín. del mes con la t° promedio más alta.

T = Temperatura media diaria, $^{\circ}C$

T_x = Constante que depende del área en estudio y que no es más que la ordenada al origen sobre el eje de las T°

B) Métodos basados en la temperatura. Dentro de este grupo de métodos se pueden citar:

• Método de Hedke.

Dicho investigador obtuvo una de las primeras fórmulas prácticas para calcular la evapotranspiración y es la siguiente:

$$U.C = K H \quad \text{donde}$$

U.C = Uso consuntivo

k = Constante que depende del cultivo

H = Calor disponible, días-grado (es una diferencia de un grado en un día entre la temperatura media diaria y otra de referencia)

Este método esta basado en varias hipótesis en relación con la humedad que debe tener el suelo y las prácticas que se sigan al hacer el cultivo

• Método de Lowry y Johnson.

Consiste en esencia en un procedimiento empírico basado en datos recogidos en la zona en la que se aplica. Se toma como base que existe una relación lineal entre la evapotranspiración y el calor efectivo, definiéndolo como la acumulación en días-grados de las t° máximas sobre un mínimo que se fija en $^{\circ}C$, durante un periodo vegetativo del cultivo.

La relación media que se encontro en función del clima del lugar y del cultivo es:

$$U.C = 0.00008 C_e + 0.28 \quad \text{donde:}$$

U.C = Uso consuntivo, cm

C_e = Calor efectivo en el periodo, en $^{\circ}C$

Este método se aplica a todo un valle y no a pequeñas parcelas y mucho menos para la representación de un país.

• Método de Thornthwaite.

Fórmula determinada en la parte central de los E.U y basada en la t° y en la latitud, determinado que esta última constituye un buen indice de la energía en un lugar específico. Sirve para estimar la evapotranspiración potencial su fórmula es la siguiente:

$i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1.514}$ = Eficiencia mensual de la temperatura

$I = \frac{12}{1} i$ = Eficiencia anual de la temperatura

donde:

t = Temperatura media mensual °C

ET = Evapotranspiración potencial mensual, cm

a = 0.00000675 I³ - 0.0000771 I³ + 0.49239

Por lo que la fórmula queda de la siguiente manera: $ET = \left(\frac{10t^a}{I}\right)$

• Método de Blaney y Criddle

En el año de 1950 dos investigadores, Harry F. Blaney y Wayne D. Criddle tomando en cuenta datos climáticos como el porcentaje de horas luz mensuales, con respecto al porcentaje anual y también la temperatura media mensual, desarrollaron un método para estimar el uso consuntivo total de los distintos cultivos. Dicho método se describe a continuación:

$U.C = k \cdot F$ donde :

U.C = Uso consuntivo de un cultivo dado.

K = Coeficiente de uso consuntivo total que depende de la zona y de la época del año.

F = Factor térmico y de luminosidad (total del ciclo)

$$F = \sum_{i=1}^n f \text{ donde}$$

n = Número de meses del ciclo vegetativo

f = Factor térmico y de luminosidad mensual que se interpreta de la siguiente manera:

$$f = p \left(\frac{t + 17.8}{21.8} \right) \text{ donde:}$$

t = Temperatura media mensual °C

p = Porcentaje de horas luz del mes con respecto al porcentaje total anual, según la latitud del lugar.

Esta misma fórmula de Blaney y Criddle, modificada incluye los coeficientes Kc y Kt, se expresa de la manera siguiente:

$$U.C = kt . kc . f \quad \text{donde:}$$

U.C = Uso consuntivo mensual.

Kt = Coeficiente térmico = $(0.03114 t) + (0.2396 \text{ en } ^\circ\text{C})$

Kc = Coeficiente de desarrollo (se consulta en gráficas)

t° = Temperatura media mensual °C

f = Factor de temperatura y luminosidad

También es posible utilizando las gráficas de coeficientes de desarrollo, estimar los usos consuntivos del agua de períodos mensuales y no sólo el total del ciclo.

• Método racional para estimación del uso consuntivo (Curva Unica de Hansen)

Mediante este método se reconocen varias etapas del ciclo del cultivo como son la etapa de crecimiento, floración y fructificación, que tienen necesidades hídricas diferentes. Estas necesidades se conjugan en una curva única y el factor climático f se substituye por el dato de evaporación en tanque. Se obtiene de la siguiente manera el U.C:

1) Al igual que el método general de Blaney y Criddle, se obtiene el factor f que es producto de P (porcentaje teórico de iluminación según la latitud y el mes) por el término:

$$\frac{T + 17.8}{21.8} \quad \text{donde:}$$

T = Temperatura promedio.

2) El coeficiente de la etapa de desarrollo del cultivo Kc se obtiene de la curva única de Hansen. Para ello se necesita ver que abscisa le corresponde al cultivo en cuestión y su valor se divide entre el número de meses que dura el cultivo. Se necesita, después ver para cada valor de la abscisa la ordenada que le corresponde según la curva y éste sera el Kc de los límites de cada tramo.

Para cada tramo que corresponde a un mes tenemos una variación continua de Kc y es necesario tomar una media de 3 o 4 valores tomados para cada tramo el uso consuntivo sera el producto de Kc x f.

3) Los coeficiente del método de Blaney y Criddle han sido usados con muy bu

na precisión pero requieren una rectificación cada vez que se tengan referen -
cias experimentales confiables. El ajuste a los valores de U.C obtenidos en 2
se logra introduciendo el factor J el cual se obtiene de la siguiente manera:

a) Obtener : $C = \frac{U.C}{f}$

b) Tomando en cuenta las Kc de Blaney y Criddle o alguna otra referencia expe-
rimental se obtiene J: $J = \frac{Kc}{C}$

4) A los usos consuntivos mensuales calculados se les aplica el coeficiente J-
para obtener el U.C ajustado:

$$U.C^1 = U.C \times J$$

* Método de Grassi y Christiansen.

Para este método se emplea el cuadro 30, propuesto por los autores en el-
cual se incluyen los datos de los coeficientes periódicos K, calculados en -
función de "t" para diferentes valores de K_G . Por tanto se realizan las curvas
dependiendo el cultivo estudiado.

Para la obtención de los coeficientes de Kc que dependen de la duración -
del cultivo, se elabora su curva dependiendo el coeficiente global relaciona-
do y se divide el total del ciclo vegetativo del cultivo (0-100%) en los meses
que lo integran y se obtienen dichos coeficientes por medio de un promedio de-
3 datos en cada uno.

El uso consuntivo sera por tanto el producto de kc x f. Los U.C mensuales
deben coincidir con el Uso Consuntivo Total también calculado. Si no es así -
debe utilizarse un factor de corrección de manera que al ajustarlos ambos coin-
cidan. El ajuste de valores se realiza de la misma forma que en la curva de -
Hansen.

2.3 Relación Agua - Suelo - Planta y Atmósfera

2.3.1 El sistema agua - suelo

Es importante conocer la relación que existe entre estos dos sistemas dado que la cantidad de agua que se proporcione al suelo, tomando en cuenta la forma en que ésta se mueve en el terreno y la cantidad de almacenamiento del suelo, es indispensable para el crecimiento de las plantas.

Suelo.

Al planear un riego, debe tomarse en cuenta diversos parámetros que influyen en su óptima aplicación como son: la capacidad retentiva del suelo, especialmente en la zona de la raíz de la planta, el grado de captación de agua del suelo, el tipo de raíz del cultivo y la cantidad de agua que requiere el cultivo. Por tal motivo es necesario tener un conocimiento del sistema suelo.

Las dos propiedades físicas de importancia del suelo son: la textura y la estructura. La primera se refiere a la proporción relativa de los varios tamaños de grupos de partículas minerales en un suelo determinado.

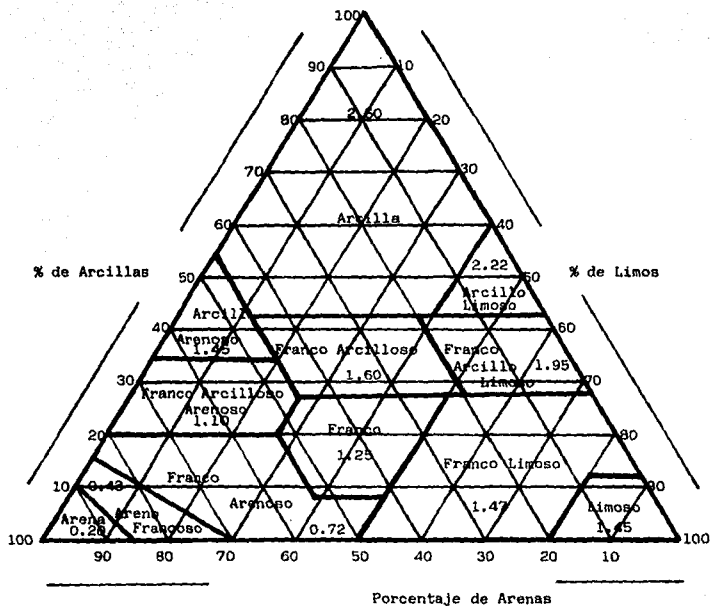
La estructura consiste en la forma en que las partículas integrantes están distribuidas en grupos o mezclas de materia en general, estas características sirven para determinar el suministro de agua y aire en el suelo.

En la siguiente página se presentan dos cuadros en los cuales se puede observar en uno, el porcentaje de arena, limo y arcilla para cada tipo de suelo y en el otro los diversos grupos de partículas minerales en el suelo por su variación en diámetro según clasificación de USDA.

Cuadro 3. Porcentaje de Arena, limo y arcilla para cada tipo de suelo.

Textura	Porcentaje de Arena, limo y arcilla		
	Arena	Limo	Arcilla
Arcilla	20.92	35.22	43.80
Arcillo-arenoso	50.04	14.00	35.94
Franco-arenoso	73.28	14.64	12.10

Figura 1. Triángulo de Texturas indicando las láminas de agua aprovechables en diferentes suelos.



La cantidad dentro del triángulo de texturas, indican la máxima lámina aprovechable (en cm), en 10 cm de profundidad del suelo de textura indicada.

Fuente: (Palacios, 1980)

Cuadro 4. Clasificación de diversos grupos de partículas minerales.

Grupo	Diámetro de la partícula (mm)
1. Arena muy gruesa	2.0 - 1.0
2. Arena gruesa	1.0 - 0.5
3. Arena mediana	0.5 - 0.25
4. Arena fina	0.25- 0.1
5. Arena muy fina	0.1 - 0.05
6. Limo o sedimento	0.05- 0.002
7. Arcilla o greda	Menos de .002

Las clases de textura de un suelo se basan en las diferentes combinaciones de arena, limo y arcilla. Para determinar ésta, en el campo se utiliza la prueba de tacto o si es necesario se comprueba más tarde en el laboratorio.

Dependiendo su textura los suelos se clasifican como sigue:

- Arena: Es una materia suelta y de granos individuales. Los granos pueden ver se y sentirse fácilmente. Si se aprieta en la mano un puñado de arena, los granos se separan al dejar de oprimirlos. Si se oprimen al estar húmedos, se pueden moldear, pero se deshacen al tacto.

- Franco-arenoso: Es aquel que tiene alto porcentaje de arena, limo y arcilla para darle cierta consistencia. Si se aprieta en seco, el franco arenoso se puede moldear, pero se deshace con rapidez. Al apretarlo cuando está húmedo, se forma un molde que puede ser manejado con cierto cuidado sin deshacerse.

- Franco: Es una materia que consiste de una mezcla relativamente igual de diversos grados de arena, limo y arcilla. Es blando al tacto, aunque se distingue la consistencia arenosa y es ligeramente plástico. Si se le aprieta estando seco, se forma un molde que puede manejarse con cuidado y, cuando se oprime al estar húmedo, se maneja sin que se quiebre.

-Franco-arcilloso: Este suelo es de textura fina que, por lo general, forma terrones o grumos al estar duro y seco. Cuando se humedece y se aprieta entre los dedos, se forman hebrillas fácilmente quebradizas y que se desmoronan in -

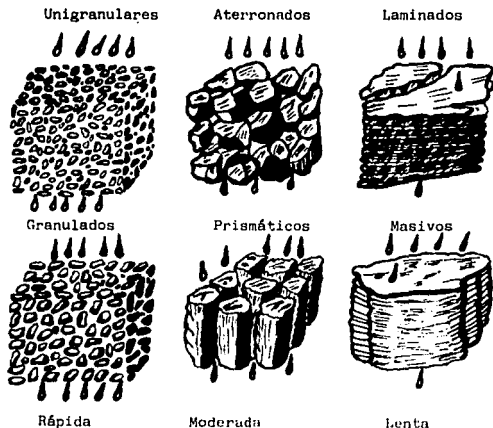
mediatamente, sino que tiende a formar una masa compacta.

- Arcilla: El suelo de arcilla es de fina textura que generalmente forma terrones duros y grumos en estado seco, es de consistencia plástica y, al humedecerlo, se siente pegajoso. Al apretarlo entre los dedos, húmedo, se forma un hilillo flexible. Algunas arcillas con alto contenido de coloides son friables y no tienen plasticidad, cualquiera que sea el grado de humedad.

Por su parte la estructura del suelo influye en el grado en que el aire y el agua penetran y se mueven en el suelo. Del mismo modo influye en la penetración de la raíz y la disponibilidad de los elementos nutritivos.

Los tipos de estructura del suelo y su efecto en la penetración del agua son los siguientes: Los unigranulares y granulados no tienen estructura. En este tipo de suelo, tal como en arena suelta, el agua se filtra rápidamente. Los laminados y masivos impiden la penetración del agua porque ésta se mueve con más lentitud. Los aterronados y prismáticos son los más favorables para la captación del agua por su penetración moderada. Como se observa en la figura 2.

Figura 2. Tipos de estructura en el suelo y su efecto en la penetración del agua. (FAO, 1975)



2.3.1.1 Clases de agua en el suelo

La porosidad forma parte importante del suelo ya que al formar una red de cavidades conectadas entre sí, al suministrarle agua ya sea por lluvia o por riego dicho elemento se distribuye alrededor de las partículas retenidas por fuerzas de cohesión y adhesión, (fuerza de adhesión es el grado de atracción de la partícula del suelo por el agua y la fuerza de cohesión es la atracción de las moléculas de agua entre sí). Desplazando al aire en las cavidades y finalmente llenando los poros. (Su fórmula es la siguiente: $n = \frac{Vv}{Vt} 100$)

El agua se clasifica de la siguiente manera:

A) Agua de gravedad o agua libre.

Cuando los poros, grandes y chicos, quedan llenos se dice que el terreno está saturado y a su máxima capacidad de retención, debido a esto la película de agua alrededor de las partículas aumenta de espesor hasta que las fuerzas de cohesión, que sostienen las películas de agua son menores que la fuerza de gravedad, provocando así su filtración, esta agua que se filtra por acción de la gravedad se conoce como agua de gravedad o agua libre.

B) Agua capilar.

Al suspender el suministro en la superficie, esta continúa colocándose por entre dichos poros durante varios días hasta que el agua libre logra filtrarse. Los poros se vuelven a llenar de aire y el agua contenida en los poros pequeños sigue moviéndose por capilaridad por lo cual se conoce como agua capilar. Esta penetra más lentamente que el agua de gravedad y se mueve en cualquier dirección, en respuesta a diferencias de tensión.

En condiciones normales, la capilaridad actúa libremente hasta 1.2 o 1.5m de altura, relativamente bien hasta 3 m y más lentamente hasta 9 m. o más.

C) Agua higroscópica.

La evaporación en la superficie del suelo y la absorción de humedad en -

Las plantas en crecimiento, reducen la cantidad de agua en el suelo hasta el punto que no se observa movimiento de capilaridad. El agua queda aprisionada herméticamente en forma de capas muy delgadas alrededor de las partículas del suelo, la cual no puede ser aprovechada por la planta y ésta comienza a marchitarse, finalmente el suelo queda tan seco que causa la muerte de la planta si se demora el suministro de agua al terreno.

La parte restante del agua queda retenida entre las partículas superficiales, especialmente en los coloides del suelo; en forma tal que pierde su estado líquido y se desplaza como vapor. Este tipo de agua se conoce como agua Higroscópica.

Es importante aclarar que no existe una línea clara de separación entre estos tres tipos de agua en el suelo, la proporción en que se encuentran cada uno de ellos dependerá de la textura, de la estructura, contenido de poros, contenido de materia orgánica, de la temperatura y del espesor del perfil del suelo considerado. La verdad es que si la concepción teórica es simple, la cuantificación práctica es muy difícil.

2.3.1.2 Disponibilidad del agua con relación a los vegetales.

A) Agua de Gravitación.

Agua que drena por acción de la gravedad en la zona radicular de los cultivos, este drenaje es más rápido en suelos arenosos que en los arcillosos.

B) Agua no Disponible

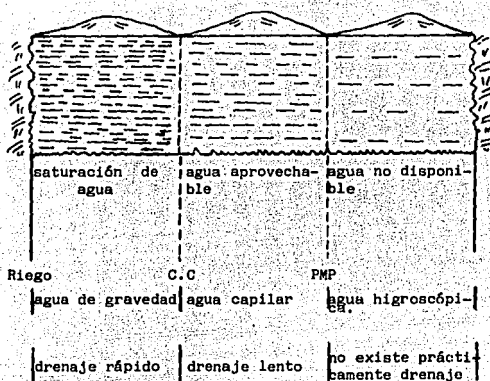
Es el agua que se encuentra retenida por la fuerza capilar y que a las plantas se les dificulta mucho su aprovechamiento.

C) Agua Disponible o Humedad aprovechable

Es el agua que puede ser aprovechada por la planta y se define como la diferencia entre el agua de gravitación y la no disponible.

En la página siguiente se muestra la figura de la disponibilidad del agua con relación a los vegetales.

Figura 3. Disponibilidad del agua con relación a los vegetales.



2.3.1.3 Parámetros de humedad del suelo

Infiltración.

El flujo del agua de la superficie hacia abajo se conoce como infiltración. El agua penetra en el suelo por los poros, grietas orificios practicados por gusanos y ocasionados por raíces podridas, así como las cavidades hechas durante la labranza. Se representa de la siguiente forma: I f m/seg

Percolación.

Para que el agua de riego sea eficaz para el reabastecimiento del agua en el suelo, debe moverse hacia abajo o percolarse hasta una profundidad determinada. Esto se conoce como percolación. El grado del mismo depende de la permeabilidad del suelo o de su conductividad hidráulica.

Porcentaje de humedad a saturación.

Entre un suelo saturado y un suelo seco, existe una variación muy considerable en su contenido de humedad. Este contenido se expresa generalmente en porcentaje respecto al peso del suelo seco, es decir, la relación de peso de

agua contenida a peso del suelo seco, multiplicada por 100, lo cual se expresa por la siguiente fórmula:

$$Ps = \frac{Psh - Pss}{Pss} \times 100 = \frac{Pa \times 100}{Pss}$$

donde:

Ps = % de humedad a saturación

Psh = Peso suelo húmedo

Pss = Peso suelo seco

Pa = Peso del agua

Se dice que un suelo está seco cuando se ha secado en una estufa a una temperatura de 105 a 110°C durante 24 hrs. o hasta obtener un peso constante. El contenido de humedad en el suelo debe realizarse cuando todos los poros de éste, están llenos de agua.

Capacidad de Campo (C.C)

Se define como el contenido de agua de la porción húmeda del suelo, después que el exceso ha sido drenado y la velocidad del descenso disminuida en grado considerable. Trava 1976 demostró que la capacidad de campo es el contenido de agua retenida en el suelo a una tensión de 1/3 de atm. aproximadamente.

La capacidad de campo se obtiene entre los 2 y 5 días después del riego y es una constante característica para cada suelo pues depende fundamentalmente de la textura, contenido de materia orgánica y grado de compactación de éste.

Los métodos empleados para determinar la C.C son los siguientes:

- 1) Método de campo: Realizado en base a muestras aplicando la fórmula:

$$Ps = \frac{Psh - Pss}{Pss} \times 100$$

- 2) Método de las columnas del suelo: Método de laboratorio
- 3) Método de la olla de presión: Método de laboratorio

Porcentaje de Marchitamiento Permanente (PMP)

Se refiere al contenido de humedad del suelo en el cual las plantas no -

pueden reponer el agua suficiente para recobrar su turgencia, y la planta se marchita permanentemente. Esta definición no se aplica a suelos salinos, por que no existen signos característicos de marchitamiento de las plantas en estas condiciones. (Thore, 1965)

López R. (1978) define al PMP como el porcentaje de humedad en el cual la fuerza de succión de la planta es exactamente igual a la presión negativa que el suelo ejerce sobre el agua.

Las fuerzas que retienen el agua en el suelo aumentan, al disminuir el contenido de humedad y así, hay un punto de succión total en el que el agua no pasa ya de la tierra a las raíces, entonces las pérdidas por transpiración sobrepasan al índice de absorción y el follaje se marchita, siendo este el PMP. (Winter, 1977)

El PMP depende del consumo de agua del vegetal, profundidad de la zona radicular, del agua utilizada por el vegetal y de la capacidad de retención del terreno. Cuando aumenta la temperatura y por ende la velocidad de consumo de humedad, el marchitamiento se produce con tensiones más bajas y contenido de humedad mayor.

Baver (1959) dice que el PMP es el contenido de humedad retenido a una tensión equivalente a la presión osmótica en las raíces de las plantas y que dicha presión es aproximadamente a 15 atm. El hecho de que la tensión pueda oscilar entre 10 y 20 atm. no tiene gran importancia, puesto que las oscilaciones del contenido de humedad son pequeñas para cambios de tensión muy grandes, Israelsen, 1965.

Los métodos empleados para su determinación son los siguientes:

- 1) Método de campo: Por medio de muestras.
- 2) Método fisiológico: Del girasol enano, en laboratorio.
- 3) Método de la membrana de presión en laboratorio.

A continuación se muestra un cuadro sobre los porcentajes de C.C y PMP.

Cuadro 5. Contenido de humedad a Capacidad de campo y Punto de marchitamiento-permanente para diferentes texturas de suelo.

Textura	Ps a C.C %	Ps a PMP %
a) Arena	5 a 16	3 a 8
b) Franco arenoso	10 a 20	6 a 12
c) Suelos Francos	15 a 30	8 a 17
d) Franco arcillosos	25 a 35	13 a 20
e) Arcilla	30 a 70	17 a 40

Fuente: FAO, 1975.

Humedad Aprovechable por las Plantas

Esta se define como la diferencia de contenido de humedad entre la capacidad de campo y el porcentaje de marchitamiento permanente y se considera que a capacidad de campo la humedad aprovechable es de 100% y a punto de marchitamiento sera a 0%. Por tanto, la lámina máxima que se puede aplicar para humedecer un suelo a una profundidad Pr, sin desperdiciar agua sera:

$$L = \left(\frac{Ps_{cc}}{100} - \frac{Ps_{pmp}}{100} \right) \cdot Da \cdot Pr \quad \text{donde:}$$

L = Lámina de retención máxima en cm.

Ps_{cc} = Porcentaje de humedad a capacidad de campo, %.

Ps_{pmp} = Porcentaje de humedad a punto de marchitamiento permanente, %.

Da = Densidad aparente.

Pr = Profundidad radicular, cm.

Por otra parte la capacidad de campo es aproximadamente 2 veces mayor que el valor del punto de marchitamiento permanente, por tanto, si se supone que un suelo contiene un porcentaje de humedad a saturación de un 80%, para fines-prácticos la capacidad de campo será alrededor del 40% y el punto de marchitamiento permanente del 20%. (Bosadas, 1978)

Contenido de humedad en el suelo.

La tensión de la humedad del suelo es una medida de la tenacidad con que-

el agua es retenida por el suelo y representa la fuerza por unidad del área que debe aplicarse para extraerla. Por lo general, se expresa en atmósferas, o sea la presión del aire al nivel del mar a una temperatura de 21°C por lo tanto:

1 atmósfera = $1 \text{ kg/cm}^2 = 14.7 \text{ lb/pulg}^2$.

1 atmósfera = 76.39 cm de altura de una columna de mercurio.

1 atmósfera = a una columna de agua de 10.36 mts.

Esta expresión no indica la cantidad de agua que el suelo contiene, ni la cantidad que puede extraerse con dicha tensión; ya que esto dependiera de la textura, estructura y contenido de materia orgánica. Así pues, los suelos arenosos se drenan por completo a una tensión baja, pero los arcillosos retienen una gran cantidad de humedad incluso a tensiones altas, al grado, que las plantas en crecimiento llegan a marchitarse. Según el agua aprovechable, según las atmósferas de presión se tiene el cuadro siguiente:

Cuadro 6. Atm. de presión, según el agua aprovechable.

Atmósferas	0	1/3atm	15atm	1000atm	10000atm
	agua de gravitación	agua disponible= capilar	agua no disponible	suelo seco - al - aire	suelo - seco a la estufa.
	suelo, saturado C.C o inundado		FMP		

Para medir la humedad del suelo se utilizan los siguientes métodos:

- 1) Métodos Directos :
 - a. Método al tacto
 - b. Método gravimétrico

- 2) Métodos Indirectos:
 - a. Tensiómetros
 - b. Bloques de yeso
 - c. Aspersor de neutrones
 - d. Medidor Speedy

2.3.2 Sistema agua - suelo - planta

Todos los procesos vegetales están directa o indirectamente afectados por el agua, la actividad metabólica de células y plantas por ejemplo, se encuentran muy relacionada con el contenido de agua lo que resalta la importancia de su estudio.

Agua de constitución.

Es el contenido de agua existente en la planta, más del 90% de las estructuras vivas de las células la contienen. El agua constituye el 80% o más del peso fresco de la mayoría de las partes de las plantas herbáceas y en las plantas leñosas más del 50%, como se observa en el cuadro 7.

Cuadro 7. Contenido hídrico de diversas estructuras vegetales expresado como porcentaje del peso de la planta fresca.

Partes de la planta	Especie	% de agua contenida
a) Hojas	Lechuga	94.8
	Girasol	81.0
	Col Madura	86.0
	Maíz Maduro	77.0
	Avena Forrajera	80.0
	Alfalfa	80.0
b) Tallos	Espárragos	88.3
	Girasol	87.5
	Pinos	45-70
c) Frutas	Tomate	94.1
	Sandia	92.1
	Calabaza	88.1
	Fresa	89.1
	Zanahoria	84.0
d) Semillas	Maíz tierno comestible	84.8

Fuente: Del Valle, Florencia, 1992

Absorción de agua por las plantas.

El movimiento del agua en la planta fuera de algunas excepciones es ascen

dente, realizada mediante los fenómenos osmóticos en la planta.

El agua puede entrar en las plantas a través de las hojas, tallos, raíces o estructuras reproductoras, como semillas pero la mayor parte del agua es absorbida por la raíz, por medio de los pelos absorbentes.

Para calcular la cantidad de humedad requerida para el cultivo es indispensable saber, a que profundidad del suelo se encuentra la raíz de la planta durante el período máximo de consumo.

La absorción se efectúa por el fenómeno de ósmosis la cual se define como la difusión de una sustancia, a través de una membrana semipermeable es decir aquella que deja pasar los solventes pero no los solutos.

2.3.2.1 Tipo de absorción del agua por la raíz

Cómo se obtiene la humedad en la planta.

Durante los períodos favorables de crecimiento las raíces se alargan a menudo con tanta rapidez que los contactos con la humedad pueden mantenerse, incluso cuando esta decline, cuando la raíz se ha desarrollado bien durante el período favorable de crecimiento, la planta puede captar la humedad necesaria de las capas más profundas, por lo tanto si las raíces de la parte superior del terreno han agotado la humedad de esa altura hasta el punto de marchitamiento permanente, las necesidades de humedad se satisfacen si las raíces han logrado profundizar, hasta las capas inferiores que aún contienen la humedad adecuada.

El sistema de raíces de la planta es hereditario, cada especie tiene sus mismas características y hábitos de desarrollo. Algunas penetran profundamente en el suelo en condiciones favorables, otras crecen lentamente y desarrollan raíces primarias y muchas raíces secundarias o laterales.

En el cuadro 8 se muestra la profundidad de enraizamiento de algunas especies vegetales.

Cuadro 8. Características de enraizamiento de algunas especies vegetales.

Superficial 40-60 cm	Poco profundo 0.80-1.20mt	Profundo más de 1.20mt
Brocoli	Frijol	Alcachofa
Bruselas	Remolacha	Espárrago
Repollo	Zanahoria	Haba
Coliflor	Pepino	Tomate
Apio	Berenjena	Sandía
Col China	Melón	Alfalfa
Ajo	Arveja	Cítricos
Lechuga	Pimenton	Algodón
Cebolla	Maíz	
Perejil	Cereales	
Papa	Chicharos	
Rábano	Calabaza	
Espinaca		

Fuente: Herbert del Valle Florencia, 1992.

2.3.2.2 Extracción de humedad por la planta a diferentes profundidades

Para la mayoría de las plantas la absorción de las raíces es mayor en la parte superior del terreno generalmente a unos 30 cm de la superficie, y cerca de la base de la planta. Aunque también el agua se evapora más rápido a estas profundidades.

En suelos sin capas restrictivas y con suministro adecuado de humedad las plantas consumen el agua con rapidez en la parte superior de la raíz y más lentamente en la parte inferior de la misma.

Así pues, se tiene que aproximadamente el 40% de la humedad extraída proviene de la cuarta parte que comprende la profundidad de la raíz (generalmente 30 cm), el 30% del segundo cuarto (a una profundidad de 60 cm), el 20% del tercer cuarto (a una profundidad de 90 cm) y el 10% del cuarto inferior (a una profundidad de más de 1.0 mt), como se observa en la figura 4.

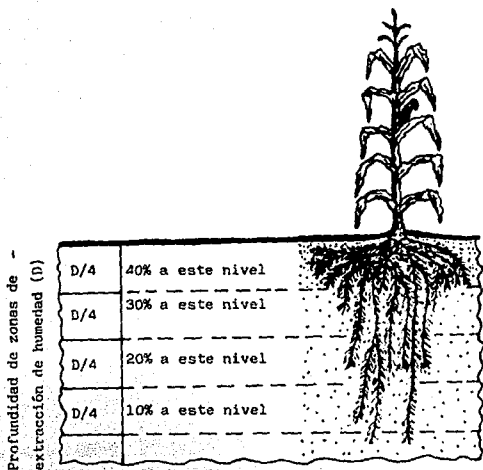


Figura 4. Absorción de humedad por la raíz a diferentes profundidades sin capas restrictivas y con humedad adecuada.

4.3.2.3 Transpiración

Como ya se mencionó el agua es la sustancia más abundante de los tejidos vegetales, pero la mayor parte de esta agua se pierde ya sea en forma líquida y sobre todo en forma de vapor, cuando es por ésta última se le llama transpiración.

Gran parte de las hojas está constituida por poros llamados estomas. Los poros estomáticos se abren a los espacios intercelulares de la hoja y al medio externo, dicho fenómeno se denomina transpiración estomática. A parte de este tipo existe otro en la que el agua se pierde también en forma de vapor a través de la epidermis y recibe el nombre de transpiración cuticular. Solamente en tiempo muy seco, cuando los estomas están cerrados, la pérdida de agua a través de la epidermis puede alcanzar un nivel importante.

La pérdida de agua de una planta depende de las condiciones climáticas so

bre todo del viento, humedad atmosférica, temperatura y radiación solar.

Relación entre absorción y transpiración.

La absorción de agua no es un proceso independiente sino que se relaciona con la transpiración, cuando el agua esta a la disposición de las raíces. Es posible medir la tasa de absorción de agua por las raíces de una planta, al mismo tiempo que se mide la tasa de la pérdida de la misma por las hojas.

Por lo tanto la velocidad de transpiración es parecida a la velocidad de absorción. En realidad como puede verse en dicha figura, los cambios de velocidad de absorción van retrasados respecto a los cambios en la velocidad de transpiración, de este modo resulta la absorción de agua por las raíces.

2.3.2.4 Evaporación

La evaporación es el agua perdida en forma de vapor por el terreno adyacente a la planta, por la superficie del agua o por la superficie de las hojas de las plantas. Los factores que afectan la evaporación de una superficie libre de agua son principalmente climáticos y la naturaleza de la superficie evaporante. (Trava, 1976)

Puesto que la evaporación es un proceso de intercambio de energía (aproximadamente 600 calorías/gramos de agua que se evapora). Se puede decir que el factor más importante que influye sobre ella es la radiación solar y por consiguiente variara de acuerdo a la latitud, la estación del año, la hora del día y la nubosidad.

Otros factores que también influyen son: la temperatura del aire, la presión de vapor, el viento y posiblemente hasta la presión atmosférica. Se ha observado que conforme el suelo se seca, la evaporación decrece y su temperatura aumenta para mantener el balance de energía, eventualmente la evaporación cesa porque no existe un mecanismo efectivo para transportar el agua a la superficie del suelo, por tal motivo esta evaporación esta limitada por la disponibilidad del agua.

2.4 Precipitación

Se refiere al agua condensada que baja de la atmósfera, cuando ésta se vuelve incapaz de sostenerla por largo tiempo. Dicha condensación se precipita en forma de lluvia, granizo o nieve.

2.4.1 Precipitación efectiva

Se define como la porción de la precipitación que puede llegar a estar disponible en la zona ocupada por las raíces de las plantas por tanto, el aprovechamiento de la lluvia depende de muchos factores como son: Intensidad, duración y distribución de la lluvia, velocidad de infiltración en el suelo, cubierta vegetal y topografía.

Existen varias opiniones sobre la cantidad de lluvia aprovechable por las plantas: Se considera que precipitaciones menores de 5 mm/mes deben considerarse como inefectivas ya que todo se perdería por evaporación. (Oliver, 1965)

Toda lluvia menor de 25 mm/mes es aprovechable, lluvias mayores de 150mm por mes se desperdician en su mayor parte ya que en promedio, lo que puede aprovecharse es 90 mm/mes. (Linsley y Franzini, 1967)

Existen varios métodos para estimar la precipitación, algunos de los más simples y fáciles de usar son:

a) Blaney y Criddley.

Consiste en aplicar un coeficiente de aprovechamiento diferente a cada pulgada de lluvia observada. Conforme la lluvia acumulada va aumentando el coeficiente de aprovechamiento va disminuyendo hasta que, para más de 150 mm de lluvia aproximadamente 6" este coeficiente es de sólo 5%. Ejemplo: Si se tiene 100 mm de lluvia observada, el coeficiente de aprovechamiento sería de 0.65% que representaría, una lluvia efectiva de 83 mm. (Como se observa en el cuadro).

Cuadro 9. Coeficiente de lluvia efectiva según Blaney y Criddle.

Lluvia total observada		Lluvia considerada efectiva		
en pulgadas	en centímetros	Coef.de aprov.	Acumulada pulg.	Total mm
1	25	0.95	0.95	23.7
2	50	0.90	1.85	46.3
3	75	0.82	2.67	67.0
4	100	0.65	3.32	83.0
5	125	0.45	3.77	94.5
6	150	0.25	4.02	100.5
más de 6	más de 150	0.05	-	-

Fuente: Coras, M. 1983

b) Método de Ogrosky y Mockus.

Consiste en un coeficiente de efectividad de la lluvia que depende de la relación entre la evapotranspiración del cultivo y la precipitación observada, (Et/p), donde "c" que es el coeficiente de efectividad de la lluvia, es función de la relación (Et/p). Después de localizar la evapotranspiración, en la tabla del cultivo y la precipitación observada se obtiene el coeficiente c/p - posteriormente se aplica a la fórmula:

$$Pe = Cp \times 100 = \text{mm}$$

c) Método de Zierold citado por Palacios, 1971.

Por cálculos experimentales dedujo fórmulas, que permiten estimar la cantidad de lluvia aprovechable de una tormenta, dentro de un distrito de riego, así como la percolada en exceso. Estos estudios se realizaron en 3 zonas diferentes de México obteniéndose lo siguiente:

$$Pe = p - 0.05 p^2 \text{ (para lluvias de menos de 25 mm)}$$

$$Pe = 1.27p^{0.75} - 0.0806 p^{1.5} \text{ (para lluvias mayores de 25 mm)}$$

donde:

Pe = Precipitación aprovechable. cm.

P = Precipitación observada.

d) Método de la FAO.

Para estimar la lluvia efectiva en función de la p.p mensual observada y del consumo de agua de los cultivos, bajo la suposición de que la capacidad de almacenamiento del suelo (Δs) es de 75 mm se apoya en el cuadro 11: Por ejemplo, si la p.p es de 117 mm y la s es de 150 entonces, utilizando el cuadro e interrelacionando los datos se obtiene que la precipitación efectiva sería de 116 mm sin intervenir la capacidad de almacenamiento, pero como la capacidad es de 150 mm se corrige este valor multiplicado por el factor correspondiente que es de 1.06 que se observa en el cuadro 10.

$$\begin{aligned} \text{Por tanto: } P_e &= 1.06 \times 116 \\ &= 122.96 \end{aligned}$$

Cuadro 10. Factores de corrección de la capacidad de almacenamiento del suelo

Δs .

Δs mm	20	25	37.5	50	62.5	75	100	125	150	175	200
factor	0.75	0.77	0.86	0.93	0.97	1.0	1.02	1.05	1.06	1.07	1.08

En general el método de Blaney y Criddle considera mayor efectividad de la lluvia que el propuesto por Ogrosly y Mockus. Un término medio entre estos es el método de la FAO.

Cuadro 11. Lluvia efectiva mensual en función de la evapotranspiración del cultivo y la lluvia observada por el método de la FAO.

Lluvia																	
mensual	12.5	25	37.5	50	62.5	75	87.5	100	112.5	125	137.5	150	162.5	175	187.5	200	
mm																	
25	8	16	24														
50	8	17	25	32	39	46											
75	9	18	27	34	41	48	56	62	69								
100	9	19	28	35	43	52	59	66	73	80	87	94	100				
125	10	20	30	37	46	54	62	70	76	85	92	98	107	116	120		
150	10	21	31	39	49	57	66	74	81	89	97	104	112	119	127	133	
175	11	23	32	42	52	61	69	78	86	95	103	111	118	126	134	141	
200	11	24	33	44	54	64	73	82	91	100	109	117	125	134	142	150	
225	12	25	35	47	57	68	78	87	96	106	115	124	132	141	150	159	
250	12	25	27	50	61	72	84	92	102	112	121	132	140	150	158	167	

Fuente: FAO, 1975

2.5 Factores que Intervienen en la Aplicación del Uso Consuntivo

Transpiración.

Por medio de éste proceso la planta toma el agua del suelo circulando a través de la planta y al llegar a las hojas se pierde en forma de vapor, para la aplicación del riego debe tomarse en cuenta la humedad consumida durante el desarrollo de la planta, especialmente los períodos críticos.

Como ya se menciono, la transpiración mayor ocurre en las hojas y en menor cantidad en los tallos jóvenes. La mayor transpiración se lleva acabo durante las horas del día y solamente de 5 a 10% durante la noche, antes de salir el sol el grado de transpiración es más bajo llegando a su máximo poco antes del medio día, lo que refleja, el desgaste de agua de un cultivo.

Evaporación.

Por medio de este proceso el agua se dispersa en forma de vapor del suelo a la atmósfera. En terrenos de riego, cuando las aplicaciones son frecuentes pero superficiales se da en mayor grado la evaporación, en cambio con aplicaciones fuertes y con menos frecuencia el agua penetra a mayor profundidad aprovechándose más por la planta.

En la evaporación influyen diversos aspectos como son, la textura, el tipo de suelo, la época del año, las características de la zona, altas temperaturas, bajo grado de humedad y vientos fuertes.

La evaporación en la superficie del terreno es alta mientras esta saturada y se reduce al agotarse la humedad de las capas superiores. El grado de evaporación entre cada riego depende de la labranza, del cultivo y de la cobertura del cultivo así como de la profundidad del riego. Al crecer la planta aumenta el sombreado y disminuye progresivamente el grado de evaporación.

2.5.1 Uso consuntivo por la planta durante su desarrollo

Desde el momento en que se siembra la semilla hasta la emergencia de la planta, la mayor pérdida de humedad se debe a la evaporación, al momento del

brote de ésta se inicia la transpiración la cual aumenta con su crecimiento.

Al iniciar este momento el desgaste de la planta es bajo, aumentando progresivamente con el desarrollo del follaje, y con los días largos y calurosos. Su punto máximo de evaporación ocurre durante la fructificación y declina rápidamente al finalizar la cosecha. A la muerte de la planta cesa la transpiración y las pérdidas posteriores son por evaporación. (figura 5)

En cultivos de cobertera en condiciones climáticas invariables, la pérdida disminuye después del corte por la reducción de la transpiración, si el terreno se riega después de realizado éste aumentan las pérdidas pero por la evaporación.

Al requerimiento de agua durante cada período de desarrollo de la planta se le conoce como uso consuntivo por temporada, su medida es en cm/ha o por la profundidad en cm.

Período máximo de consumo.

El promedio de consumo de agua de mayor demanda en la temporada se llama "período de agua en su punto máximo" y con mayor frecuencia se presenta al comienzo de la cosecha, (para frutos en fresco) cuando hay elevadas temperaturas y abundante vegetación este período se emplea para planear el sistema de riego que variara según la cantidad de agua que pueda consumir la profundidad de la raíz.

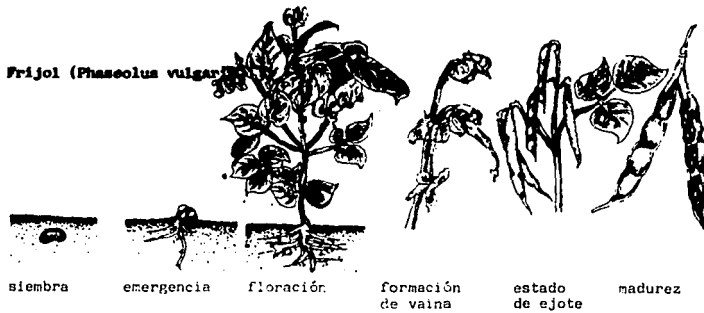
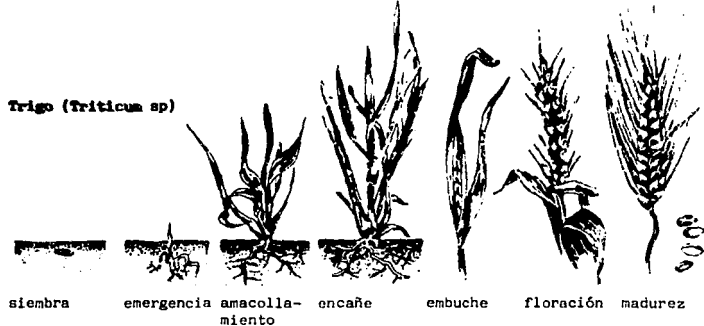
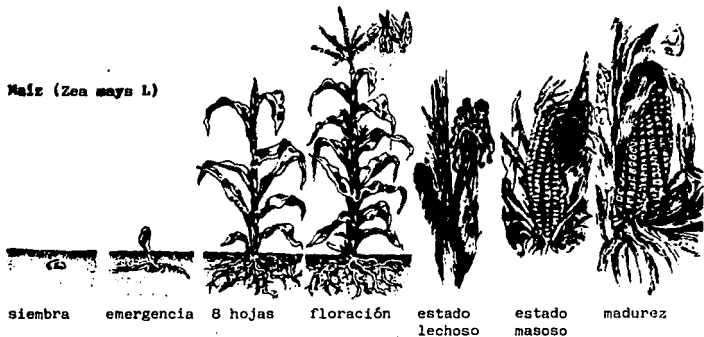
Dependiendo la profundidad del suelo, la capacidad de captación y el tipo de raíz el período máximo de consumo, varía teniendo que para suelo superficial (arenosos), raíces poco profundas y poca capacidad de captación el intervalo máximo de consumo, equivaldría de 5 a 6 días. En el caso contrario puede variar de 8 a 10 días y de 3 días al mes en cultivos de profundo enraizamiento (alfalfa).

Por consiguiente es importante conocer estos períodos para proyectar la cosecha y el adecuado suministro del agua de riego.

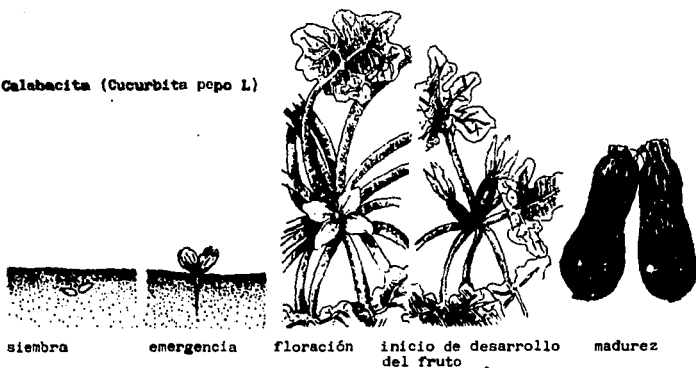
Efecto del riego en el cultivo.

La mayoría de las plantas tienen un mayor aprovechamiento del agua si el-

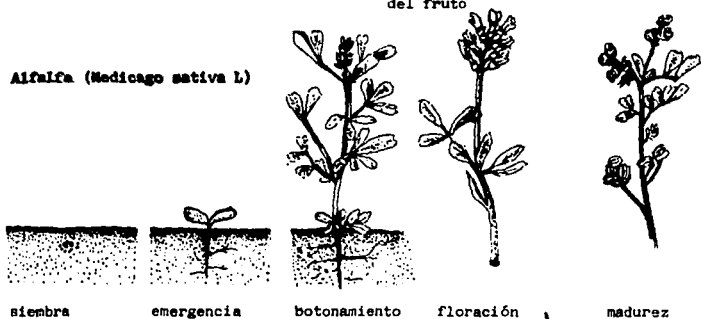
Figura 5. Principales fases fenológicas de algunos cultivos.



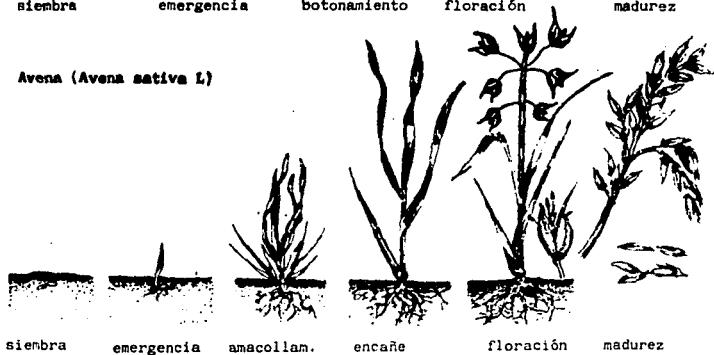
Calabacita (Cucurbita pepo L.)



A alfalfa (Medicago sativa L.)



Avena (Avena sativa L.)



Tomate de Cáscara (*Physalis ixocarpa*)



Trasplante



crec. y desarrollo foliar



floración, formación y llenado del fruto



madurez de consumidor

Zanahoria (*Daucus carota*)



Siembra



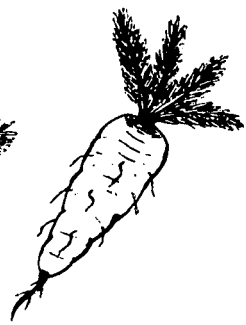
emergencia



crec. vegetativo y desarrollo del tubérculo



formación del fruto



madurez de consumidor

nivel de humedad es alto, al declinar este nivel la planta no puede extraer suficiente agua para su óptimo desarrollo, ocasionando marchitamiento y crecimiento retardado o nulo.

En algunos casos cuando se compensa el riego, algunos cultivos sobreviven en cambio otros sufren daños permanentes. Cuando se llega al PMP el fracaso de la cosecha es muy posible, aún cuando esta se haya recuperado, pero se ve afectado en los rendimientos.

En el caso del maíz si se llega al PMP afecta los rendimientos de un 22 a 50% durante el período de la inflorescencia o polinización; a diferencia del tabaco que se daña fácilmente por exceso de humedad principalmente en el período de desarrollo, durante el cual se debe mantener un nivel bajo de humedad.

Las hortalizas de corto período (tempraneras) responden satisfactoriamente a un nivel alto de humedad.

2.5.2 Período crítico

Los cultivos en la época de crecimiento, presentan períodos críticos, en los que debe mantenerse un nivel de humedad para evitar alteraciones en los rendimientos. En condiciones normales de desarrollo ocurre al final de su período (en la cosecha). En el siguiente cuadro se presentan los períodos críticos de algunos cultivos.

Cuadro 12. Períodos Críticos de diferentes cultivos.

Cultivo	PC
a) Alfalfa	Al comenzar su floración y después del corte
b) Algodón	De la primera floración a la formación de la semilla
c) Forraje	Después del pastoreo en zonas tropicales y antes del corte en cultivos anuales
d) Fresa	Desde la formación del fruto hasta la maduración
e) Frijol	De la floración a la formación de vaina
f) Granos pequeños (trigo, cebada, avena, etc)	Desde la formación de vainas, hasta la formación de cabeza
g) Hortalizas (tomate de cascabel, zanahoria, etc)	Al desarrollarse el fruto
h) Maíz	Inflorescencia a aparición del estigma
i) Papas	Del florecimiento a cosecha

Fuente: FAO, 1990

2.5.3 Niveles de humedad para el cultivo

Durante la implantación de un cultivo es importante mantener, un nivel de humedad en el suelo de modo que satisfaga las necesidades de absorción de la planta. El objetivo del riego es evitar una limitación de la misma y que la planta, por ende no se esfuerce por extraerla. La mayoría de los cultivos requieren de un nivel para la mejor calidad del fruto calculado entre la capacidad de campo y un nivel inferior, más alto que el porcentaje de marchitamiento permanente, dicho porcentaje se ha determinado como de un 50 a 70% dependiendo la región en que se encuentre el cultivo, calculado de la humedad de la zona de raíz, y la cantidad que el suelo puede retener.

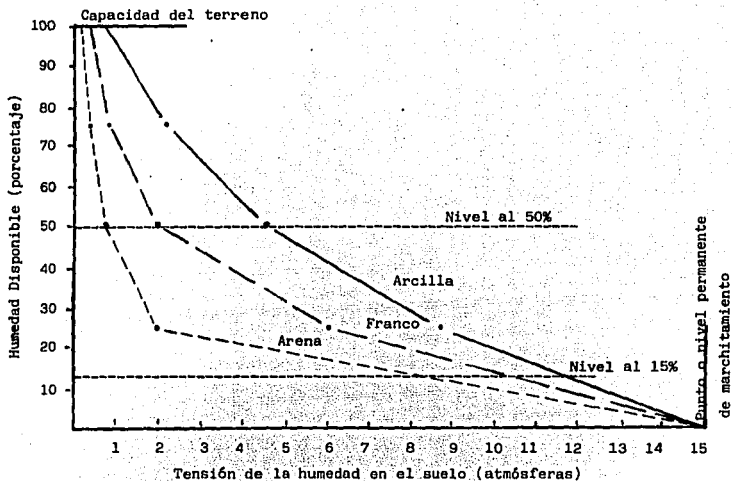
En las regiones húmedas se ha observado según datos obtenidos sobre humedad y rendimiento de los cultivos que lo más práctico para iniciar el riego, es cuando la humedad disponible esta al 55 o 60% de su capacidad. Esto permite contar con el tiempo necesario para completar el riego antes de que la sección final del terreno se seque. (FAO, 1975)

En las regiones áridas y semiáridas los niveles de humedad son del 50% para la mayoría de los cultivos por lo tanto el riego debe ser aplicado, cuando el nivel de humedad baja de este porcentaje.

Por lo tanto para que la planta no se esfuerce demasiado el límite inferior de humedad debe ser del 15 al 20% del total disponible de agua, que sirve para planear el riego en la mayoría de los cultivos. Para ciertos cultivos especiales se necesita un nivel más alto del 40 al 50% para lograr óptimos resultados económicos.

La humedad es más accesible a las plantas, si hay una tensión baja en el suelo (atmósferas). Los valores de tensión varían dependiendo el tipo de suelo por ejemplo para un suelo arcilloso, loam y arenoso a un 50% de humedad se obtiene: Figura 6.

Figura 6. Curvas de suministro de humedad en tres capas del suelo.



Fuente: USDA, 1975.

La capacidad del terreno representa 100% de humedad disponible, el punto o nivel de marchitamiento permanente se registra en 15 atm a una humedad de 50%; la tensión para los suelos arcillosos es de 4.5 atm; para francos de 2 atm y para los arenosos de 0.75 atm. A una tensión de 2 atm la humedad en los 3 diferentes tipos de suelo es la siguiente: 75% para arcillosos, 50% de franco y 25% para arenosos. Es importante señalar que para mantener un nivel de humedad disponible en el terreno debe considerarse el aspecto económico del riego, y el fin al que se destinara el producto, estos factores involucran costos de mano de obra y equipo que repercuten finalmente en el rendimiento, calidad y precio en el mercado.

2.5.4 Eficiencia

La cantidad necesaria de riego es el volumen que debe ser aplicado en la superficie para tener la seguridad de que el líquido sea retenido en el suelo, pero sea cual fuere el método de riego empleado ningún sistema llega a hacer 100% eficaz, ya que existen pérdidas inevitables por una mala distribución del agua en el terreno, filtraciones más abajo de la raíz, pérdidas en los bordes y surcos. Aún en los sistemas de aspersión hay pérdidas por la evaporación de la misma aspersión y retención de agua en el follaje de la planta.

Eficiencia de aplicación del agua (Ea).

En cualquier método de riego la eficiencia en el campo varía, ya sea por las condiciones climáticas propiedades físicas del suelo y la forma de operación, teniéndose que para riego de gravedad el valor de ésta eficiencia suele ser aproximadamente del 60 al 65% mientras que en un sistema de aspersión bien proyectado la eficiencia puede llegar al 75% y en un riego por goteo del 90%. (Israelsen y Hansen, 1975) . Se representa de la siguiente manera:

$$\text{Cantidad Total} = \frac{\text{Cantidad neta reemplazable}}{\text{Eficacia del sistema}}$$

Eficiencia de conducción del agua (Ec).

Se define como la relación que existe entre el agua servida a la parcela y el agua tomada de la fuente con destino a la parcela dicha relación se expresa:

$$Ec = \frac{LN}{LB} \times 100 \text{ donde:}$$

Ec = Eficiencia de conducción, %.

LN = Lámina neta, cm.

LB = Lámina bruta, cm. Agua tomada del caudal a la parcela.

2.6 Cuando Regar

Después de conocer la cantidad de agua que tiene que aplicarse a un cultivo es necesario saber el momento de dicha aplicación ya sea cuando se tiene el cultivo en el terreno, o para fines de programación.

2.6.1 Métodos directos

1) Tacto: Es uno de los métodos más antiguos, consiste en una inspección ocular y al tacto realizada en muestras de suelo de la zona radicular.

2) Gravimétrico: Se realiza mediante la extracción de muestras de suelo secas durante 24 horas a una temperatura de 105 a 110°C hasta obtener un peso constante, posteriormente para saber el contenido de humedad se aplica la fórmula siguiente:

$$Ps = \frac{Psh - Pss}{Pss} \times 100 \quad \text{donde:}$$

P_s : Peso del suelo

P_{sh} : Peso del suelo húmedo

P_{ss} : Peso del suelo seco

2.6.2 Métodos indirectos

1) Tensiómetros: Este instrumento permite medir la humedad del suelo directamente en el terreno. Consiste en una capa de arcilla porosa conectada por un tubo, del cual sale un pequeño tubo capilar que penetra en un recipiente de mercurio. El aparato debe enterrarse a la profundidad adecuada, se llena de agua hasta equilibrarse con la del terreno, a medida que el suelo empieza a secarse registra una tensión que permite hacer una lectura. La escala de estos instrumentos esta dada en centésimas de atmósfera o en cm. de agua. Si alguna tensión excede 0.85 cm de atm. el aire penetra y el instrumento pierde precisión.

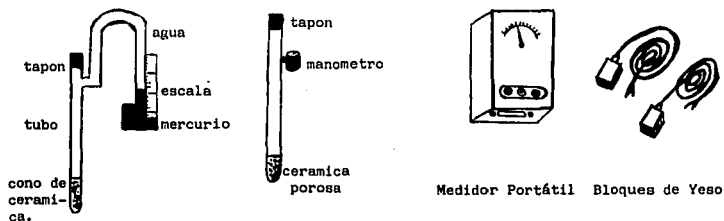
2) Instrumentos a base de resistencia eléctrica: Consiste en colocar dos electrodos dentro de un bloque de yeso o de otro material como fibra de vidrio, nylon, etc. como material poroso que al saturarlo y colocarlo en el terreno, a una profundidad determinada, dejará que la humedad dentro de éste se mueva.

Cuadro 13. Guía para la estimación de la parte de humedad aprovechable que ha sido extraída del terreno.

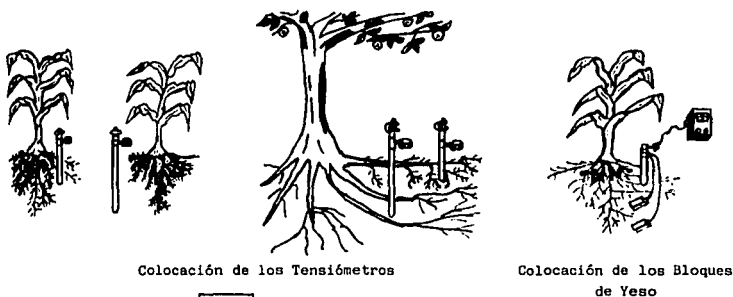
Falta de humedad del suelo	Tacto y aspecto de falta de humedad, en cm de agua por m de suelo		
	Textura gruesa	Textura media	Textura fina o muy fina
0 %	Cuando se comprime no sale agua de la porción de terreno pero queda una huella húmeda de la muestra de suelo en la mano. 0.0	Cuando se comprime no sale agua de la porción de terreno, pero queda una huella húmeda de la muestra de suelo en la mano. 0.0	Cuando se comprime no sale agua de la porción de terreno pero queda una huella húmeda de la muestra de suelo en la mano. 0.0
0 - 25 %	Se puede formar una bolita con dificultad, que se rompe fácilmente y que no es untuosa, o sea no se adhiere a la mano. 0.03 a 3.4	Se puede formar una bolita que se moldea fácilmente y es muy untuosa si hay un contenido relativamente de arcilla. 0.0 a 4.2	Se forma un cilindro con facilidad cuando se amasa entre los dedos, tiene un tacto untuoso. 0.0 a 5.0
25 - 50 %	Se puede llegar a formar una bolita bajo presión, pero no se mantiene compacta. 3.4 a 6.7	Se puede formar una bolita relativamente plástica que resulta algo untuosa cuando se presiona con los dedos. 4.2 a 8.3	Se forma una bolita o pequeño cilindro cuando se la amasa entre el pulgar y el índice. 5.0 a 10.0
50 - 75 %	Seco en apariencia no puede formarse una bolita empleando únicamente la presión. 6.7 a 10.0	Se amigaja pero se mantiene relativamente compacta cuando se le somete a presión. 8.3 a 12.5	Relativamente moldeable se puede formar una bolita cuando, se presiona un poco de terreno. 10.0 a 15.3
75 - 100 %	Seco el suelo se disgrega entre los dedos. 10.0 a 15	Polvoriento seco a veces se encuentra en pequeñas costras que se reducen a polvo al romperse. 12.5 a 16.7	Duro muy reseco apretado a veces tiene costras que se disgregan en la superficie. 15.8 a 20.8

Fuente: USDA, 1975.

Figura 7 . Métodos directos para medir la humedad del suelo.

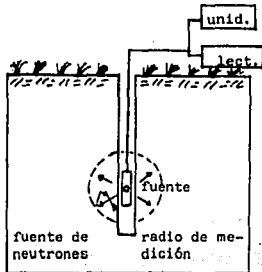


Tensiómetros



Colocación de los Tensiómetros

Colocación de los Bloques de Yeso



Medidor de humedad por dispersión de neutrones



Medidor de humedad Speedy (método químico)

3) **Aspersores de neutrones:** Es un aparato que consiste en un tubo metálico de 1 a 1.5 cm de largo y 5 cm de diámetro instalado verticalmente en el suelo, por la apertura superior se aplica una pequeña fuente de radioactividad a la profundidad que se desea medir la humedad. Al aplicar la radioactividad los neutrones atraviesan las paredes del tubo y penetran en el suelo, si hay humedad chocan contra los núcleos de hidrógeno del agua disminuyendo la velocidad de neutrones, ésta disminución por colisión de los átomos de hidrógeno determina una medida directa del contenido de agua en el suelo, ya que todo el hidrógeno en el suelo está en forma de agua.

Mediante un detector se registra el número de neutrones que llegan amortiguados en un minuto, el número de cuentas por minuto se relaciona con el contenido de humedad.

4) **Medidor de humedad "Speedy":** Es un método químico en donde se utiliza carburo de Ca el principio de este método es que una cantidad dada de humedad reacciona con el carburo de Ca para producir un volumen específico de gas (acetileno). La presión del gas se lee en un manómetro el cual ha sido calibrado para que se lea en porcentaje de humedad, referida al peso de la muestra en húmedo.

2.6.3 Intervalo de riego

Se define como el número de días que deben transcurrir entre un riego y otro. Depende del consumo de agua de los cultivos y de la cantidad de humedad disponible en la zona de la raíz. También está en función del suelo como del tipo de cultivo, por ejemplo los suelos poco profundos deben ser regados con mayor frecuencia que los profundos de textura fina.

El consumo de humedad del cultivo aumenta con el crecimiento de la planta así tenemos que durante el período de germinación y el brote de la planta debe existir agua en abundancia para lograr un firme sistema de plantas, a medida que se acerca el período de floración debe dejarse menos días de intervalo. En el período de maduración no se requiere tantas aplicaciones y el intervalo de riego es más espaciado. Al madurar el fruto ya no es necesario el riego.

El intervalo de riego es afectado por la precipitación que se presente en ese momento, ya que proporciona parte del agua necesaria para el crecimiento -

de la planta y las condiciones climáticas que la acompañan reducen el valor del uso consuntivo y como consecuencia el intervalo de riego se extiende.

Para formular un plan y sistema de riego debe tomarse en cuenta que la frecuencia del riego depende de la proporción de agua suministrada y retenida cuando el cultivo transpira su máximo y el promedio de consumo durante éste.

Riego según la apariencia del cultivo.

El aspecto del cultivo aporta ciertos indicios en cuanto a la época de iniciar el riego, sin embargo a veces resulta engañoso según el tipo de cultivo. Por ejemplo un aspecto de marchitamiento temporal durante las horas más calurosas del día sugiere que se requiere más cantidad de agua, pero hay plantas que no muestran marchitamiento sino hasta que su crecimiento está seriamente afectado o por causa de otro daño; además si el agricultor se espera a observar un síntoma de marchitamiento para iniciar el riego el tiempo que se tarde, para aplicar el riego en todo el terreno no va a hacer suficiente para evitar daños en el cultivo o sólo que el aplicador esta familiarizado con ciertos cultivos con suelos específicos.

Por consiguiente el mejor y más eficaz método para determinar el momento del riego es medir o calcular el nivel de humedad del suelo mediante métodos indirectos, los cuales son demasiados costosos y no todos son adecuados para aplicarse sobre el terreno.

2.7 Sistemas de Riego

El riego se define como la aplicación artificial de agua al terreno con el fin de suministrar a las especies vegetales la humedad necesaria para su desarrollo. En sentido más amplio, la irrigación puede definirse como la aplicación de agua al terreno con los siguientes objetivos: (Israelsen, 1975)

1. Proporcionar el agua necesaria para que los cultivos puedan desarrollarse - realizando sus funciones fisiológicas.
2. Asegurar las cosechas contra sequías de corta duración.
3. Refrigerar el suelo y la atmósfera para mejorar las condiciones ambientales para el desarrollo vegetal.
4. Disolver sales contenidas en el suelo.
5. Reducir la probabilidad de formación de drenajes naturales.
6. Dar tempero a la tierra.

Métodos de irrigación.

Los métodos de irrigación son para aplicar el agua en una forma uniforme, y así cada parte del área irrigada reciba la misma cantidad de agua. Algunos de los sistemas de irrigación más utilizados son los siguientes:

I. Riego por Gravedad: Superficiales.

- a) Por inundación
 - Inundación libre
 - Entarquinamiento
- b) Melgas
 - Melgas en contorno
 - Melgas rectas
 - Melgas tipo Río Lerma
- c) Surcos
 - Surcos normales
 - Corrugaciones
 - Surcos especiales
- d) Cajetes

II. Riego Presurizado.

- a) Aspersión
- b) Microaspersión
- c) Goteo
- d) Burbujeante

III. Riegos Subterráneos.

- a) Subirrigación
- b) Subterráneo por difusión

Algunos de éstos se ilustran en la figura 8.

I. Riego por gravedad.

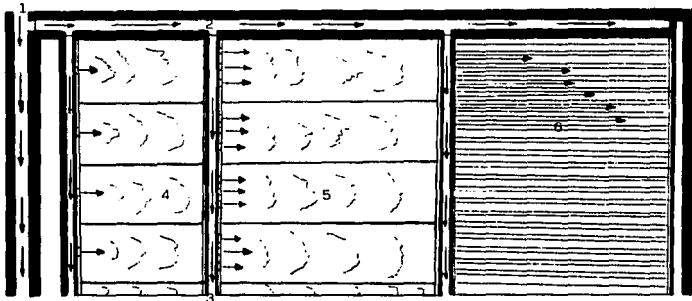
En cuanto a los riegos por gravedad también llamados métodos tradicionales que son aplicados en surcos y canales se han practicado en todo el mundo en las más diversas circunstancias, los métodos predominantes hasta hoy son usados desde hace miles de años, estos consisten en desviar una corriente de agua desde una fuente abastecedora de un campo hacia los surcos o camellones, dejando que el agua fluya cuesta abajo por gravedad.

Ningún cambio básico se ha realizado en estos métodos de riego aunque se han introducido ciertos refinamientos o cierto grado de perfeccionamiento. La eficiencia en la aplicación del agua de riego radica en la relación entre la cantidad de agua que humedece relativamente la zona de las raíces del cultivo y la cantidad de agua que se descarga de la fuente.

Por regla general mediante la conducción a cielo abierto y los métodos de riegos superficiales, menos de la mitad del agua descargada llega a las plantas. La eficiencia de algunos proyectos considerados bien planeados varía entre 34 y 70% en los países menos desarrollados del mundo, las eficiencias del riego varían entre 20 y 30% estas bajas eficiencias son atribuidas en parte a las pérdidas durante la conducción ocasionadas por infiltración, evaporación, etc. (Israelsen, 1975)

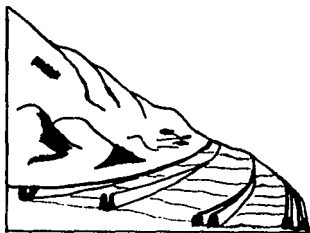
Las pérdidas en el terreno se deben a una mala distribución de agua en las parcelas ocasionada por una inadecuada preparación de la tierra y a la fal

Figura 8. Algunos métodos de riego.



- 1 Canal Principal (suministro de agua)
- 2 Canal Secundario
- 3 Canal Terciario

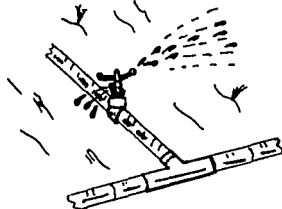
- 4 Riego por Inundación en Charcos
- 5 Riego por Inundación en Melgas
- 6 Riego por Surcos o Corrugaciones



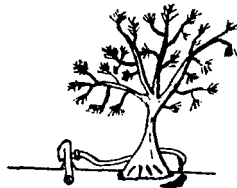
Melgas según Curvas de Nivel



Surcos en Curvas de Nivel



Riego por Aspersión



Riego por Goteo

ta de conocimientos técnicos del agricultor sobre el empleo del agua, originando excesos en las aplicaciones del riego y la consecuente percolación profunda. Algunos de estos métodos más utilizados son los siguientes:

A) Inundación

- Inundación libre: En este método el agua es aplicada al suelo sin contar con bordos que guíen el movimiento del agua sobre la superficie del suelo. Se usa para cultivos poco remunerativos, en suelos de textura pesada y en regiones donde exista una gran abundancia de agua y esta sea barata.
- Entarquinamiento: En este método se divide el terreno en pequeñas superficies planas, construyéndose bordos alrededor de estas áreas para que pueda ser el agua controlada, no es recomendado para cultivos sensibles a excesos de humedad.

B) Melgas

- Melgas en contorno: Se usa construyendo bordos con base a las curvas de nivel, el límite máximo de pendiente en terrenos en donde se puede utilizar es de 2.5%. No es aplicable en suelos arenosos o que tienden a agrietarse, utilizándose generalmente, en pastos, cereales, arroz y frutales.
- Melgas tipo Río Lerma: Es una modificación de las melgas rectas ya que el sentido del riego debe hacerse en el sentido corto de las melgas, generalmente es usado para alfalfa.
- Melgas rectas: Este método se realiza dividiendo la parcela en varias fajas por bordos que corran en el sentido de la pendiente dominante, generalmente de 0.1 a 2.0 % en el sentido del riego.

C) Surcos

- Surcos normales: En éste método no se moja totalmente la superficie del suelo, por lo tanto para obtener un riego eficiente depende del movimiento lateral del agua en el suelo. Debe usarse en pendientes de terreno de 0.1 a 1.0% no es utilizable en suelos arenosos.
- Corrugaciones: El agua se aplica por medio de pequeños surcos que corren hacia abajo del declive desde la regadera. Se usa en suelos lentos para absorber.

ver el agua y con poca impermeabilidad.

- Surcos especiales: Estos surcos son los que por ciertas condiciones, no pueden trazarse como surcos normales, entre los principales tenemos: surcos en contorno, en camellones, en terrazas, en zig-zag, freseros. Generalmente son utilizados para terrenos con pendientes de 8 a 25 %.

D) Cajetes

- Se usa principalmente en frutales, se realiza un bordo circular a cada árbol con igual diámetro que el follaje, es utilizado en zonas con limitación de agua pero con mano de obra abundante y barata.

Ventajas Riego por gravedad.

- a) No generan gastos extras en su aplicación
- b) No se necesitan conocimientos especiales para realizarlo
- c) Se aprovecha solamente la energía potencial del agua para su conducción y aplicación
- d) Utiliza agua con partículas en suspensión

Desventajas.

- a) Es necesario mayor volumen de agua por unidad de superficie
- b) Peligro de acumulación de agua en el subsuelo, encharcamiento y salinidad
- c) Costosa y lenta preparación del terreno
- d) Necesidad de cuidado en la aplicación del agua de riego (vigilancia continua por parte del regador).

II. Riego técnicado.

El riego de sistema técnicado es el conjunto de equipos, tanques, tuberías y aparatos de control que aunados a una fuente abastecedora, aplican el agua de una forma completamente uniforme y así, cada parte del área irrigada recibe la misma cantidad de agua, este sistema es orientado a hacer un uso más óptimo del agua. (Hogg, 1981)

A) Riego por aspersión

La invención y el perfeccionamiento de los medios modernos para elevar el agua y el progreso en la aplicación de metales ligeros anticorrosivos y plásticos para la elaboración de tubos, han estimulado el sistema de irrigación aérea. Este método simula la lluvia en todos sus aspectos, con una importante,

excepción: esta lluvia simulada puede ser controlada tanto en el tiempo como en la intensidad. El riego por aspersión esta basado en el principio de que el agua esta llevada a presión, por medio de tuberías de presión constante hasta un sistema de tubos de riego portátiles, ligeros y fáciles de conectar con aspersores instalados a intervalos regulares.

Ventajas del Riego por Aspersión.

- a) La superficie a regar no necesita preparación previa, se puede operar en cualquier tipo de suelo y pendiente.
- b) Se realiza una gran economía de agua comparada con el riego por gravedad.
- c) Pone a disposición de los regantes condiciones de riego muy flexibles.

Desventajas.

- a) Su costo inicial es elevado.
- b) La evaporación es excesiva, si las gotas son excesivas así como el viento y el calor son intensivos.
- c) Provoca el desarrollo de las malas hierbas.
- d) Puede provocar apelmazado y/o erosión del suelo.

B) Riego por Microaspersión.

Se considera que el sistema de microaspersión es muy parecido al sistema de goteo, pues, consiste en los mismos componentes sin embargo, la diferencia es que el agua se aplica asperjada. Los caudales en este sistema, varían de 40 a 240 l/h en microaspersión y de 2 a 4 l/h en goteo. Algunos autores los agrupan en el riego localizado estableciendo como diferencias sus gastos y que el microaspersor dispone de deflectores móviles. Este sistema es utilizado principalmente en huertos y el de goteo en invernaderos, camas o en cualquier medio de cultivo en macetas. (Winters, 1978)

Ventajas.

- a) El riego de huertos con este sistema reduce las pérdidas de agua por arrastre del viento.
- b) Evita proliferación de malas hierbas así como el control de éstas.
- c) Los gastos hidráulicos son bajos lo que refleja ahorro de agua considerable
- d) Maneja una mayor área de mojado evitando usar un gran número de emisores por árbol.

C) Riego por Goteo.

Se considera que este sistema, lleva el agua necesaria para los cultivos por medio de tuberías especiales, a través de una red diseñada en el terreno. Esta agua llega a la base de la planta por emisores (orificios) que funcionan como goteros. Este sistema a sido aceptado mayormente en regiones áridas, para regar cultivos ampliamente rentables como árboles de fruta, nuez y vid principalmente; pero no ha sido bien aceptado para cultivos de campo. (Withers, 1978)

Ventajas.

- a) Gran economía en el consumo del agua.
- b) Control adecuado de la aplicación y distribución del agua.
- c) Posibilidad de usar aguas con bajo contenido de sales.
- d) No existe pérdidas de agua a causa de los vientos como en aspersión.
- e) Facilita el control de malas hierbas.
- f) Aumento en calidad y producción de frutos.
- g) Fertilización de nutrientes.
- h) Evita lixiviación de nutrientes.
- i) Enfermedades fungosas y bacterianas, se reducen considerablemente.

Desventajas.

- a) El costo inicial es elevado, pero variable dependiendo del cultivo, grado de automatización y topografía.
- b) Taponamiento de goteros frecuente.
- c) Requiere de personal especializado.
- d) Restringido a cultivos en hilera.
- e) Requiere de agua limpia sin partículas en suspensión.

III. Riegos Subterráneos.

A) Riego por subirrigación

Se define, por medio del cual se proporciona agua a las plantas desde abajo de la superficie del terreno, mediante una fluctuación controlada del nivel del agua subterránea, para aplicarse éste método es necesario una serie de requisitos tanto para los suelos como para el agua de riego, el agua puede aplicarse por medio de zanjas o tubos.

B) Riego subterráneo por difusión.

Es el sistema de riego para aplicar el agua y fertilizante, en el suelo - en forma localizada, poniendo a disposición de la planta los elementos necesarios para el crecimiento y desarrollo de las mismas, con el suministro de agua a través de una bujía porosa.

Dicho sistema consiste en la utilización de una bujía de material filtrante de 5 cm de longitud y 0.5 cm de diámetro interior, con un conducto interior en el cual circula agua para interconectarse con la línea de riego principal, - que mediante la filtración del agua al suelo en el área próxima a la planta, - la mantiene en un estado de agua aprovechable para realizar su desarrollo.

Ventajas.

- a) Se puede regar con cantidades mínimas de agua.
- b) Es posible aplicar fertilizantes, herbicidas e insecticidas solubles en - agua.
- c) Es de bajo costo y a largo plazo se amortiza la inversión.

Desventajas.

- a) Requiere abastecimiento estable de agua.
- b) Necesita de agua limpia, sin materiales sólidos (arenas, basuras, etc) o - bien la utilización de filtros.
- c) Agua sin sales o con baja cantidad (300 a 1300 ppm).
- d) Agua con bajo contenido de Ca.

Cuadro 14. Comparación del volumen de aplicación en algunos sistemas de riego.

Sistema de riego	Consumo diario/árbol (volumen)
Superficial (surcos)	80 lts
Riego microaspersión	28 lts
Riego por goteo	18 lts
Riego subterráneo por difusión	8 lts

Consumo estimado para huertos de naranjo de 10 años de establecimiento, en el lote experimental en el huerto de San Patricio, B.C.S, en 1985.

Fuente: COMITAN, 1985.

2.8 Importancia de la Aplicación Racional del Agua

El agua como mayor constituyente de la litósfera (es el mayor componente de la atmósfera y la litósfera), es la sustancia más difundida, cubriendo aproximadamente el 73% de la superficie terrestre. En la naturaleza el agua constituye una gran parte del peso fresco de algunas plantas (95%). Muchos forrajes contienen de 75 a 80% de agua, y aún los troncos de árboles tienen un contenido alto de agua.

Tales consideraciones pueden convencernos que el agua es una sustancia importante y por tal razón es la más indispensable en la vida diaria. (Linarez, 1979)

El agua es un elemento esencial para los procesos de vida vegetal y animal, influyendo en su existencia y desarrollo. Su disponibilidad y lo accesible que sea para su uso por el hombre, permitira un desarrollo amplio o limitado desde todos los aspectos incluyendo los primordiales de salud, hasta los que regulan el nivel de vida en la humanidad desde el punto de vista social y económico de las poblaciones agrícolas, industriales y urbanas.

Debido a la explosión industrial desde el siglo pasado y demográfica de éste siglo, se ha utilizado en forma masiva el agua dulce superficial, la que es más evidente y accesible para su uso por el hombre. (Benton, C. 1988)

El aprovechamiento de éstas aguas está llegando a su máximo pues, casi todas las corrientes y almacenamientos superficiales como presas, lagos y lagunas no satisfacen las necesidades totales del hombre, y en algunas zonas se tiene carencia total de esta fuente. (Johnson, E. 1980)

Lo anterior a incrementado en los últimos años la utilización de las aguas subterráneas para satisfacer las necesidades existentes.

La población mundial y en especial la mexicana aumenta más cada día y requiere que la producción alimenticia de origen animal y vegetal aumente también, lo que repercute, en el crecimiento de las áreas de producción agrícola que refleja una utilización mayor del agua de riego. (SARH, 1983)

La escasez regional del agua tendera a verse agrabada, aunado al incremento poblacional. El crecimiento de la superficie cultivable representara sólo una cuarta parte del incremento con la producción agrícola el resto dependera del aumento de los rendimientos, de la intensidad del cultivo, del uso adecuado del agua y suelo.

Las áreas de regadío deberan proporcionar casi el 50% de la producción, pero el 84% del total de la superficie cultivable carecera de riego. (FAO, 1981)

Cuadro 15. Clasificación de acuerdo a las necesidades de riego del país.

Clima	P.P. \bar{x} anual (mm)	Sup.del territorio nacion.%	Observaciones
Arido	400	62.8	Riego indispensable
Semiárido	400 a 600	31.2	Riego necesario
Semihúmedo	600 a 1500	4.5	Riego conveniente
Húmedo	1500	1.5	Riego inecesario

Fuente: Aguilera, Mauricio, 1975.

Como se puede observar, por las características geográficas del territorio nacional, la precipitación se distribuye de manera desigual, al norte del país con escasez, al centro con niveles medios y erráticos y en el sureste altas precipitaciones. Así tenemos que 2/3 partes del territorio se encuentra bajo condiciones de aridez o semiaridez, con bajas precipitaciones que resultan insuficientes para la producción de cultivos de temporal, que aunado a las altas temperaturas que prevalecen en la zona se favorece la evaporación rápida del agua. (UNESCO, 1982)

En México, la sobre explotación de los mantos acuíferos en diversas zonas del país esta provocando un creciente abatimiento, así como salinización de éstos, como en el caso principalmente del Valle de Caborca, de Hermosillo y de Guaymas en el Estado de Sonora. (CNA, 1994)

La investigación en técnicas que ayuden a elevar los rendimientos depende de encontrar la relación que existe entre la cantidad requerida de agua por el cultivo (uso consuntivo) para su óptimo desarrollo y la cantidad de agua dispo

nible.

En las zonas áridas y semiáridas principalmente, donde la cantidad de lluvia no es suficiente, se han planteado algunas alternativas que son: (CNA, 1994)

- 1) Infraestructura para la captación de precipitación.
- 2) Perforación de pozos profundos.
- 3) Utilización del agua de temporal en combinación con el agua de riego donde se tenga disponibilidad.
- 4) Cambio a cultivos que tengan menores requerimientos de agua tomando en cuenta las condiciones socioeconómicas de la entidad.
- 5) Aplicación de diferentes técnicas de riego para una mejor optimización del agua (riego por goteo, difusión, presurizado, microaspersión, hidropónico, etc).

Por tal motivo se debe ampliar la investigación en lo referente a sistemas de riego que permitan el uso más eficiente del agua, de tal forma que se obtenga mayor producción por metro cúbico de agua usada.

De esta manera la agricultura tendrá que justificar el agua que utiliza y las necesidades agrícolas deberán competir con otras demandas de tal manera, que el agua debe usarse tan eficientemente como sea posible. (SARH, 1982)

Por lo anterior es necesario optimizar el agua empleada para riego utilizando diferentes soluciones y técnicas, que pueden ir desde la mejora genética de los cultivos, los sistemas de riego para reducir el gasto del agua empleada así como métodos para medir o estimar la cantidad de agua que requiere una planta como es el caso del uso consuntivo que sirve de apoyo para la mejor eficiencia de los sistemas de riego. (Del Valle, 1993)

2.9 Descripción del Area de Estudio

2.9.1 Localización

En la zona noroeste del Estado de México, se localiza el municipio de Zumpango de Ocampo, a 60 km de distancia de la Cd. de México y a 120 km de la Cd. de Toluca, aproximadamente entre las coordenadas: 19° 43' 33" y 19° 47' 04" de latitud norte; 98° 57' 28" y 99° 11' 57" de longitud oeste del Meridiano de Greenwich, con una altitud de 2550 m.s.n.m. La extensión territorial del Mpio. es de 244.08 Km².

Los límites geográficos son:

- 1) Al norte: Los municipios de Tequixquiác y Hueyoptla.
- 2) Al sur: Con los municipios de Jaltenco y Nextlalpan.
- 3) Al este: Con el municipio de Tecamac y Tizayuca, este último del Edo. de Hidalgo.
- 4) Al oeste: Los municipios de Huehuetoca, Coyotepec y Teoloyucan.

Para el cumplimiento de sus funciones políticas y administrativas el municipio de Zumpango de Ocampo, esta formado por la Cabecera Municipal y por 8 barrios.

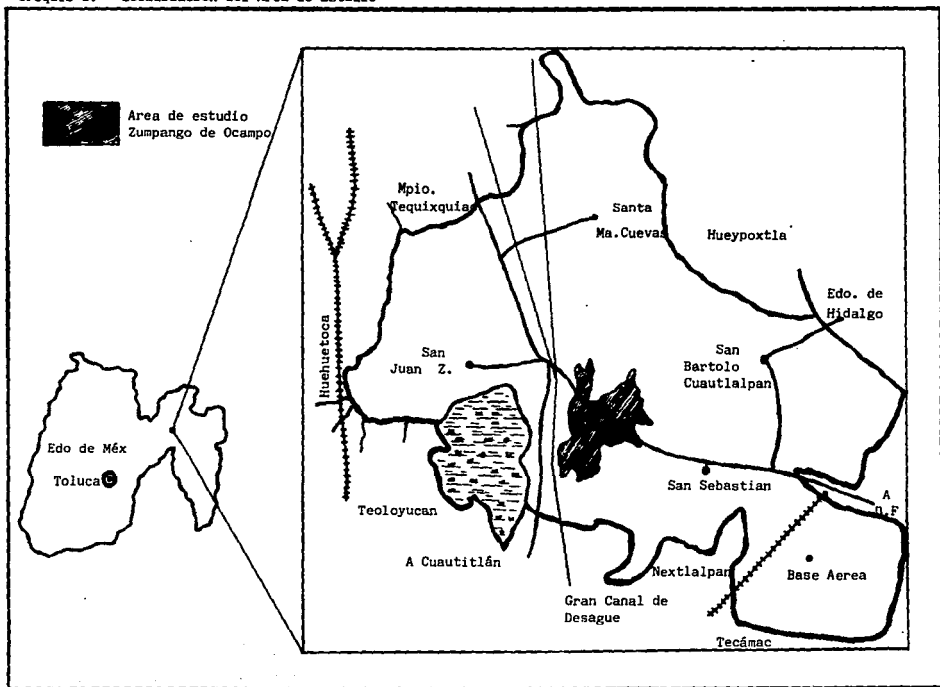
Situación Geográfica.

El municipio de Zumpango de Ocampo esta cubierto en un 50% de superficie plana y algunas mesetas, localizadas entre los límites de Tequixquiác, Cuevas, España, Jilotzingo y Buenavista. Cuenta con pendientes que van de 2% al 5%, principalmente.

2.9.2 Superficie estudiada y uso del suelo

El municipio cuenta con un área total de 24,408.39 has de las cuales 18,432.23 has se destinan al uso agrícola. De dicha superficie el 69.41% (12,432.81 has) son de temporal y el 30.59% (5,638.42 has) son de riego. En relación al uso del suelo forestal se cuenta con 49.13 has, ubicadas en el ejido de San Juan Zitlattepec. En cuanto al uso del suelo pecuario se tiene una superficie de 2,198.63 has. Para uso urbano se cuenta con 1,629.0 has y para uso industrial 1.6 has.

Croquis 1. Localización del Area de Estudio



En referencia a nuestra área de estudio nos enfocaremos a la agricultura bajo condiciones de riego que representa el 30.59 % (5,638.42 has) la cual se localiza en la parte centro y sureste del municipio comprendiendo los barrios de Santiago, San Lorenzo, San Marcos, San Miguel, San Pedro, Santa María, San Sebastián, San Bartolo, Naucalpan, principalmente cuyos ejidos cuentan con suministro de agua pro medio de pozos profundos.

2.9.3 Climatología

El clima que caracteriza a la zona de Zumpango de Ocampo es el templado - subhúmedo, que pertenece al grupo de climas templados y al tipo de los subhúmedos, de los cuales es la variante más seca. La clasificación del clima de esta zona se determino basandose en el sistema de Koppen, modificado por Enriqueta-García.

De acuerdo a la fórmula climática de Zumpango de Ocampo se tiene: $Cw'' (W_o) b (1') g$ que indica que es un clima templado subhúmedo de la variante más seca de los templados, con lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal de 5.6 %. El régimen pluvial medio anual es de 745.0 mm y la temperatura media anual es de 15.2 °C.

La mayor precipitación se presenta en agosto con un valor de 150.4 mm y la mínima en febrero, con un valor de 1.4 mm. Las temperaturas más cálidas se presentan en junio con un valor de 17.5°C y la más fría en enero con un valor de 11.0 °C. Como se aprecia en el climadiagrama.

Existe presencia de sequía intraestival y presenta poca oscilación de las temperaturas medias mensuales. La comunidad vegetativa que esta asociada a este tipo de clima son los bosques de pino, de encino, mixtos y pastizales.

Temperatura.

- Temperatura media anual : 15.2 °C
- Temperatura del mes más cálido: 17.5 °C (junio)
- Temperatura del mes más frío : 11.0 °C (enero)

Oscilación anual de la temperatura media: temperatura media del mes más cálido menos temperatura media del mes más frío = 17.5 - 11.0 = 6.5 °C.

Cuadro 16. Fórmula climática de la zona de Zumpango de Ocampo.

Clave	Designación	Parámetro	Rango designado	Valor Corresp. a Zumpango de O.
C	Grupos de climas templados húmedos	Temp. media		
		Temp. media mes más frío	-3 a 18 °C	11.0 °C
		Temp. media mes más cal.	6.5°C	17.5 °C
c	Subgrupos climas templados	Temp. media anual	12 a 18 °C	15.2 °C
c(W)	Tipo: templado subhúmedo con lluvias en verano	Régimen de lluvias:		
		% de lluvia invernal	5 a 10.2%	5.6 %
		Precip. mes más seco	40 mm	1.4 mm
c(Wo)	Subtipo: el más seco de los-templados, con subhúmedos - con lluvias en verano	Cociente p.p/t	43.2	49.0
W''	Presencia de dos épocas de - sequía	Sequía intraestival	Sí presenta	Sí presenta
(i')	Poca oscilación de t°C	Oscilación anual de t°C	5 a 7 °C	6.5 °C
g	Marcha de la t° tipo ganges	Mes más caliente del año	Antes de junio	Agosto
b	Verano fresco largo	t° media del mes más cálid.	6.5 a 22 °C	17.5 °C

Heladas.

Las heladas se presentan en los meses de noviembre a marzo principalmente.

Precipitación.

- Precipitación anual: 745 mm
- Precipitación del mes más lluvioso: 150.4 (agosto)
- Precipitación del mes menos lluvioso: 1.4 (febrero)

Existe presencia de sequía intraestival, en la zona ya que se presentan dos picos que abarcan los meses de mayo, junio, julio y septiembre.

Granizo.

En los meses de mayo a junio tiene lugar fuertes granizadas en el lugar.

Vientos.

Los vientos dominantes van de noroeste a suroeste según los datos oficiales del Sistema Estatal de Información (SEI). En cuanto a luminosidad los meses con días más nublados son de mayo a octubre en un porcentaje de 50% de días nublados la cual influye en la temperatura.

Cuadro 17. Datos climatológicos de Zumpango de Ocampo.

Estación climatológica: Km. 47 Gran Canal, No. 032.

m.s.n.m.: 2550

coordenadas : 19° 43' 33" lat. norte y 98° 57' 28" long. oeste.

Mes	Temperatura °C	Precipitac. mm
Enero	11.0	19.4
Febrero	13.0	1.4
Marzo	14.8	4.0
Abril	16.8	42.5
Mayo	17.3	72.0
Junio	17.5	117.7
Julio	17.0	126.3
Agosto	17.4	150.4
Septiembre	16.6	113.5
Octubre	15.4	67.8
Noviembre	13.8	20.2
Diciembre	11.7	9.8

2.9.4 Hidrología

Específicamente en el municipio en cuanto a disponibilidad de aguas superficiales sólo cuenta con la laguna rehabilitada recientemente y centro vital del sistema de riego "Los Insurgentes" que cuenta con una capacidad de 100 mill de metros cúbicos, cuyo abastecimiento es originado por las descargas de la Presa de Guadalupe, pero que aún no entra en operación y que beneficiara a 572.41-has en la parte noroeste del municipio principalmente los ejidos de San Juan Ziltaltepec, Cuevas, Bocanegra y otros.

Zumpango no cuenta con arroyos de caudal permanente pero sí con arroyos de caudal sólo en la época de lluvias que drenan directamente a la presa.

Al poniente del centro de la población se localiza el Gran Canal de desahue proveniente de la Ciudad de México que, por medio de plantas de bombeo se utiliza para riego agrícola.

Como ya se menciona anteriormente, el municipio esta ubicado en una zona con recursos de aguas superficiales muy limitadas y ocasionales lo que ha originado que una parte del municipio se abastezca principalmente de aguas subterráneas, para llevar acabo sus actividades agrícolas a través de pozos profundos. El acuífero de la zona recibe aportaciones importantes que provienen del río Pánuco y de las avenidas del río Pachuca.

2.9.5 Geología

El Estado de México esta comprendido dentro de dos provincias geológicas que son: El Eje Neovolcánico y la Sierra Madre del Sur. El Municipio de Zumpango de Ocampo está enclavado dentro de la provincia geológica del Eje Neovolcánico, que esta caracterizado geológicamente por el predominio de rocas volcánicas cenozoicas que datan del terciario y el cuaternario.

En esta provincia hay algunos afloramientos de rocas triásicas litológicamente clasificadas como filitas y pizarras. Del cretácico, afloran rocas sedimentarias marinas de composición carbonatadas, en Apaxco, municipio cercano a Zumpango de Ocampo, estas son explotadas por la industria de la construcción. Las rocas ígneas extrusivas (andesitas, riolitas y basaltos) del terciario, yacen sobre las rocas mesozoicas, cubriendo la mayor parte de esta provincia.

2.9.6 Tipos de suelo

Los suelos que predominan en el área de estudio, según la clasificación de suelos, elaborada por la FAO-UNESCO (1970), modificada por la Dirección General de Geografía e Informática INEGI son los siguientes: Feozem Háptico, Gleysol - (en el área de la Laguna) y en menor proporción encontramos Vertisol Pélico y - Regosol Eutríco; los cuales presentan las siguientes características:

- * Feozem Háptico (HP): Suelos con textura migajón arcillo-arenosa. Color pardo-grisáceo en húmedo. Adhesividad nula y plasticidad ligera. Estructura de forma granular, tamaño medio y desarrollo débil. Porosidad moderada. Drenaje interno drenado.
- * Gleysol (Gh): Suelo con textura arcillosa. Color gris muy oscuro en húmedo estructura en forma masiva. Drenaje interno, moderadamente drenado. Suelos con más de 15 % de saturación de sodio en alguna porción, a menos de 125 cm de profundidad.
- * Vertisol Pélico (Vp): Suelos con textura migajón - arcillosa. Color negro en húmedo. Adhesividad moderada, plasticidad moderada. Estructura de forma de bloques angulares, tamaño fino y desarrollo moderado. Porosidad abundante y constitución cavernosa. Drenaje interno drenado.
- * Regosol Eutríco (Re): Presentan textura franca. Color pardo oscuro en húmedo adhesividad nula y plasticidad ligera. Estructura en forma granular, tamaño fino y desarrollo débil. Drenaje interno drenado.

2.9.7 Agricultura

El municipio de Zumpango de Ocampo, es uno de los lugares en donde su agricultura se basa principalmente en los cultivos básicos, granos y en menor proporción cultivos perenes.

Los cultivos sembrados son: Maíz de grano, cebada de grano, trigo de grano frijol, avena, alfalfa, nopal de tuna y algunas hortalizas en una superficie de 18,432.23 has que representa alrededor del 75.51 % de la superficie total de la entidad. De estas has. el 69.41% es de agricultura de temporal y el 30.59% es de riego.

En cuanto a la producción de granos básicos el que destaca por su importancia es el cultivo del maíz, con una superficie sembrada de 6,906.16 has que representan el 37.46% del total del área sembrada de granos básicos que es de 13,540.0 has.

Durante los últimos 3 años, la producción promedio de maíz fue de 20,121 toneladas anuales que representa el 1.0 % de la producción total del Estado de México que es de 2,000,000 de ton. anuales. El rendimiento promedio en la entidad es de 2.5 ton/ha.

De la misma forma que el cultivo del maíz, los demás básicos reflejan una baja productividad, cuyo problema que enfrentan es la baja calidad, debido al uso en algunos casos, de aguas tratadas, así como las hortalizas debido a una tecnología obsoleta en la cosecha y empaclado.

Así mismo existen otros problemas como son: la falta de planeación de cultivos que aprovechen en una mejor manera el recurso agua, sobre todo, en zonas ejidales que cuentan con pozos profundos y que en muchos de los casos por no tener un conocimiento previo de las necesidades del cultivo, utilizan grandes volúmenes de agua para cultivos de autoconsumo y forrajeros, que en su mayoría no son redituables, tanto económica como productivamente.

La falta de eficiencia productiva, la poca diversificación de sus actividades económicas y la falta de organización por parte de los productores así como la mala o nula asistencia técnica, acidez de los suelos agrícolas, insuficiente mecanización, escasez de financiamiento y sistema de comercialización en poder de intermediarios y acaparamientos, son algunos de los problemas que se enfrentan en el municipio.

Por otra parte es importante, hacer notar que el riego por medio de aguas superficiales abarca 1,518.0 has abastecidas por aguas negras extraídas mediante plantas de bombeo provenientes del Gran Canal, que incluye los municipios de San Juan Zitlaltepec, Santa Ma. Cuevas, San Miguel Bocanegra y Bo. de San Juan así como del proyecto de riego "Los Insurgentes" que abasteciera a 572.41 has cuyo suministro proviene de la Laguna de Zumpango, pero que aún no entra en funcionamiento, la cual beneficiara a las localidades de San Juan Zitlaltepec, Bocanegra, Santa Ma. Cuevas y otras.

Cuadro 18. Producción agrícola 1994, Zumpango de Ocampo.

Producto	Superficie Temporal has	Cosechada Riego has	Total	Volumen de Temporal ton	Produce. Riego ton	Total	Rend. \bar{x} ton/ha
Cereales							
Cebada	3,310.00	86.00	3,596.00	7,020.00	172.00	7,020.00	2.0
Maíz	3,652.00	3,254.00	6,906.00	5,478.00	14,643.00	20,121.00	2.9
Trigo	1,672.00	32.00	1,704.50	3,347.00	64.00	3,347.00	2.0
Legumbres							
Frijol	1,260.00	72.00	1,332.00	756.00	43.20	799.00	600.0kg
Hortalizas							
Calabacitas	-----	15.00	15.00	-----	150.00	150.00	10.0
Lechuga	-----	60.00	60.00	-----	1,500.00	1,500.00	25.0
Zanahoria	-----	10.00	10.00	-----	400.00	400.00	40.0
Tomate	-----	15.00	15.00	-----	180.00	180.00	12.0
Forrajes							
Alfalfa	-----	1,211.00	1,211.00	-----	76,293.00	76,293.00	63.0
Maíz	-----	532.00	532.00	-----	37,240.00	37,240.00	70.0
Total	10,094.50	5,287.50	15,381.50	16,601.00	130,685.20	147,286.20	

Fuente: Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, 1994.

El riego por medio de aguas subterráneas extraídas por pozos profundos - abastecen a 1,194.70 has beneficiando al Bo. de San Sebastian, Bo. de San Lorenzo, San Bartolo Cuautlalpan, Bo. de San Miguel, San Bartolo Naucalpan, Bo. San Pedro, Bo. Santa María y Bo. de Santiago.

La agricultura de temporal abarca 12,794.0 has en todo el municipio. El abastecimiento de agua potable proviene de 8 pozos localizados cada uno de ellos en las 11 principales localidades del lugar. El suministro del líquido - así como la cobertura actual de las redes es insuficiente a nivel municipal, el 5.05 % de las viviendas no cuentan con este servicio equivalente a 581 viviendas afectando a 3,212 habitantes, las viviendas que cuentan con este servicio son el 94.95% equivalente a 11,494 viviendas.

Por ello el agua como elemento, constituye la fuente del desarrollo social, económico y ecológico en la entidad, por su creciente escasez, se ha convertido en un tema prioritario de política actual. Es necesario enfocar la política hídrica a una atención básica para propiciar un uso racional del líquido, por medio de la concientización de la población, así como realizar un servicio eficiente en todas las etapas del proceso hidráulico que son: el acopio, la distribución, la recolección y el saneamiento, aunque el estado y el municipio tiene la función de ofrecer, los servicios a toda la población, los sectores sociales y privados deben ser corresponsables en el uso y la preservación del agua.

2.9.8 Aspectos socioeconómicos

La población como parte principal del desarrollo de México es sin lugar dudas la base para planear. México como un país de los más poblados del mundo tiene un reto que atender a corto, mediano y largo plazo. La población del Estado de México es un factor importante en el que cuenta para su desarrollo, sin embargo, su actividad económica presenta una serie de retos que se deben atender con decisión.

Población económicamente activa en el sector agropecuario.

El municipio de Zumpango de Ocampo ocupa el décimo noveno lugar en población, en relación a los 112 municipios del Estado de México. Según los Censos locales de 1993 realizados por el municipio y localidades del lugar, Zumpango

registró una población de 88,467 habitantes, cifra que arroja una tasa de crecimiento anual promedio de 3.45 % respecto de la correspondiente a 1980 que entonces fue de 45,680 habitantes con un aumento de 3.59 % anual, en el transcurso de la década anterior. Esta situación revela una leve disminución de la tasa de incremento poblacional, que ha modificado demográficamente el municipio, iniciando una tendencia a su estabilización.

La población económicamente activa, por sector en Zumpango, se observa en el siguiente cuadro.

Cuadro 19. Población ocupada por sector de actividad, 1990. Zumpango de Ocampo.

Actividad	Población
* Agricultura, ganadería, caza y pesca	2,426
* Minería (materiales para construcción)	16
* Extracción de petróleo y gas (reparto)	29
* Industria manufacturera	4,667
* Electricidad y agua	115
* Comercio	2,193
* Transporte y comunicaciones	965
* Servicios financieros	105
* Administración pública y defensa	905
* Servicios comunales y sociales	1,230
* Servicios profesionales y técnicos	219
* Servicios de restaurantes y hoteles	302
* Servicios personales y mantenimiento	1,706
* No especificado	407
Total	18,669

Fuente: "Estado de México, resultados definitivos; tabulados básicos; tomo III IX Censo General de población y Vivienda 1990" INEGI.

Con la creación y aprovechamiento racional de los usos del suelo para uso industrial, se pretende dar en su oportunidad, empleo en su propio municipio a hombres y mujeres en edad productiva; evitando en lo posible, la migración a la Ciudad de México y su área conurbada, que actualmente es extremadamente elevada y ha ocasionado, y seguramente seguirá ocasionando si no se inician medidas a corto, mediano y largo plazo, otra serie de fenómenos sociales y económicos, los cuales inevitablemente repercutirán generando impactos negativos en la población y su territorio así como en el comportamiento de la población económicamente activa.

2.9.9 Tenencia de la tierra

En la actualidad en el municipio la tenencia de la tierra tiene las siguientes variantes jurídicas:

a) Ejidal: Corresponde a los siguientes poblados:

Cuadro 20. Ejidos por comunidad 1991 y 1993, Zumpango.

Total de ejidos	Comunidades	Sup.has.	Sup.has.	Nº ejidat.
1	Zumpango Cerro el Nido	257.00	257.50	89
1	San Bartolo Cuautlalpan	1,673.00	1,330.00	304
1	San Juan Zitlaltepec	2,247.00	2,025.00	950
1	San Miguel Bocanegra	200.00	207.50	206
1	San Miguel y San Lorenzo	37.00	41.00	37
1	San Sebastián	94.00	94.00	94
1	Santa María Cuevas	1,500.00	1,418.00	332
1	San Bartolo Naucalpan	-----	725.00	61
TOTAL				
8		6,008.00	6,098.00	2,073

Fuente: Procuraduría Agraria Delegación Regional Estado de México. 1991 y 1993.

b) Pequeña Propiedad: Con 2,441 pequeños propietarios, con dotaciones promedio de 1.67 y 5.36 hectáreas, por ejido y pequeños propietarios respectivamente.

c) Comunal: No existe en esta localidad.

d) La propiedad privada: Propiamente dicha, definida en las áreas no comprendidas en los anteriores, corresponde al 75% del total del municipio. De ahí que el 90% de la propiedad es irregular, es decir, no están inscritas en las Oficinas del Registro Público de la Propiedad, e incluso son omisas para efectos fiscales.

Cuadro 21. Distribución del riego en el Municipio de Zumpango de Ocampo.

* Riego por Pozo Profundo.

Pozo	Nombre de la Unidad	Barrio	Sup. Benefic. has		Núm. de Usuarios	
			Ejido	Peqprop Tot	Ejido	P. Prop Tot
1	San Juan **	San Juan	-----	83 83	-----	28 28
2	San Marcos	Sn. Marcos	-----	98 98	-----	72 72
3	Bo. Sn. Pedro **	Sn. Pedro	-----	85 85	-----	40 40
4	Santa María	Bo. Sta. María	-----	55 55	-----	24 24
5	San Miguel	Bo. Sn. Miguel	-----	40 40	-----	34 34
6	San Lorenzo	Bo. Sn. Lorenzo	-----	70 70	-----	54 54
7	Santiago	Bo. Santiago	-----	36 36	-----	20 20
8	San Sebastian	San Sebastian	54	-- 54	54	-- 54
9	Tepetzingo	San Sebastian	-----	49 49	-----	22 22
10	Fco. I. Madero *	San Sebastian	-----	28 28	-----	18 18
11	Emiliano Zapata	San Sebastian	-----	11 11	-----	15 15
12	Santo Domingo *	Sn. Juan Z.	27	-- 27	43	-- 43
13	Terremote	San. Bartolo Cuaut.	97	-- 97	33	-- 33
14	La Noria **	Sn. Bartolo Cuaut.	45	-- 45	13	-- 13
15	San Pedro la Noria	Sn. Bartolo Cuaut.	106	-- 106	35	-- 35
16	Las Pateras **	Sn. Bartolo Cuaut.	62	-- 62	20	-- 20
17	Tumbaburros	Sn. Bartolo Cuaut.	84	-- 84	24	-- 24
18	Naucalpan	Sn. Bartolo Cuaut.	166	-- 166	33	-- 33

* Actualmente uso urbano.

** Pozos abatidos.

Fuente: SARH. Distritos de Desarrollo Rural. Depto. de Irrigación, Zumpango, Edo. Méx.

Cuadro 22. Distribución del riego en el municipio de Zumpango.

Riego por planta de bombeo (aguas negras)

Pozo No.	Nombre de la Unidad	Barrio	Sup. Benef./ha			No. de Usuarios		
			Ejido	P. Prop.	Tot.	Ejid.	P. Prop.	Total
1	Ma. Emilia Farías	Sn. Juan	---	90	90	---	24	24
2	Lumbrera 3	Sn. Juan 2.	92	208	300	---	263	392
3	Lumbrera 9	Sn. Miguel						
		Bocanegra.	209	100	309	234	105	339
4	Lumbrera 12	Sta. Ma.						
		Cuevas	230	23	253	286	5	291
5	Plan Jalpilla	Sn. Juan 2.	496	70	566	713	59	772

Fuente: SARH. Jefatura del Distrito y Unidades de Riego No. 573 Unidad Operativa Municipal No. 6 Zumpango, Edo. de Méx.

Proyecto de riego "Los Insurgentes". Abastecido por la Laguna de Zumpango*

Localidad	Superficie Beneficiada (has)			
	Ejido	Peq. Prop.	Diques	Total
San Juan Zitlaltepec	52	29	59	140
Bocanegra	31	12	--	43
Santa María Cuevas	46	216	--	262
Otras	10	118	--	128

* Aún no entra en funcionamiento.

Fuente: SARH. Jefatura del Distrito y Unidades de Riego No. 573 Unidad Operativa Municipal No. 6, Zumpango de Ocampo, Edo. de Méx.

III. MATERIALES Y METODOS

Los datos obtenidos en cuanto a la zona de estudio se recabaron del Plan de Desarrollo Municipal 1994 - 1996, del H. Ayuntamiento de Zumpango de Ocampo los datos generales requeridos para la aplicación del método se obtuvieron en el Distrito de Desarrollo Rural, Dpto. de Irrigación, en Zumpango. En base a esto se calcularon los U.C por medio del siguiente método:

El método empleado para la estimación del uso consuntivo es el propuesto por Blaney y Criddle, por la disponibilidad de datos en el lugar de estudio y porque es el más confiable y utilizado.

En referencia al uso consuntivo mensual (km) se empleo el método de Grassi y Christiansen por la gran exactitud que tiene para la obtención de los coeficientes periódicos (kc) que son la base para el cálculo del uso consuntivo en sus diferentes etapas de desarrollo.

3.1 Método de Blaney y Criddle

En este método interviene la temperatura media mensual y el porcentaje de horas luz mes, con respecto al total anual. La fórmula se expresa de la siguiente manera:

$$E_t = k \cdot f \quad \text{en donde:}$$

E_t = Evapotranspiración real total del cultivo expresada como lámina, cm.

K = Coeficiente total de ajuste que depende del cultivo y de la ubicación de la zona de estudio.

$F = \sum_{i=1}^n f$ Son los factores de luminosidad y temperatura para el periodo estimado y su valor se obtiene a través de la siguiente expresión:

$f = t \times p$ (los valores son mensuales) en donde:

t = Temperatura media mensual, °f.

p = Porcentaje de horas luz del mes con respecto al total anual, %.

La ecuación anterior, modificada en °C, con promedios mensuales de temperatura es la siguiente:

$$f = \frac{t + 17.8}{21.8} \cdot \frac{P}{100}$$

Para obtener los valores de $t + 17.8$ se utiliza el cuadro 29, los valores de porcentaje de horas luz se obtienen del cuadro 28 para distintas latitudes.

Desarrollo del método.

Cuando el ciclo del cultivo no abarca el total del mes, se obtiene el porcentaje de días requeridos y éste se multiplica con el valor de "f" correspondiente, realizando la suma total de éstas como se observa en la tabla de U.C. para cada cultivo.

Para elegir el coeficiente global de uso consuntivo, K_G correspondiente a cada cultivo, se consulta el cuadro 31.

El coeficiente de k o K_G es el que representa el efecto de las relaciones agua - suelo - planta, agrupando así a tres subcoeficientes que son:

$$k = k_c \cdot k_s \cdot k_h \text{ en donde:}$$

K_c = Coeficiente del efecto de la planta.

k_s = Coeficiente del efecto del suelo.

k_h = Coeficiente de la humedad del suelo.

El coeficiente K_c depende de las características anatómicas, morfológicas y fisiológicas de la especie de la planta y expresa la variación de su capacidad para extraer el agua del suelo durante su ciclo vegetativo, por lo que el tamaño de la planta, en cuanto a su sistema foliar y radicular gobiernan este coeficiente.

Por su parte el coeficiente K_s , es considerado igual a 1.0 cuando las condiciones del suelo en cuanto a profundidad, características físicas y fertilidad no limitan el desarrollo de la planta, si esto no sucediera este coeficiente decrece.

El coeficiente k_h disminuye respecto a la unidad si el agua disminuye en el suelo y por ende aumenta el esfuerzo de la planta para extraerla. Este factor vincula el contenido de humedad del suelo con la succión de la raíz.

Por ello es muy importante que se tenga el suficiente criterio para seleccionar el valor de k_G más adecuado para la región de estudio ya que de eso depende, gran parte de la exactitud del cálculo de uso consuntivo.

Ya elegido dicho factor, se multiplica la suma de las "f" con el valor se leccionado K obteniéndose con ello el uso consuntivo para todo el ciclo (U.C_G)

Para determinar el valor parcial o mensual necesarios para programar las láminas o intervalos de riego se utilizan los coeficientes de desarrollo (kc), en este caso la modificación de Grassi y Christiansen para el método de Blaney y Criddle, para poder estimar los U.C mensuales.

3.2 Método de Grassi y Christiansen

Para este método se utiliza el cuadro 30, propuesto por los autores en el cual se incluyen los datos de los coeficientes periódicos k, calculados en función de "t" para diferentes valores de k_G . Por tanto se realizan las curvas de pendiente el cultivo estudiado (como se observa en las gráficas realizadas en este trabajo).

Para la obtención de los coeficientes de kc que dependen de la duración del cultivo, se elaboran su curva dependiendo el coeficiente global relacionado y se divide el total del ciclo vegetativo del cultivo (0 - 100%) en los meses que lo integran y se obtienen dichos coeficientes por medio de un promedio de 3 datos en cada uno.

El uso consuntivo sera por tanto el producto de Kc x f. Los u.c mensuales deben coincidir con el uso consuntivo total también calculado. Si no es así de de utilizarse un factor de corrección de manera que al ajustarlos ambos coincidan. El coeficiente se expresa de la siguiente manera:

$$K' = \frac{U.C}{f} \quad \text{donde:}$$

K' = Coeficiente global obtenido.

U.C = Suma de los usos consuntivos mensuales.

f = Suma de los factores de luminosidad y temperatura, correspondientes al ciclo vegetativo del cultivo.

Ya calculado el coeficiente global obtenido, se procede a calcular el -

factor de corrección con la expresión siguiente:

$$C = \frac{K}{K'} \quad \text{donde:}$$

C = Factor de corrección.

K = Coeficiente global seleccionado.

K' = Coeficiente global obtenido.

El uso consuntivo mensual ajustado, se determina multiplicando el factor de corrección por el uso consuntivo mensual por lo tanto:

$$U.C' = C \times U.C \quad \text{en donde:}$$

U.C' = Uso consuntivo ajustado.

Con el método anterior se estimarán, los U.C para los diez cultivos mencionados, así como la evapotranspiración, # de riegos y sus intervalos.

Cálculo de la evapotranspiración.

Se cálculo por la fórmula de Blaney y Criddle:

$$U = kp (0.46 T + 8.13) \quad \text{donde:}$$

U : Evapotranspiración mensual en mm.

K : Coeficiente de evapotranspiración mensual (en función de la t)

T : Temperatura mensual en °C.

p : Porcentaje de horas luz mensual.

3.3 Intervalo de riego

El intervalo de riego es el período de tiempo que transcurre entre el comienzo de dos riegos sucesivos que depende de varios factores. Es muy importante el saber que número de riegos debe aplicarse al cultivo.

Debe considerarse que el contenido de agua del suelo al comienzo del riego debe estar a su nivel más bajo aceptable, de tal manera que no perjudique al cultivo, denominándose a este nivel punto crítico (P.C).

El primer riego o riego de siembra se aplica para que el contenido de humedad sea igual a la capacidad de campo en toda la profundidad radicular, su - poniendo que, la humedad inicial del suelo esta en punto de marchitamiento per - manente, por tanto los riegos subsecuentes se aplican, cuando el nivel de hu - medad aprovechable llega al punto crítico. El método empleado para el cálculo - del programa de riego es el gráfico. (Chávez, 1977)

Para el cálculo del programa de riegos, por este método, se realiza una - gráfica en donde en el eje de las abscisas se grafica el tiempo de duración - del ciclo vegetativo en días y en el eje de las ordenadas el uso consuntivo - mensual acumulado del cultivo. Construida la gráfica se realizan los cálculos - siguientes:

1. Debe calcularse la lámina que se aplicara en el primer riego, que debe ser - la necesaria para humedecer toda la profundidad radicular hasta capacidad de - campo y que sera la lámina que debe consumirse después del último riego. La - fórmula empleada es la siguiente:

$$d = \frac{D \cdot w \cdot \gamma_s}{100 \cdot \gamma_o} \quad \text{donde:}$$

d = Lámina de agua, cm.

D = Profundidad de la raíz, cm.

w = C.C - PMP = Capacidad de retención del suelo, %.

γ_s = Peso volumétrico del suelo kg/m^3 = Densidad del suelo.

γ_o = Peso específico del agua kg/m^3 .

Esta lámina siempre va a estar en función del agua útil que retiene el - suelo por tanto los datos que se consideran, deben ser los adecuados para el - lugar de estudio. Para un mejor entendimiento de éste método, lo vamos a ejem - plificar con el cultivo del Maíz de grano:

Datos.

Cultivo: Maíz de grano (Zea mays).

Lugar : Zumpango, Edo. de Méx.

Método empleado para el cálculo de uso consuntivo: Blaney y Criddle.

Ciclo vegetativo: 189 días.

Suelo : Franco-arcilloso.

Uso consuntivo: 64.76 cm

Cálculo:

$$D = 1.0 \text{ m.}$$

$$C.C = 30 \%$$

$$PMP = 16.5 \%$$

$$s = 1400 \text{ kg/m}^3 \text{ (Peso volumétrico relativo del suelo)}$$

$$o = 1000 \text{ kg/m}^3 \text{ (Peso específico relativo del agua)}$$

entonces:

$$W = \frac{1400 \text{ kg/m}^3}{1000 \text{ kg/m}^3} = 1.4$$

$$d = 1.0 \text{ m} \times 13.5 \frac{(1.4)}{(1.0)}$$
$$= 0.189 \text{ m} = 18.9 \text{ cm}$$

2. Para obtener el N° de riegos subsiguientes (ya que el primero es el de siembra) se tiene que proporcionar una lámina neta total, igual al uso consuntivo menos la lámina aplicada en el primer riego. En el ejemplo sería:

$$L.N.T = U.C - d$$

$$= 64.76 - 18.9$$

$$L.N.T = 45.86 \text{ cm}$$

3. Ya que esta lámina no se puede proporcionar en un sólo riego, porque se tiene que tomar en cuenta el desarrollo del cultivo, cada riego se deberá aplicar cuando se haya llegado al nivel de humedad más bajo aceptable, o sea el punto crítico (que sería cuando se haya consumido el 60% de la capacidad de almacenamiento, tomado como un dato práctico) por tanto:

$$L.N.P^* = d (60\%)$$

$$L.N.P = 18.9 (60\%)$$

$$L.N.P = 11.34 \text{ cm}$$

4. Por lo tanto el N° de riegos se estima dividiendo la lámina total obtenida en el punto dos, entre el punto crítico:

$$N^{\circ} \text{ Riegos} = \frac{L.N.T}{L.N.P}$$
$$= \frac{45.86}{11.34}$$

$$N^{\circ} \text{ Riegos} = 4$$

5. Ya calculado el N° de riegos subsiguientes al primer riego, se obtiene la lámina ajustada que se aplicará a cada uno de ellos:

$$L.N.A' = \frac{L.N.T}{N^{\circ}R}$$

$$\frac{45.86}{4} = 11.46 \text{ cm}$$

6. Con el valor obtenido se realiza la gráfica para el programa de riego (para cada cultivo). Tomando como base el valor de la lámina ajustada para cada uno de ellos se gráfica sobre el eje de las ordenadas, y de ahí se marca una horizontal hasta que toque la curva acumulada y se baja una vertical a las abscisas para que se determine el momento del primer riego. Para los riegos subsiguientes se realiza de la misma manera.

Volumenes totales.

Para la determinación del cuadro 24, sobre los volúmenes netos totales por cultivo se empleó la siguiente fórmula:

$$t = \frac{V}{Q} \text{ donde:}$$

t = tiempo
V = volumen
Q = gasto

* Lámina neta parcial (L.N.P)
Lámina neta ajustada (L.N.A')

IV. DISCUSION Y RESULTADOS

4.1 Relación U.C, Coeficiente de desarrollo, Intervalos de riego y Climadiagrama.

Al relacionar los factores mencionados se obtuvo lo siguiente:

Como se puede ver en el tema 4.2 el U.C de un cultivo esta en función de la temperatura y horas luz que prevalezcan durante la implantación del mismo. Ya que al existir un mayor porcentaje de horas luz existe una mayor radiación solar aumentando con ésto la temperatura, éste último factor es el que más influye en el U.C, puesto que cuando la t° es baja disminuye el ritmo de funcionamiento fisiológico de las plantas provocando un déficit en la presión de difusión de la humedad atmosférica así como en la evapotranspiración lo cual se refleja en el U.C. Caso contrario se presenta cuando la temperatura es alta.

De esta forma se obtuvo que para el cultivo de maíz de grano existe una necesidad mayor de este suministro abarcando el 60% de todo su período. Dicho porcentaje incluye finales del ciclo vegetativo seguido de la floración y llenado de grano, esta última etapa representa el período crítico del cultivo, necesitando por ello una mayor cantidad de agua. Posteriormente a esta etapa el requerimiento de agua disminuye puesto que empieza la maduración del grano, y con esto la cosecha.

En caso de que el ciclo agrícola abarque algunos meses con precipitación suficiente para que no sea necesario el riego, o que por lo menos disminuya en forma apreciable las láminas de riego por aplicar a los cultivos se tendría lo siguiente:

En el climadiagrama (tema 4.3) se observa que la fecha de siembra coincide con el período de lluvias, las cuales no son suficientes para cubrir las necesidades del cultivo principalmente durante su período crítico en los meses de junio y julio. Tomando en cuenta lo anterior los intervalos de riego se comportan de la siguiente manera: Considerando el U.C de los dos primeros meses del cultivo, los requerimientos de agua son menores, puesto que representa la germinación y emergencia de las plantulas, esto se ve reflejado en el primer intervalo de riego siendo el mayor de todo el ciclo con 45 días, el cual va

acompañado del inicio de las p.p y que en la mayoría de los casos no son aprovechadas totalmente por la excesiva evaporación del suelo y la poca transpiración del cultivo.

En los meses subsecuentes a esta etapa los requerimientos de agua aumentan el 50% aproximadamente ya que se presentan las etapas de crecimiento vegetativo, floración y llenado de grano por lo que los 3 intervalos de riego subsecuentes se reducen de 25 a 30 días.

Lo anterior está referido a un suelo franco-arcilloso a diferencia de un suelo franco-arenoso por sus características, el número de riegos aumenta 50% más, por lo tanto los intervalos de riego se acortan.

El maíz forrajero (ensilado) presenta el mismo comportamiento que el maíz de grano en su primera etapa de desarrollo, que comprende los 2 primeros meses. Durante los meses de junio, julio y agosto la demanda por requerimiento de agua aumenta por la presencia de su período crítico que para los fines que se requiere el cultivo inicia con el desarrollo vegetativo, xiloteo y estado maso so siendo de primordial importancia el desarrollo vegetativo, (tema 6.4) por ser un cultivo forrajero, en el cual, se pretende mantener la abundancia de foliaje. Como la cosecha se realiza en fresco su ciclo se ve reducido en un 17% con respecto al de grano. Como se puede ver a medida que se aproxima el punto crítico del cultivo se reducen los intervalos de riego con un promedio de 24 días.

A pesar de que la precipitación se inicia en el mes de abril no cubre las necesidades de agua por el cultivo, por lo que es indispensable el riego a excepción de la última etapa en la que se presenta la mayor intensidad de precipitación.

La avena forrajera por ser un cultivo de invierno sus requerimientos de agua son mínimos, primeramente por ser un cultivo que aprovecha el agua residual del temporal y por otra parte porque su ciclo de desarrollo se presenta durante las bajas temperaturas del lugar por lo que, tanto la evaporación como la transpiración disminuye. Como su cosecha se realiza en verde y su ciclo se ve afectado y reducido, su período crítico se presenta en los meses de noviembre y diciembre en los cuales existe un mayor requerimiento de agua producido por

un aumento en el amacollamiento, crecimiento vegetativo e inicio de floración- siendo este último un indicador de la cosecha. Dicho cultivo parte de un período húmedo el cual es aprovechado para su establecimiento en muchos de los casos, pero posteriormente entra en un período de déficit de humedad requiriendo totalmente el riego. El comportamiento en cuanto a los intervalos de riego por la baja evapotranspiración que se presenta en las primeras etapas del cultivo, ocasiona que el intervalo de riego se acorte a 28 días después del riego de siembra, la cual debe aplicarse a mediados del mes de noviembre para que el cultivo finalice su ciclo.

En cuanto a la cebada, su requerimiento de agua aumenta a medida que se desarrolla el cultivo, teniéndose que para el primer mes dicha demanda es del 12% del total de agua, misma que se emplea para la germinación y brote de la planta, en esta etapa la mayor pérdida de humedad se debe a la evaporación del suelo; en el siguiente mes aumenta en un 23% puesto que empieza la etapa de desarrollo de la plántula; a partir de este momento el cultivo se acerca a su punto crítico durante el cual, ocurre un aumento del 54% que se refleja en el crecimiento foliar, amacollamiento, formación de vaina y llenado de grano. También en esta etapa cuando se tiene la máxima transpiración y por ser un cultivo de cobertera se reduce la evaporación. Al llegar la maduración el consumo de agua disminuye a un 11% puesto que la planta ya no la necesita.

En este cultivo el suministro del riego es indispensable, ya que en el momento de su período crítico las precipitaciones no alcanzan a cubrir sus necesidades sólo al principio del cultivo durante los meses de julio y agosto.

En el cultivo del trigo los meses más críticos respecto al riego es a partir de julio hasta el mes de septiembre, debido a que empieza la época de crecimiento vegetativo, amacollamiento y la formación de grano; en donde el suministro de agua debe ser constante para que permita la formación y transporte de carbohidratos, necesarios para el llenado de grano. Además durante estos meses se presenta la mayor temperatura del lugar, provocando una transpiración excesiva del cultivo y una evaporación del suelo, aunque no tan grande como la primera, porque en esta etapa el cultivo ya presenta cierta cobertura.

Durante el mes de junio la necesidad de agua es mínima por la etapa de germinación y emergencia así como al final del cultivo en el mes de octubre. Por lo tanto es necesario aplicar un riego de siembra para mantener el terreno

a C.C . Posteriormente se aplica el primer riego a los 23 días del riego de siembra llamado de auxilio o amacolle y 2 riegos más con un promedio de 28 días en cada intervalo denominados de encañe y embuche respectivamente. Como el último de estos riegos se aplica en el mes de septiembre es con esta humedad con la que el trigo terminara la formación del fruto.

Por su parte el periodo crítico del trigo se presenta en el periodo más húmedo del temporal por lo que los dos primeros riegos se pueden evitar, siendo indispensable realizar el último de ellos en el mes de septiembre. Estas consideraciones son siempre y cuando el temporal se presente con dicha regularidad y exactitud.

En el cultivo del frijol, se determino que los requerimientos de agua de este cultivo son menores que los anteriores, porque su ciclo de cultivo es más corto.

Aún así pasa por un periodo crítico de requerimiento de humedad que comprende los meses de agosto y septiembre que representan el 65.6 % del agua total requerida; esta necesidad de agua se refleja por el inicio de la floración seguido de la formación de vainas durante el cual debe mantenerse un nivel de humedad para evitarse, alteraciones en el rendimiento.

Como se observa en el programa de riego el consumo de humedad aumenta con su crecimiento, así pues podemos observar que durante el periodo de germinación al brote de la planta debe existir agua en abundancia por lo que al momento de la siembra se debe aplicar la mayor lámina. A medida que se aproxima el periodo de floración el intervalo de riego se acorta, aplicando sólo láminas de reposición en cada intervalo. Pasando este periodo en la etapa de maduración como no se requieren muchas aplicaciones el intervalo de riego ya no se considera puesto que con el agua residual del último madura el fruto.

Dichos intervalos se ven afectados por las precipitaciones que se pueden presentar en ese momento, como se observa en el climadiagrama, teniendo que en la mayor parte de su ciclo los riegos se evitarán a excepción del último mes.

Para la zanahoria las necesidades de agua aumentan en mayor cantidad a partir de febrero hasta el mes de abril que representa el 76.5% del total de

agua requerida, este volumen comprende las etapas conjuntas de crecimiento vegetativo, formación y desarrollo del fruto así como el punto máximo de transpiración de la planta y la evaporación del suelo. El 23.5% restante se distribuye en las etapas de germinación, brote de la planta y la etapa final de la maduración del fruto el cual es un indicador de su cosecha.

A partir del riego de siembra el intervalo se amplía con 36 días, consecutivamente los demás intervalos son más cortos con un promedio de 21 días con la aplicación de láminas compensatorias a partir del 2do. mes. Además por estar comprendido en un período de déficit de humedad los requerimientos, de riego son indispensables.

El cultivo de la calabacita, presenta sus requerimientos mayores a partir del segundo mes de su implantación en donde comienza su período vegetativo, necesitando con ello un 20% del total de agua, posteriormente en los meses de mayo y junio cuando presenta su período crítico la demanda aumenta en un 57% siendo en la etapa de la maduración, cuando declina este requerimiento hasta un 16%.

Representando lo anterior en la curva de Christiansen (pág 118) se tiene que la demanda de agua aumenta conforme se desarrolla el cultivo de tal forma que en los primeros 30 días después de la siembra la planta empieza a brotar, posteriormente se inicia su crecimiento vegetativo y a partir de los meses de mayo y junio comienza su período crítico que en este caso se denota por el inicio de la floración y el desarrollo del fruto, en este momento se presenta la máxima transpiración y conforme la planta disminuye su crecimiento los requerimientos de agua bajan.

Por medio del programa de riegos se denota que al momento de implantar el cultivo debe aplicarse la lámina mayor para mantener el terreno a C.C procurando con ello la germinación y brote de la planta satisfactoriamente.

El segundo riego cuyo fin es mantener el desarrollo vegetativo se suministra con una lámina compensatoria, a partir de éste los intervalos se acortan puesto que la demanda aumenta por la floración, formación del fruto y producción, las láminas aplicadas también son compensatorias. Con el quinto y último riego la planta terminará su producción hasta su etapa final.

Durante los primeros meses el cultivo se presenta en un periodo de déficit de humedad, siendo indispensable el riego posteriormente a mediados de su periodo crítico, aunque se presentan precipitaciones no son suficientes, para que el cultivo cumpla su desarrollo, presentandose con mayor frecuencia al finalizar éste ocasionando problemas de pudrición.

Para el tomate de cáscara los requerimientos de agua se comportan de la misma forma que el anterior cultivo, sólo que a diferencia de estos el riego inicial es al momento del trasplante, ya que las primeras etapas de éste las pasa en el almácigo. Aún con esto requiere de una cierta humedad y tiempo para poder regenerar su sistema radicular, ya recuperada la planta comienza su crecimiento foliar, floración, formación y llenado del fruto, siendo estas últimas etapas su periodo crítico demandando la mayor cantidad de agua representada por el 61%.

Para suministrar la cantidad de agua necesaria, comprende de 5 riegos de los cuales las láminas son sólo compensatorias y cuyos intervalos de riego se reducen a partir del segundo, para mantener la humedad necesaria y demanda del fruto.

La alfalfa por ser un cultivo forrajero perenne se puede establecer en cualquier época del año principalmente en zonas templadas, la mayoría de los productores recomiendan su siembra en invierno para evitar la invasión de malezas.

Su demanda de agua dependera por lo tanto de la época de implantación. Como una forma de determinar el comportamiento de ésta se estimo su U.C para un año, por lo tanto se tiene que para la etapa del establecimiento el requerimiento de agua es menor representando el 10% del total, ya que esta etapa comprende la germinación y emergencia que es cuando posee la plántula de 3 a 4 hojas y empieza a nacer desde la base un segundo tallo donde adquiere anatomía propia.

A partir de esta etapa la planta empieza su desarrollo vegetativo y radicular más vigoroso por lo tanto aumentan sus necesidades de agua por cada corte aproximadamente de 12.8 en promedio, puesto que la planta necesita de esta para volver a brotar. Este comportamiento varia según la época del año porque-

a temperaturas bajas se tiene una menor evapotranspiración y por tanto un bajo consumo de agua debido a que el cultivo alcanza poca altura aproximadamente de 10 a 15 cm.

Conforme aumenta la temperatura la demanda de agua aumenta igual que la evapotranspiración debido a que durante esta etapa el cultivo tiene una mayor cobertura y alcanza un mayor tamaño; este cultivo requiere de grandes cantidades de agua, mismas que aumentan conforme avanza su período de vida debido a su sistema radicular, por lo tanto es necesario aplicar el riego a excepción de cuando se presentan fuertes precipitaciones.

La alfalfa presenta 3 períodos críticos, los dos primeros relacionados a la supervivencia de la planta y el tercero en base a su requerimiento mayor de agua el cual ocurre al comenzar la floración (cuando es para semilla) y principalmente después del corte (en forraje).

Por lo tanto según la programación de riegos los intervalos se ven reducidos en promedio de 26 días después del primer corte, dependiendo de la época del año.

4.2 Cálculo del uso consuntivo de 10 cultivos

Datos.

Cultivo: Maíz de Grano (*Zea mays*)

Localización: Zumpango, de Ocampo, Edo. de Méx.

Latitud: 19°48'

Fecha de siembra: 15 de abril.

Fecha de cosecha: 20 de octubre.

Ciclo Vegetativo: 189 días.

Mes	Duración meses	t°C	$\frac{T^{\circ} + 17.8}{21.8}$	P(%)	f(cm)
Abril	.50	16.8	1.587	8.52	6.76
Mayo	1	17.3	1.610	9.13	14.70
Junio	1	17.5	1.619	8.98	14.54
Julio	1	17.0	1.596	9.22	14.72
Agosto	1	17.4	1.615	8.94	14.44
Septiembre	1	16.6	1.578	8.29	13.08
Octubre	.65	15.4	1.523	8.18	8.10
					86.34

$$U.C = K \cdot f$$

$$= 0.75 \times 86.34 \text{ cm}$$

$$= 64.75 \text{ cm}$$

$$U.C_G = 64.75 \text{ cm}$$

$$U.C_m = 64.76 \text{ cm}$$

Aplicando el factor de corrección y obteniendo el U.C mensual se tiene:

Mes	f1	kc	U.C cm	factor correc.	U.C' cm	U.C(cm) acumulado
Abril	6.76	0.277	1.87	1.023	1.91	1.91
Mayo	14.70	0.473	6.95	1.023	7.11	9.02
Junio	14.54	0.743	10.80	1.023	11.05	20.07
Julio	14.72	0.930	13.69	1.023	14.00	34.07
Agosto	14.44	0.967	13.96	1.023	14.28	48.35
Septiembre	13.08	0.847	11.08	1.023	11.33	59.68
Octubre	8.10	0.613	4.97	1.023	5.08	64.76
			86.34	63.32	64.76	

Datos.

Cultivo: Alfalfa (*Medicago sativa*)

Localización: Zumpango de Ocampo, Edo. de Méx.

Latitud: 19° 48'

Fecha de siembra: 10. de diciembre.

Fecha de cosecha: Cada 40 días, a partir del 3er. mes.

Mes	Duración meses	t°C	t° 21.7.8	P(%)	f(cm)
Diciembre	1	11.7	1.354	7.68	10.40
Enero	1	11.0	1.321	7.76	10.25
Febrero	1	13.0	1.413	7.27	10.27
Marzo	1	14.8	1.495	8.41	12.57
Abril	1	16.8	1.587	8.52	13.52
Mayo	1	17.3	1.610	9.13	14.70
Junio	1	17.5	1.619	8.99	14.55
Julio	1	17.0	1.596	9.22	14.72
Agosto	1	17.4	1.615	8.94	14.44
Septiembre	1	16.6	1.578	8.29	13.08
Octubre	1	15.4	1.523	8.18	12.45
Noviembre	1	13.8	1.450	7.61	11.03
					151.98

$$\begin{aligned}U.C. &= k \cdot f \\ &= 0.80 \times 151.98 \\ &= 121.58\end{aligned}$$

$$U.C. = 121.58 \text{ cm}$$

$$U.C. = 126.44 \text{ cm}$$

Aplicando el factor de corrección y obteniendo el U.C mensual se obtiene:

Mes	f1	kc	U.C cm	factor correc.	U.C' cm	U.C acumul.
Diciembre	10.40	0.260	2.70	1.0	2.70	2.70
Enero	10.25	0.416	4.26	1.0	4.26	6.96
Febrero	10.27	0.586	6.01	1.0	6.01	12.97
Marzo	12.57	0.746	9.37	1.0	9.37	22.34
Abril	13.52	0.860	11.62	1.0	11.62	33.96
Mayo	14.70	0.943	13.86	1.0	13.86	47.82
Junio	14.55	0.990	14.40	1.0	14.40	62.22
Julio	14.72	1.066	15.69	1.0	15.69	77.91
Agosto	14.44	1.063	15.34	1.0	15.94	93.25
Septiembre	13.08	0.973	12.72	1.0	12.72	105.97
Octubre	12.45	0.916	11.40	1.0	11.40	117.37
Noviembre	11.03	0.823	9.07	1.0	9.07	126.44
	151.98				126.44	

Datos.

Cultivo: Maíz Forrajero (Zea mays)

Localización: Zumpango, Edo. de Méx.

Latitud: 19° 48'

Fecha de siembra: 15 de abril

Fecha de cosecha: 20 de septiembre.

Ciclo vegetativo: 159 días.

Mes	Duración meses	t°	$\frac{t^{\circ} + 17.8}{21.8}$	P(%)	f (cm)
Abril	.50	16.8	1.587	8.52	6.76
Mayo	1	17.3	1.610	9.13	14.70
Junio	1	17.5	1.619	8.99	14.55
Julio	1	17.0	1.596	9.22	14.72
Agosto	1	17.4	1.615	8.94	14.44
Septiembre	.67	16.6	1.578	8.29	8.76
					73.93

U.C = k . f

= 0.75 x 73.96 cm

= 55.45 cm

U.C₀ = 55.45 cm

U.C_■ = 55.47 cm

Aplicando el factor de corrección y obteniendo el U.C mensual se tiene:

Mes	f1	kc	U.C cm	factor correc.	U.C' cm	U.C acum.
Abril	6.76	0.293	1.98	0.977	1.93	1.93
Mayo	14.70	0.593	8.72	0.977	8.52	10.45
Junio	14.55	0.803	11.68	0.977	11.41	21.86
Julio	14.72	0.943	13.88	0.977	13.56	35.45
Agosto	14.44	0.953	13.76	0.977	13.44	48.86
Septiembre	8.76	0.773	6.77	0.999	6.61	55.47
	73.93		56.79		55.47	

Datos.

Cultivo: **Avena de Invierno (Avena sativa)**

Localización: Zumpango, Edo. de Méx.

Latitud: 19°48'

Fecha de siembra: 16 de octubre.

Fecha de cosecha: 15 de enero.

Ciclo vegetativo: 92 días.

Mes	Duración meses	t°C	$\frac{t^{\circ}\text{C} + 17.8}{21.8}$	P(%)	f(cm)
Octubre	.51	15.4	1.523	8.18	6.35
Noviembre	1	13.8	1.450	7.61	11.03
Diciembre	1	11.7	1.354	7.69	10.41
Enero	.50	11.0	1.321	7.77	5.13
					32.92

$$\begin{aligned} \text{U.C} &= k \cdot f \\ &= 0.75 \times 32.92 \\ &= 24.69 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{U.C}_G &= 24.69 \text{ cm} \\ \text{U.C}_m &= 24.60 \text{ cm} \end{aligned}$$

Aplicando el factor de corrección y obteniendo el U.C mensual se tiene:

Mes	f1	kc	U.C cm	factor correc.	U.C' cm	U.C acumul
Octubre	6.35	0.376	2.39	1.0	2.39	2.39
Noviembre	11.03	0.746	8.23	1.0	8.23	10.62
Diciembre	10.41	0.946	9.85	1.0	9.85	20.47
Enero	5.13	0.806	4.13	1.0	4.13	24.60
			24.60		24.60	

Datos.

Cultivo: Cebada (*Hordeum vulgare*)

Localización: Zumpango de Ocampo, Edo. de Méx.

Latitud: 19° 48'

Fecha de siembra: 5 de julio.

Fecha de cosecha: 15 de noviembre.

Ciclo vegetativo: 134 días.

Mes	Duración meses	t°C	$\frac{t^{\circ} + 17.8}{21.8}$	F(%)	f(cm)
Julio	.16	17.0	1.596	9.22	14.72
Agosto	1	17.4	1.615	8.94	14.44
Septiembre	1	16.6	1.578	8.29	13.08
Octubre	1	15.4	1.523	8.19	12.47
Noviembre	.50	13.8	1.450	7.61	5.52
					60.23

U.C = k . f

$$= 0.80 \times 60.23 \text{ cm}$$

$$= 48.18 \text{ cm}$$

$$U.C_G = 48.18 \text{ cm}$$

$$U.C_{\square} = 48.18 \text{ cm}$$

Aplicando el factor de corrección para el U.C mensual se tiene:

Meses	f1	kc	U.C	factor correc.	U.C' cm	U.C acumul
Julio	14.72	0.386	5.68	1.048	5.95	5.95
Agosto	14.44	0.730	10.54	1.048	11.05	17.00
Septiembre	13.08	0.957	12.52	1.048	13.12	30.12
Octubre	12.47	0.993	12.38	1.048	12.97	43.09
Noviembre	5.52	0.880	4.86	1.048	5.09	48.18
	60.23		45.98		48.18	

Datos.

Cultivo: Trigo (*Triticum aestivum*)

Localización: Zumpango de Ocampo, Edo. de Méx.

Latitud: 19° 48'

Fecha de siembra: 25 de junio.

Fecha de cosecha: 30 de octubre.

Ciclo vegetativo: 127 días.

Mes	Duración meses	t°C	$\frac{t^{\circ} + 17.8}{21.8}$	P(%)	f(cm)
Junio	.83	17.5	1.619	8.99	12.08
Julio	1	17.0	1.596	9.22	14.72
Agosto	1	17.4	1.615	8.94	14.44
Septiembre	1	16.6	1.578	8.29	13.08
Octubre	.96	15.4	1.523	6.18	11.96
					66.28

U.C = k . f

$$= 0.75 \times 66.28 \text{ cm}$$

$$= 49.71 \text{ cm}$$

$$U.C_G = 49.71 \text{ cm}$$

$$U.C_M = 49.73 \text{ cm}$$

Aplicando el factor de corrección y obteniendo el U.C mensual se tiene:

Meses	f1	kc	U.C cm	Factor correc.	U.C' cm	U.C acum.
Junio	12.08	0.360	4.35	0.995	4.33	4.33
Julio	14.72	0.700	10.30	0.995	10.25	14.58
Agosto	14.44	0.906	13.08	0.995	13.01	27.59
Septiembre	13.08	0.943	12.33	0.995	12.27	39.86
Octubre	11.96	0.830	9.93	0.995	9.88	49.73
	66.28		49.99		49.73	

Datos.

Cultivo: Frijol (*Phaseolus vulgaris*)

Localización: Zumpango de Ocampo, Edo. de Méx.

Fecha de siembra: 10 de julio.

Fecha de cosecha: 31 de octubre.

Ciclo vegetativo: 102 días.

Mes	Duración meses	t°C	$\frac{t^{\circ} + 17.8}{21.8}$	P(%)	f(cm)
Julio	.32	17.0	1.596	9.22	4.71
Agosto	1	17.4	1.615	8.94	14.44
Septiembre	1	16.6	1.578	8.29	13.08
Octubre	1	15.4	1.523	8.18	12.46
					44.69

U.C = k . f

$$= 0.65 \times 44.69 \text{ cm}$$

$$= 29.05 \text{ cm}$$

U.C_G = 29.05 cm

U.C_■ = 29.05 cm

Aplicando el factor de corrección, para obtener el U.C mensual se tiene:

Meses	f1	kc	U.C	factor correc.	U.C'	U.C acumula.
Julio	4.71	0.363	1.71	0.917	1.57	1.57
Agosto	14.44	0.693	10.00	0.917	9.17	10.74
Septiembre	13.08	0.826	10.88	0.917	9.90	20.64
Octubre	12.46	0.736	9.17	0.917	8.41	29.05
	44.69		31.68		29.05	

Datos.

Cultivo: **Zanahoria (Daucus carota)**

Localización: Zumpango de Ocampo, Edo. de Méx.

Latitud: 19° 48'

Fecha de siembra: 15 de enero.

Fecha de cosecha: 20 de mayo.

Ciclo vegetativo: 125 días.

Mes	Duración meses	t°C	$t^{\circ} + 17.8$ 21.8	P(%)	f(cm)
Enero	.48	11.0	1.322	7.76	4.92
Febrero	1	13.0	1.414	7.27	10.28
Marzo	1	14.8	1.497	8.41	12.59
Abril	1	16.8	1.589	8.52	13.54
Mayo	.64	17.3	1.612	9.13	9.42
					50.75

$$U.C = k \cdot f$$

$$= 0.60 \times 50.75 \text{ cm}$$

$$= 30.45 \text{ cm}$$

$$U.C_G = 30.45 \text{ cm}$$

$$U.C_{\square} = 30.43 \text{ cm}$$

Aplicando el factor de corrección y obteniendo el U.C mensual:

Meses	f1	kc	U.C	factor correc.	U.C' cm	U.C acumulado
Enero	4.92	0.300	1.48	0.926	1.37	1.37
Febrero	10.28	0.560	5.76	0.926	5.33	6.70
Marzo	12.59	0.726	9.14	0.926	8.46	15.16
Abril	13.54	0.756	10.24	0.926	9.48	24.60
Mayo	9.42	0.663	6.25	0.926	5.79	30.43
	50.75		32.88		30.43	

Datos.

Cultivo: **Tomate de Cáscara (*Physalis ixocarpa*)**

Localización: 19° 48'

Fecha de siembra: 25 de marzo.

Fecha de cosecha: 15 de julio.

Ciclo vegetativo: 112 días

Mes	Duración meses	t°C	$t^{\circ} + 17.8$ 21.8	P(%)	f(cm)
Marzo	.80	14.8	1.495	8.41	10.06
Abril	1	16.8	1.587	8.52	13.52
Mayo	1	17.3	1.610	9.13	14.70
Junio	1	17.5	1.619	8.99	14.55
Julio	.48	17.0	1.596	9.22	7.06
					59.89

$$U.C = k \cdot f$$

$$= 0.70 \times 59.89$$

$$= 41.92 \text{ cm}$$

$$U.C_G = 41.92$$

$$U.C_{\square} = 41.92$$

Aplicando el factor de corrección, para obtener el U.C mensual se tiene:

Mes	f1	kc	U.C	factor correc.	U.C' cm	U.C acumul.
Marzo	10.06	0.343	3.45	1.005	3.47	3.47
Abril	13.52	0.550	7.44	1.005	7.48	10.95
Mayo	14.70	0.847	12.45	1.005	12.51	23.46
Junio	14.55	0.887	12.91	1.005	12.97	36.46
Julio	7.06	0.773	5.46	1.005	5.49	41.92
	59.89		41.71		41.92	

Datos.

Cultivo: **Calabacita (Cucurbita pepo)**

Localización: Zumpango de Ocampo, Edo. de Méx.

Latitud: 19° 48'

Fecha de siembra: 15 de marzo.

Fecha de cosecha: 20 de julio.

Ciclo vegetativo: 128 días.

Mes	Duración meses	t°C	$\frac{t^\circ + 17.8}{21.8}$	P(%)	f(cm)
Marzo	.48	14.8	1.497	8.41	6.04
Abril	1	16.8	1.589	8.52	13.54
Mayo	1	17.3	1.612	9.13	14.72
Junio	1	17.5	1.621	8.99	14.57
Julio	.64	17.0	1.598	9.22	9.43
					53.30

$$U.C = k \cdot f$$

$$= 0.60 \times 58.30 \text{ cm}$$

$$= 34.98 \text{ cm}$$

$$U.C_G = 34.98 \text{ cm}$$

$$U.C_M = 34.95 \text{ cm}$$

Aplicando el factor de corrección se tiene :

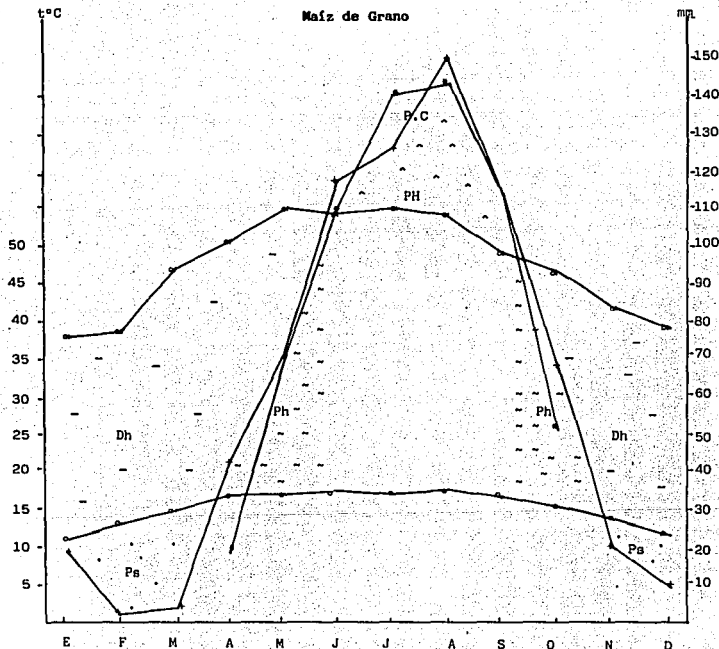
Mes	f1	kc	U.C cm	factor correc.	U.C' cm	U.C acumul.
Marzo	6.04	0.440	2.66	0.913	2.43	2.43
Abril	13.54	0.560	7.58	0.913	6.92	9.35
Mayo	14.72	0.730	10.75	0.913	9.81	19.16
Junio	14.57	0.760	11.07	0.913	10.11	29.27
Julio	9.43	0.666	6.22	0.913	5.68	34.95
					34.95	

4.3 REPRESENTACION DEL U.C EN EL CLIMADIAGRAMA
POR CULTIVO

Parámetros:

Uso Consuntivo ■
Precipitación +
Temperatura °
Evapotranspirac. ■
Periodo Critico P.C.
(del cultivo)

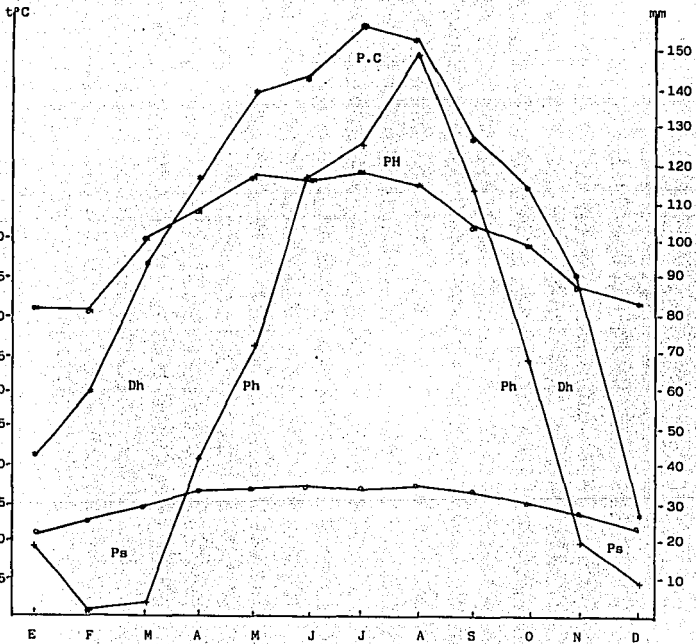
Periodo Muy Humedo PH ^
Periodo Humedo Ph ~
Periodo Seco Ps .
Déficit de humedad Dh -
(Ev/p)



Alfalfa

Parámetros:

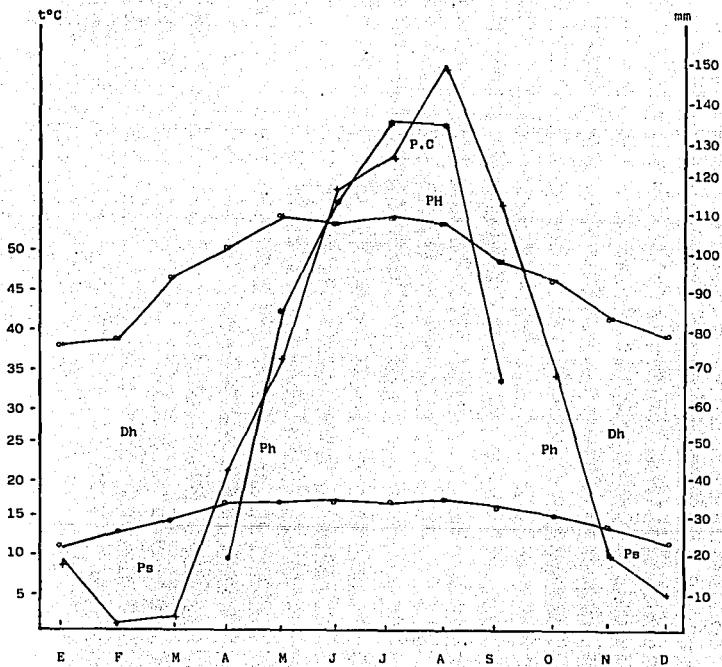
Uso Consuntivo	•	Periodo Muy Húmedo	PH
Precipitación	+	Periodo Húmedo	Ph
Temperatura	o	Periodo Seco	Ps
Evapotranspiración	■	Déficit de humedad	Dh
Periodo Crítico	P.C *		



Maíz Forrajero

Parámetros:

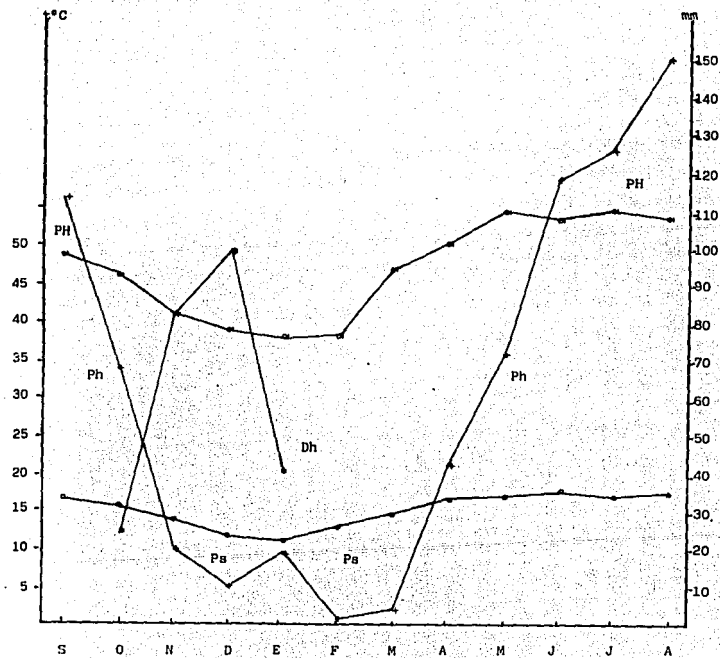
Uso Consuntivo	•	Período Muy Húmedo	PH
Precipitación	+	Período Húmedo	Ph
Temperatura	°	Período Seco	Ps
Evapotranspiración	⊖	Déficit de humedad	Dh
Período Crítico	P.C *		



Avena

Parámetros:

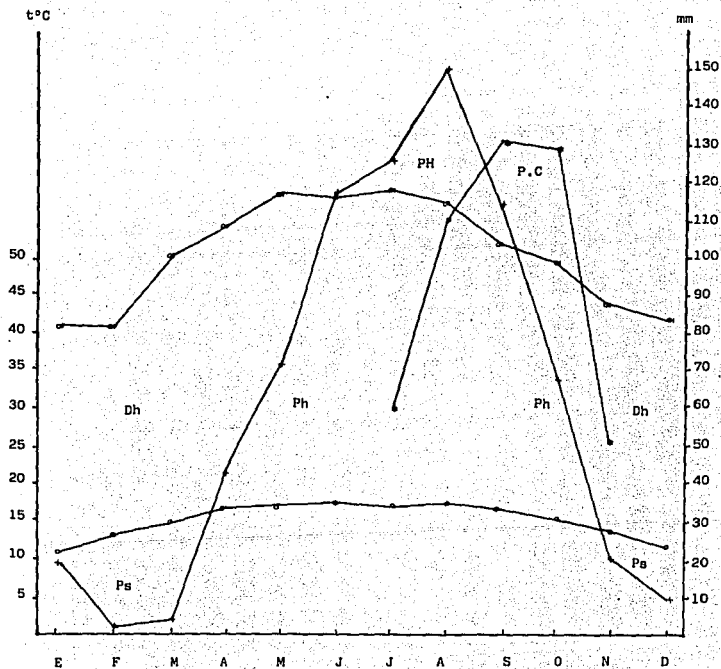
Uso Consuntivo	•	Período Muy Húmedo	PH
Precipitación	+	Período Húmedo	Ph
Temperatura	o	Período Seco	Ps
Evapotranspiración	∇	Déficit de humedad	Dh
Período Crítico	P.C*		



Cebada

Parámetros:

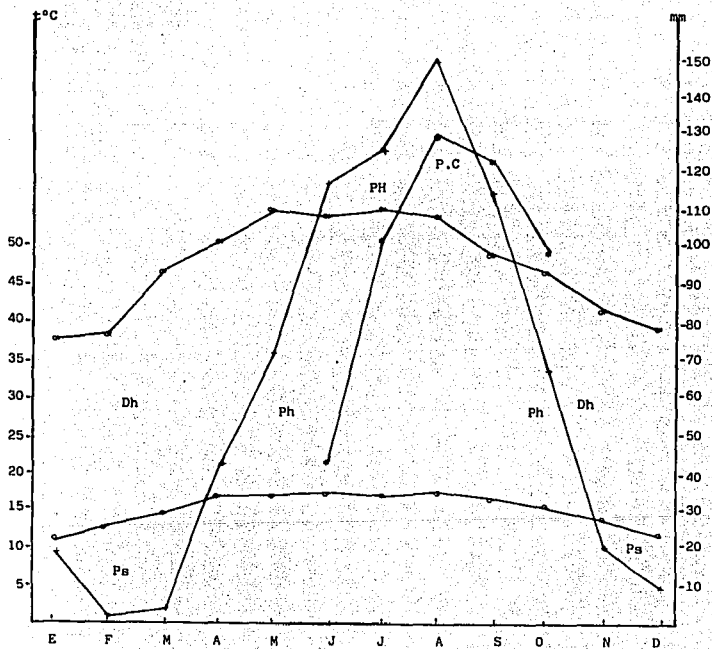
Uso Consuntivo	*	Período Muy Húmedo	PH
Precipitación	+	Período Húmedo	Ph
Temperatura	o	Período Seco	Ps
Evapotranspiración	•	Déficit de humedad	Dh
Período Crítico	P.C*		



Trigo

Parámetros:

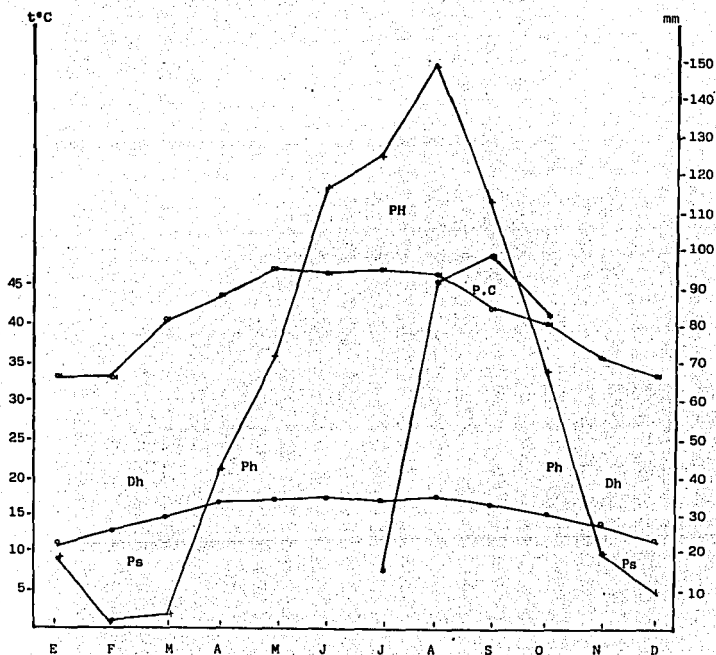
Uso Consuntivo	•	Periodo Muy Húmedo	PH
Precipitación	+	Periodo Húmedo	Ph
Temperatura	°	Periodo Seco	Ps
Evapotranspiración	*	Déficit de humedad	Dh
Periodo Crítico	P.C. •		



Frijol

Parámetros:

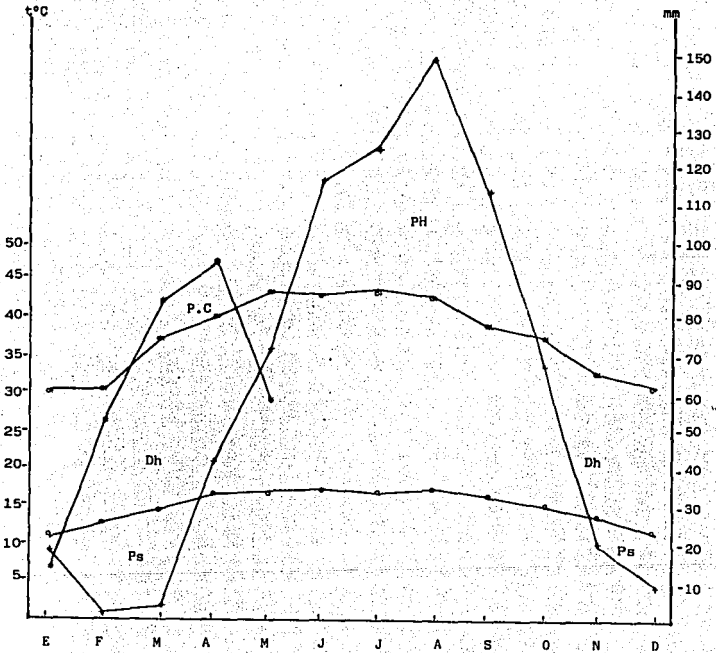
Uso Consuntivo	•	Periodo Muy Húmedo	PH
Precipitación	+	Periodo Húmedo	Ph
Temperatura	°	Periodo Seco	Ps
Evapotranspiración	°	Déficit de humedad	Dh
Periodo Crítico	P.C •		



Zanahoria

Parámetros:

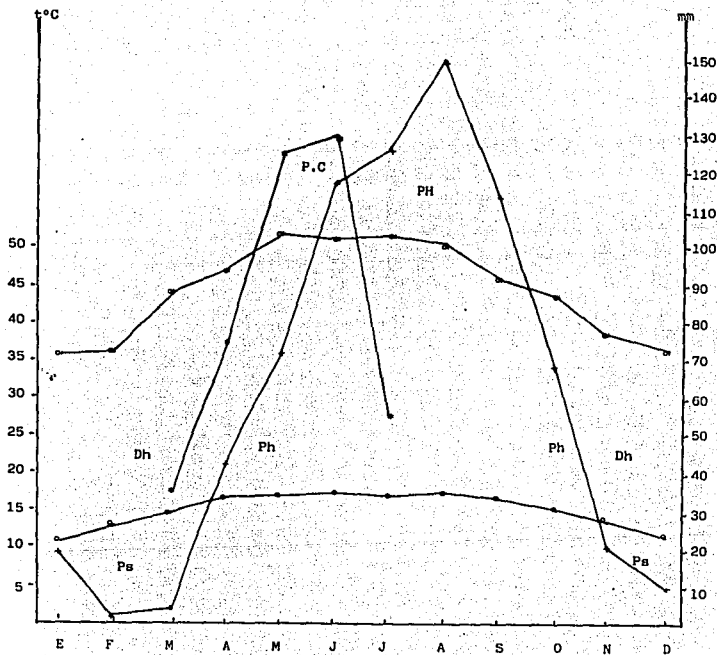
Uso Consuntivo	*	Periodo Muy Húmedo	PH
Precipitación	+	Periodo Húmedo	Ph
Temperatura	°	Periodo Seco	Ps
Evapotranspiración	⊖	Déficit de humedad	Dh
Periodo Crítico	P.C *		



Tomate de Cáscara

Parámetros:

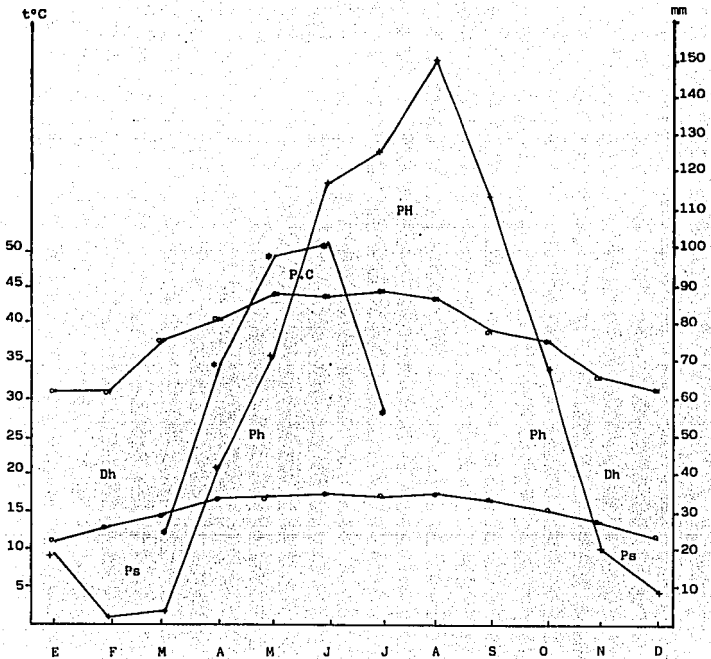
Uso Consuntivo	•	Periodo Muy Húmedo	PH
Precipitación	+	Periodo Húmedo	Ph
Temperatura	°	Periodo Seco	Ps
Evapotranspiración	°	Déficit de humedad	Dh
Periodo Crítico	P.C •		



Calabacita

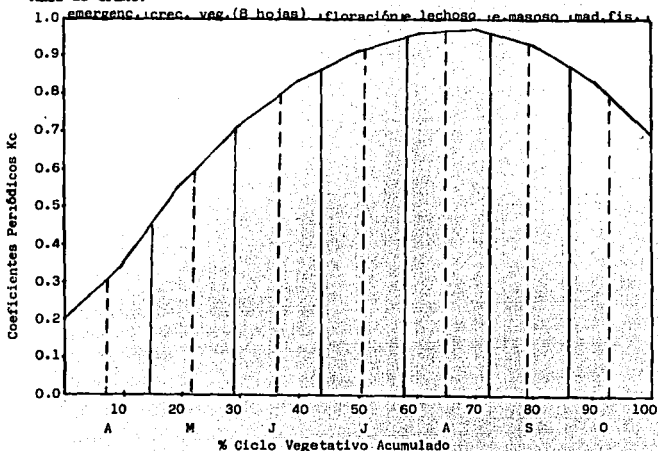
Parámetros:

Uso Consuntivo	*	Periodo Muy Húmedo	PH
Precipitación	+	Periodo Húmedo	Ph
Temperatura	o	Periodo Seco	Ps
Evapotranspiración	⊖	Déficit de humedad	Dh
Periodo Crítico	P.C**		

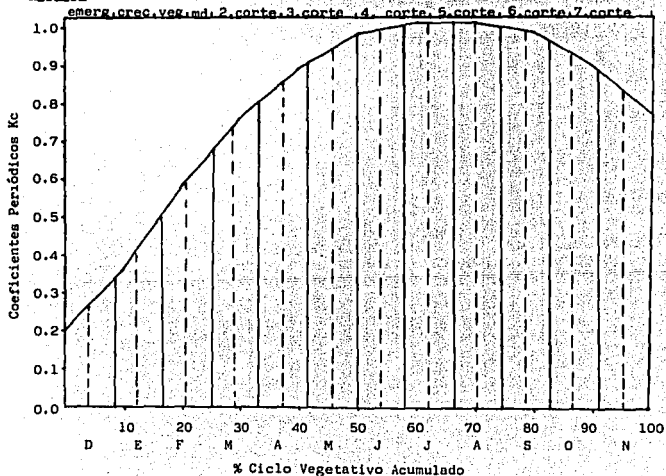


4.4 Coeficientes de Desarrollo

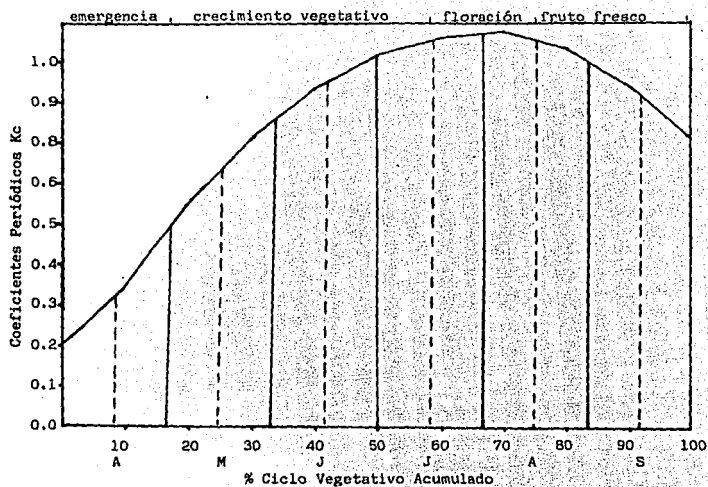
Maíz de Grano.



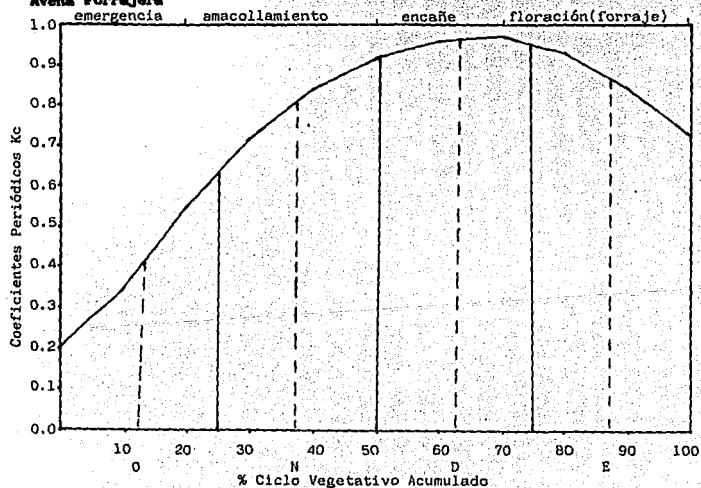
Alfalfa



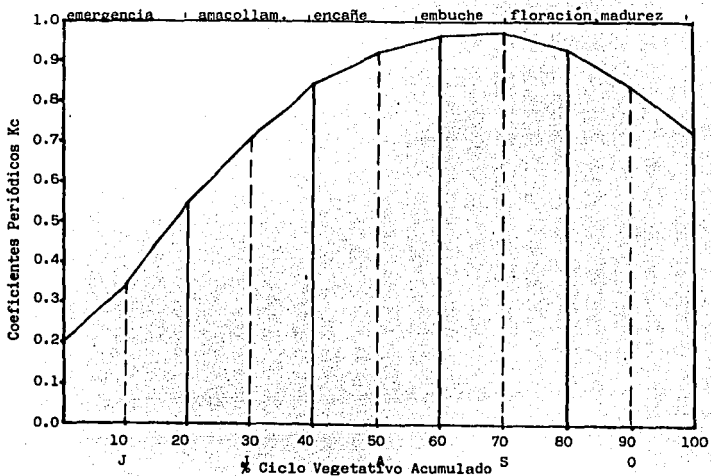
Maíz Forrajero



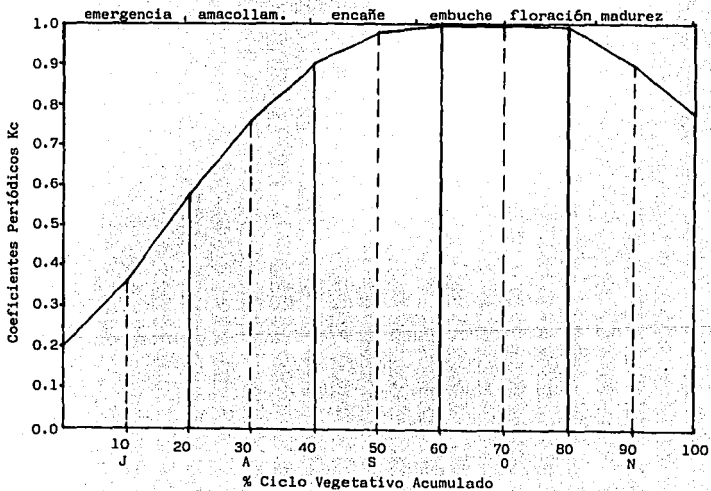
Avena Forrajera



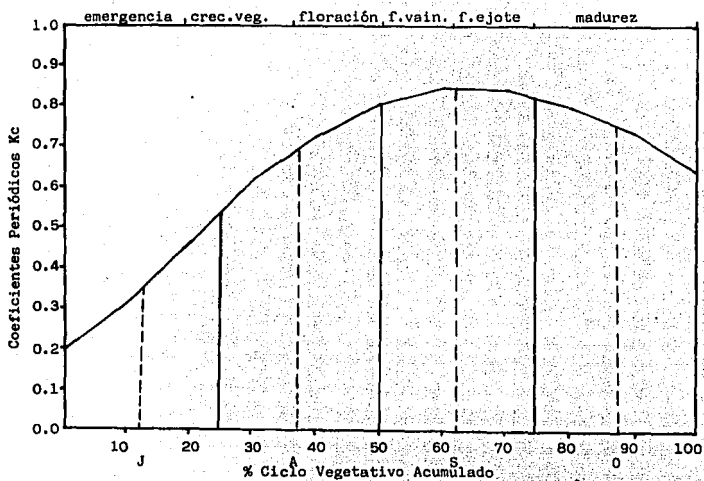
Trigo



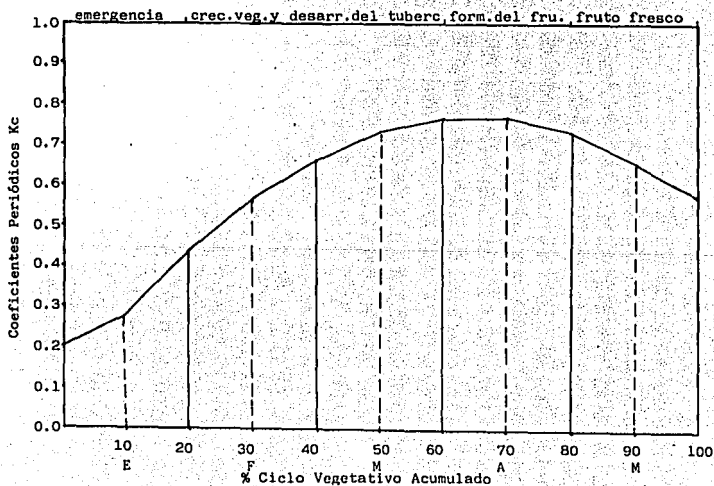
Cebada



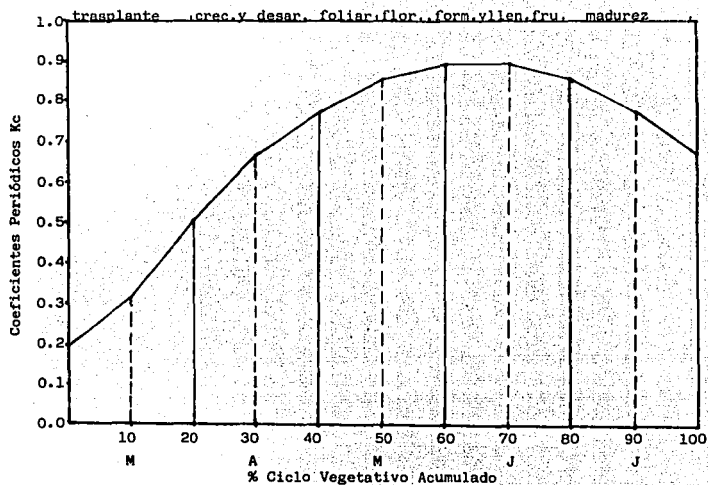
Frijol



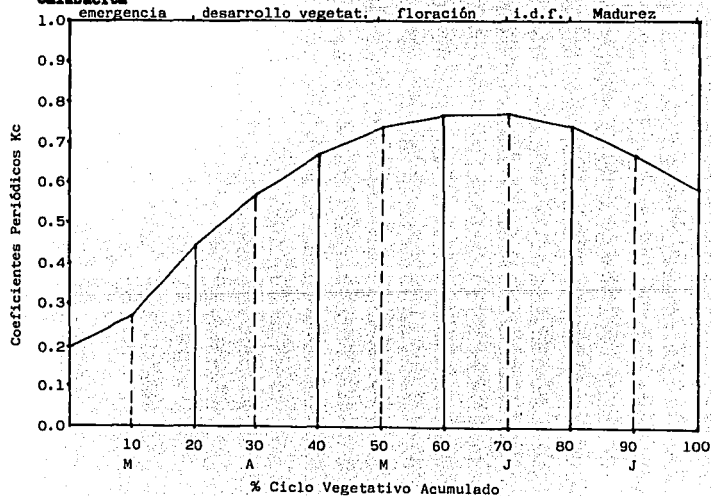
Zanahoria



Tomate de cáscara



Calabacita



4.5 Programación de Riegos por el Método Gráfico

Cultivo: **Maíz de Grano**

Ciclo : 189 días

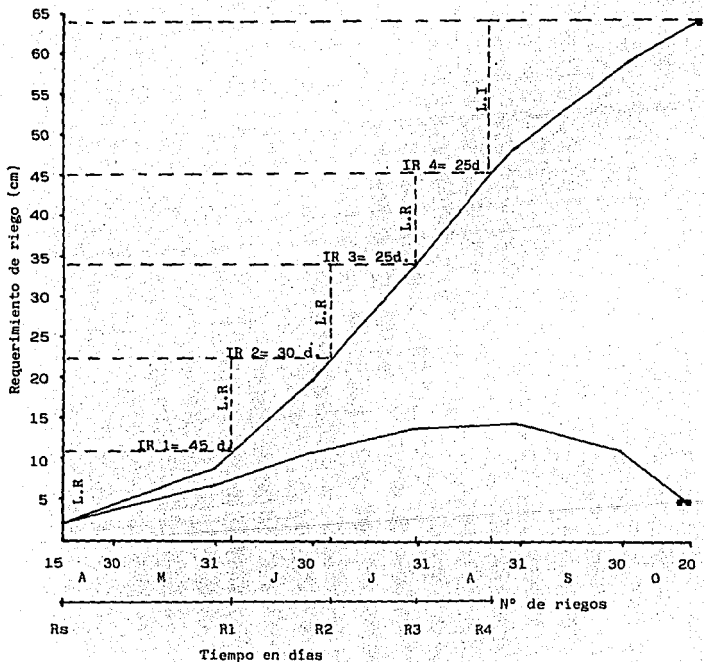
Nº Rieg: 5

Lám.Inicial(LI): 18.9

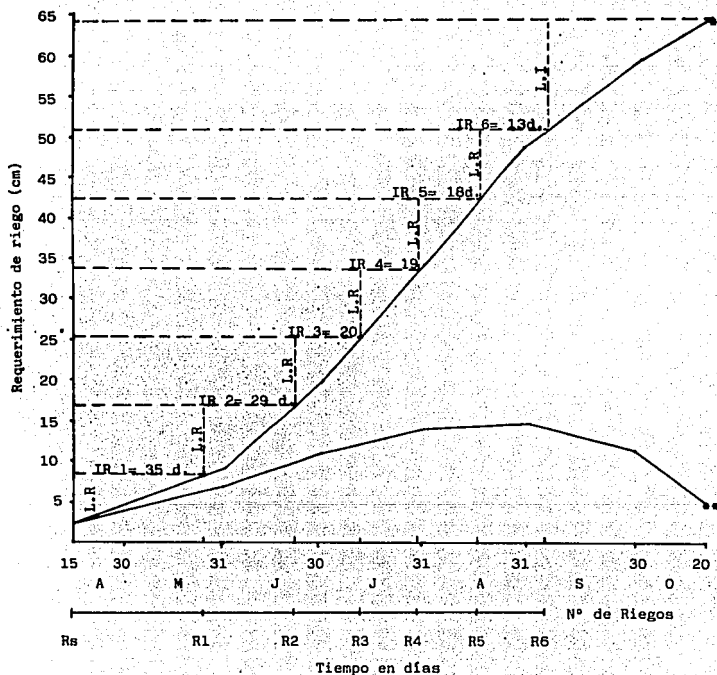
Lám.Reposición(L.R): 11.47

* : Uso consuntivo acumulado

** : Uso consuntivo normal



Cultivo : Maíz de Grano
 Suelo : Franco - Arenoso
 Ciclo : 189 días
 N° Rieg. : 6
 L.I : 14.11
 L.R : 8.44
 * : U.C.A
 ** : U.C.N



Cultivo : **Alfalfa**

Ciclo : Cada 40 días (corte)

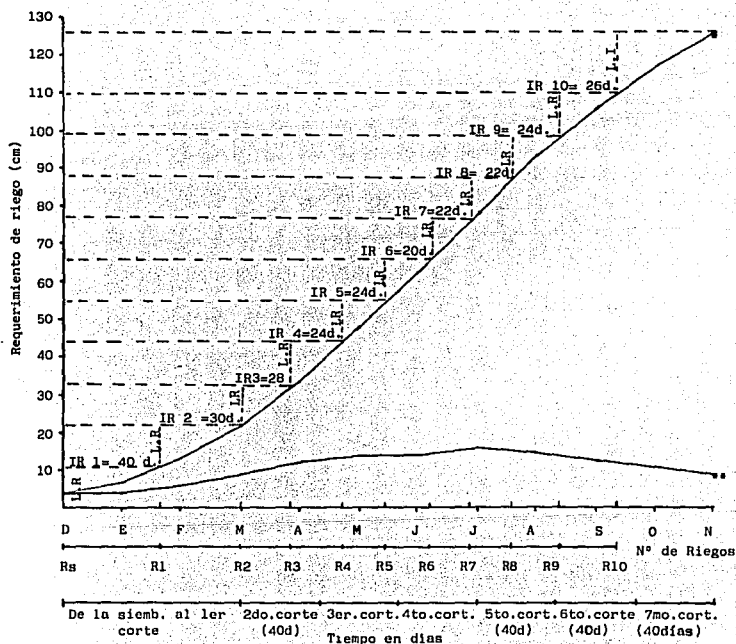
Nº Riegos: 10 en 1 año

L.R : 11.0

L.I : 17.6

• : U.C.A

•• : U.C.N



Cultivo: Maíz Forrajero

L.R : 9.62

** : U.C.N

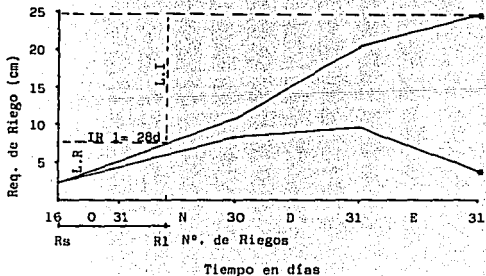
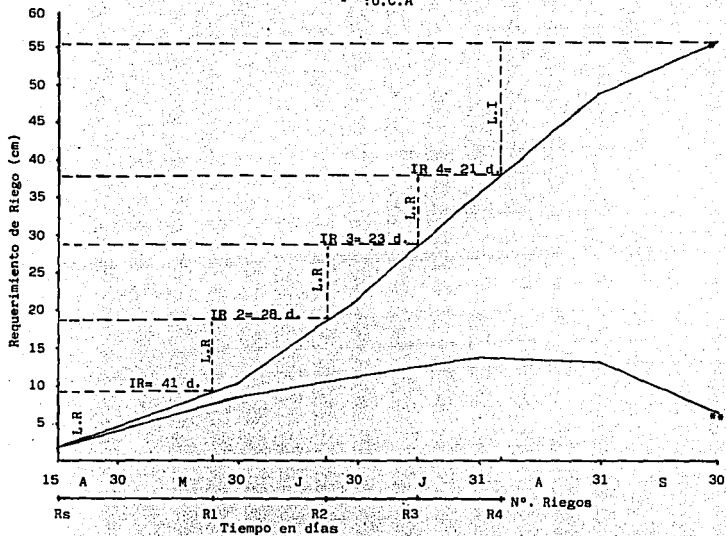
Ciclo : 159 días

L.I : 17.01

Nº Rieg: 4

I.R : Intervalo de riego

* : U.C.A



Cultivo: Avena Forrajera

Ciclo: 92 días

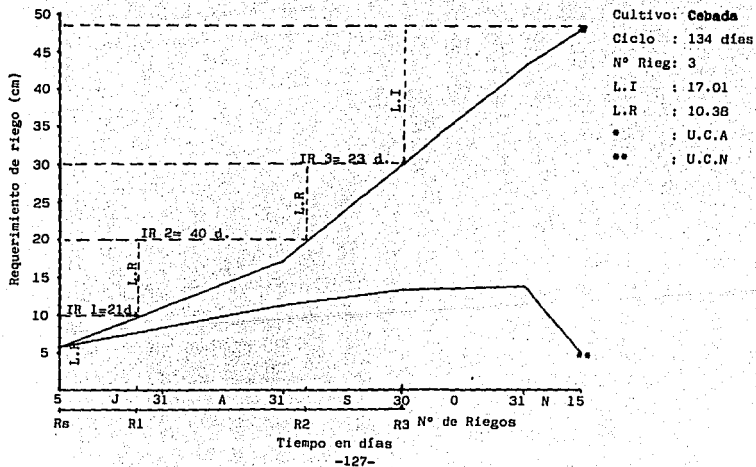
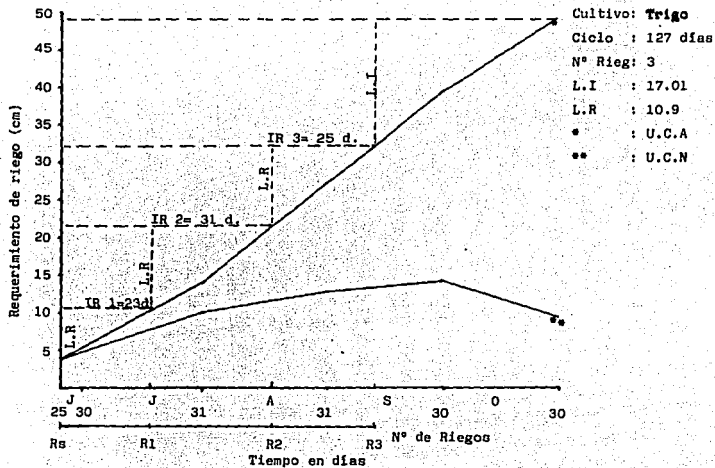
Nº Rieg: 1

L.R : 7.59

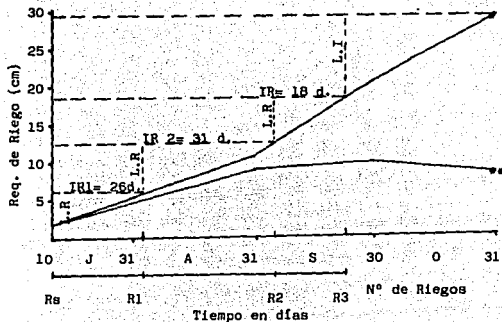
L.I : 17.01

* : U.C.A

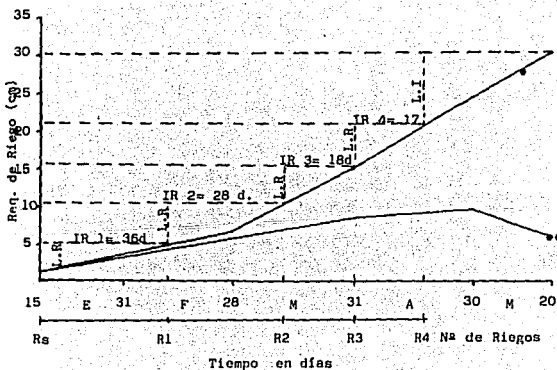
** : U.C.N



Cultivo: Frijol
 Ciclo : 102 días
 N° Rieg: 3
 L.I : 10.58
 L.R : 6.16
 • : U.C.A
 ** : U.C.N



Cultivo: Zanahoria
 Ciclo : 125 días
 N° Rieg: 5
 L.I : 9.40
 L.R : 5.26
 • : U.C.A
 ** : U.C.N



Cultivo: Tomate de
Cáscara

Ciclo :112 días

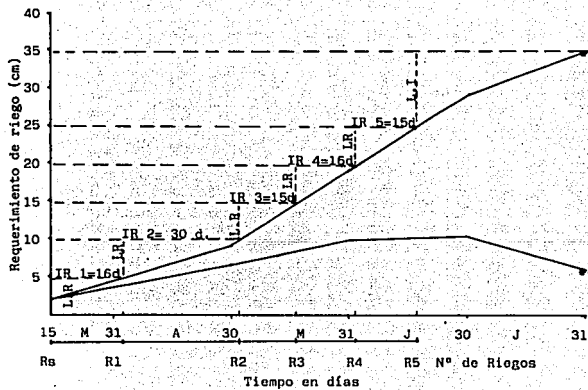
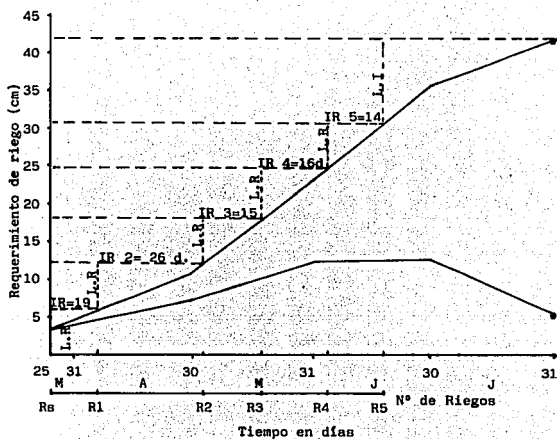
No.Rieg:5

L.I :10.58

L.R : 6.27

* :U.C.A

** :U.C.N



Cultivo: Calabacita

Ciclo :128 días

Nº Rieg.:5

L.I :9.40

L.R :15.11

* :U.C.A

** :U.C.N

4.6 Láminas de riego

Para determinar la interacción que existe entre los parámetros del cuadro 23 se tiene lo siguiente:

El comportamiento de la lámina y número de riegos esta en función de la - variabilidad que presenta la densidad, retención de humedad del suelo y la pro fundidad de la raíz. Así pues conforme aumenta la densidad aparente el conteni do de humedad en el suelo disminuye, ocasionando que el número de riegos aumen te generalmente estas características se presentan en los suelos franco-arenos os caso contrario se muestra en los suelos franco-arcillosos.

También puede notarse, que la profundidad de la raíz determina el compor tamiento de la lámina y número de riegos por lo tanto se tiene que a mayor pro fundidad de raíz es mayor la lámina requerida por el cultivo y por ende menor el número de riegos.

La C.C y PMP juegan un papel importante para el cálculo de las láminas de riego, puesto que la diferencia entre estos dos porcentajes nos indicara el - contenido de retención en el suelo, de esta forma se tiene que entre mayor sea el porcentaje de C.C mayor es la retención de humedad en el suelo, repercuten do en el número de riegos y viceversa.

Cuadro 23. Datos requeridos para láminas de riego, por hectárea.

Cultivo	Meses ciclo cult.	D.A 3 g/cm ³	C.C %	PMP %	W* %	Prof. raíz (m)	Lam. riego (cm)	Lam. rep*	o**	No. riegos	Suelo
Maíz de Grano (Zea mays L.)	6	1.40	30	16.5	13.5	1.0	18.9	11.46	1.0	4	Franco Arc
Maíz de Grano (Zea mays L.)	6	1.68	16	9.0	7.0	1.20	14.11	8.44	1.0	6	Franco Arc
Avena Forrajera (Avena sativa L.)	3	1.40	30	16.5	13.5	0.90	17.01	7.59	1.0	1	Franco Arc
Zanahoria (Daucus carota L.)	4	1.68	16	9.0	7.0	0.80	9.40	5.26	1.0	4	Franco Arc
Trigo (Triticum aestivum L.)	4	1.40	30	16.5	13.5	0.90	17.01	10.90	1.0	3	Franco Arc
Cebada (Hordeum vulgare L.)	4	1.40	30	16.5	13.5	0.90	17.01	10.38	1.0	3	Franco Arc
Tomate de cáscara (Physalis ixocarpa B)	4	1.68	16	9.0	7.0	0.90	10.58	6.27	1.0	5	Franco Arc
Frijol (Phaseolus vulgaris L.)	3	1.68	16	9.0	7.0	0.90	10.58	6.16	1.0	3	Franco Arc

Cultivo	Meses ciclo cult.	D.A g/cm ³	C.C %	PMP %	W* %	Prof. raíz (m)	Lam. riego (cm)	Lam rep. +	*** N° rie.	Suelo
Calabacita (Cucurbita pepo L)	4	1.68	16	9.0	7.0	0.80	9.40	5.11	1.0 5	Franco Arc.
Maíz Forrajero (Zea mays L)	5	1.40	30	16.5	13.5	0.90	17.01	9.62	1.0 4	Franco Arc.
Alfalfa *** (Medicago sativa L)	12	1.68	16	9.0	7.0	1.50	17.64	11.0	1.0 10	Franco Arc.

- * Capacidad de retención del suelo.
- ** Peso específico del agua en cm³.
- *** Estimado para un año.

4.7 Volumen neto total por cultivo

Para poder apreciar mejor la cantidad total de agua aplicada a cada cultivo durante todo su ciclo se prosiguió a convertir las láminas de uso consuntivo a volúmenes de agua en m^3 .

En el cuadro 24, el volumen de uso consuntivo se ve modificado por el sistema de eficiencia, aumentando el volumen de agua requerido por el cultivo; de esta forma se tiene que para todos los cultivos del total de agua aplicada durante todo el ciclo el 30% se pierde, por pérdidas inevitables generadas por la forma de operación y propiedades físicas del suelo lo que ocasiona que para aplicar la cantidad demandada por el cultivo mediante su U.C es necesario un volumen mayor para compensar dicha pérdida.

En consecuencia, entre menor sea la duración del ciclo de cultivo menor es la cantidad de agua requerida y por lo tanto la pérdida, lo anterior se refleja en la avena como en el frijol.

Agrupando las 3 hortalizas (tomate, calabacitas y zanahoria) se observa que aunque tienen la misma duración en el ciclo de cultivo existe una diferencia en los volúmenes de agua, debido a las características del fruto y a su tipo de crecimiento foliar.

En los cultivos de trigo y cebada a pesar de que su período de desarrollo es de 4 meses tienen una demanda mayor que las hortalizas esto se atribuye a que son cultivos en que existe una mayor densidad de plantas/ha y por consiguiente, una mayor transpiración.

El cultivo de maíz de grano y forrajero demandan los volúmenes máximos de agua ya que la duración de su ciclo de desarrollo es mayor aún con esto existe una diferencia con el forrajero puesto que al cosecharse en fresco la demanda disminuye.

La alfalfa a diferencia de los demás cultivos por ser perenne, sus requerimientos de agua varían durante todo el año, demandando mayor cantidad de agua

durante los meses de mayor temperatura, ya que aumenta su crecimiento foliar, -
caso contrario cuando esta desciende. Asi mismo por ser un cultivo forrajero se
le aplican varios cortes mismos que deben ir acompañados por una determinada -
cantidad de agua, que ayude a la iniciación del rebrote y evitar con esto la al-
teración de la planta.

Cuadro 24. Volumen neto total empleado por los cultivos, por hectárea.

Cultivo	U.C (cm)	L.I (cm)	L.R (cm)	U. ₃ (m ³)	L. ₁ (m ³)	L. ₂ (m ³)	L.R V. ₃ (m)	L.I+ L. ₂ (m)	Vol.Per- didg/E (m)	Vol.Tot. por ₃ E (m)
Maíz de Grano	64.76	18.9	11.46	6476	1890	1146	4586	6476	3485	9963
Maíz de Grano*	64.76	14.11	8.44	6476	1411	844	5064	6476	3496	9970
Maíz Forrajero	55.47	17.01	9.62	5547	1701	962	3848	5547	2987	8536
Calabacita	34.95	9.40	5.11	3495	940	511	2555	3495	1881	5376
Zanahoria	30.43	9.40	5.26	3043	940	526	2104	3043	1638	4682
Tomate de cáscara	41.92	10.58	6.27	4192	1058	627	3135	4192	2254	6447
Frijol	29.05	10.58	6.16	2905	1058	616	1848	2905	1562	4468
Avena Forrajera	24.60	17.01	7.59	2460	1701	759	759	2460	1330	3783
Trigo	49.73	17.01	10.90	4973	1701	1090	3270	4973	2673	7644
Cebada	48.14	17.01	10.38	4814	1701	1038	3114	4814	2589	7404
Alfalfa	126.14	17.64	10.88	12644	1764	1088	10880	12644	6799	19443

* En suelo Franco - Arenoso

L.I : Lámina Inicial

L.R : Lámina de Reposición

Cuadro 25. Determinación del volumen neto por cultivo y por riego.

Maíz de Grano						
Riegos	Intervalos en días	Lám.Rep. (cm)	E* (déc.)	Lám.Neta (cm)	Vol. Neto (m ³)	Vol. Perdido por riego m ³
Rs	0	18.90	0.65	29.07	2907	1017
1	43	11.47	0.65	17.64	1764	617
2	30	11.47	0.65	17.64	1764	617
3	25	11.47	0.65	17.64	1764	617
4	25	11.47	0.65	17.64	1764	617
		64.74		99.63	9963	3485

Maíz Forrajero						
Riegos	Intervalos en días	Lám.Rep. (cm)	E* (déc.)	Lám.Neta (cm)	Vol. Neto (m ³)	Vol. Perdido por riego m ³
Rs	0	17.01	0.65	26.16	2616	915
1	41	9.62	0.65	14.80	1480	518
2	28	9.62	0.65	14.80	1480	518
3	23	9.62	0.65	14.80	1480	518
4	21	9.62	0.65	14.80	1480	518
		55.47		85.36	8536	2987

Calabacita						
Riegos	Intervalos en días	Lám.Rep. (cm)	E* (déc.)	Lám.Neta (cm)	Vol. Neto (m ³)	Vol. Perdido por riego m ³
Rs	0	9.40	0.65	14.40	1446	506
1	16	5.11	0.65	7.86	786	275
2	30	5.11	0.65	7.86	786	275
3	15	5.11	0.65	7.86	786	275
4	16	5.11	0.65	7.86	786	275
5	15	5.11	0.65	7.86	786	275
		34.94		53.76	5376	1881

* E (déc.) : Eficiencia del sistema en decimal.

Avena Forrajera

Riego	Intervalo en días	Lám.Rep. (cm)	E* (déc.)	Lám.Neta (cm)	Vol.Netto (m ³)	Vol.Perdido por riego m ³
Ra	0	17.01	0.65	26.16	2616	915
1	28	7.59	0.65	11.67	1167	408
		24.60		37.87	3787	1320

Trigo

Riego	Intervalo en días	Lám.Rep. (cm)	E* (déc.)	Lám.Neta (cm)	Vol.Netto (m ³)	Vol.Perdido por riego m ³
Ra	0	17.01	0.65	26.16	2616	915
1	23	10.90	0.65	16.76	1676	586
2	31	10.90	0.65	16.76	1676	586
3	25	10.90	0.65	16.76	1676	586
		49.73		76.44	7644	2673

Cebada

Riego	Intervalo en días	Lám.Rep. (cm)	E* (déc.)	Lám.Neta (cm)	Vol.Netto (m ³)	Vol.Perdido por riego m ³
Ra	0	17.01	0.65	26.16	2616	915
1	21	10.38	0.65	15.96	1596	558
2	40	10.38	0.65	15.96	1596	558
3	23	10.38	0.65	15.96	1596	558
		48.14		74.04	7404	2589

* E (déc.) :Eficiencia del sistema en decimal.

Tomate de cáscara

Riegos	Intervalo en días	Lám.Rep. (cm)	E* (déc.)	Lám.Neta (cm)	Vol.Netto (m ³)	Vol.Perdido por rieg.m ³
Rs	0	10.58	0.65	16.27	1627	569
1	19	6.27	0.65	9.64	964	337
2	26	6.27	0.65	9.64	964	337
3	15	6.27	0.65	9.64	964	337
4	16	6.27	0.65	9.64	964	337
5	14	6.27	0.65	9.64	964	337
		41.92		64.47	6447	2254

Zanahoria

Riegos	Intervalo en días	Lám.Rep. (cm)	E* (déc.)	Lám.Neta (cm)	Vol.Netto (m ³)	Vol.Perdido por rieg.m ³
Rs	0	9.40	0.65	14.46	1446	506
1	36	5.26	0.65	8.09	809	283
2	28	5.26	0.65	8.09	809	283
3	18	5.26	0.65	8.09	809	283
4	17	5.26	0.65	8.09	809	283
		30.43		46.82	4682	1638

Frijol

Riegos	Intervalo en días	Lám.Rep. (cm)	E* (déc.)	Lám.Neta (cm)	Vol.Netto (m ³)	Vol.Perdido por riego m ³
Rs	0	10.58	0.65	16.27	1627	569
1	26	6.16	0.65	9.47	947	331
2	31	6.16	0.65	9.47	947	331
3	18	6.16	0.65	9.47	947	331
		29.05		44.68	4468	1562

* E (déc.): Eficiencia del sistema en decimal.

Alfalfa

Riegos	Intervalo en días	Lám.Rep. (cm)	E* (déc.)	Lám.Neta (cm)	Vol.Neta (m ³)	Vol.Perdido por riego m ³
Rs	0	17.64	0.65	27.13	2713	949
1	40	10.88	0.65	16.73	1673	585
2	30	10.88	0.65	16.73	1673	585
3	28	10.88	0.65	16.73	1673	585
4	24	10.88	0.65	16.73	1673	585
5	24	10.88	0.65	16.73	1673	585
6	20	10.88	0.65	16.73	1673	585
7	22	10.88	0.65	16.73	1673	585
8	22	10.88	0.65	16.73	1673	585
9	24	10.88	0.65	16.73	1673	585
10	26	10.88	0.65	16.73	1673	585
		126.44		194.43	19443	6799

* E (déc.): Eficiencia del sistema en decimal.

4.8 Tiempo de riego por cultivo

En el cuadro 26, se determina el comportamiento en la duración del tiempo de aplicación en cada riego, dependiendo principalmente del volumen a aplicar.

Por lo tanto el tiempo requerido para el riego inicial del maíz según su volumen sera de 16 hrs. este comportamiento se mantiene para los demás cultivos ya que conforme desciende el volumen demandado se reduce el tiempo de aplicación.

En comparación con los volúmenes de reposición, el tiempo de aplicación presenta una reducción en tiempo del 40%, lo que disminuye el tiempo de disponibilidad del riego por usuario y las horas de bombeo del pozo.

En general existe una relación en el volumen de extracción del pozo, y el tiempo de aplicación del riego ya que a mayor gasto del pozo mayor es el volumen de extracción por hora y por lo tanto el tiempo de riego disminuye.

Cuadro 26. Tiempo de riego por cultivo.

Cultivo	Vol.L.I m ³	Vol.Perd. por E en L.I m ³ .	Tiempo/Riego(h)			Vol.L.R m ³	Vol.Perd. por E en L.R m ³	Tiempo/Riego(h)			Q=l/s x̄
			Sin E	Con E	Vol per.			Sin E	Con E	Vol per.	
Maíz de Grano	1890	1017	10,55'	16,49'	5,52'	1147	617	6,37'	10,12'	3,34'	48
Maíz Forrajero	1411	760	8,00'	12,33'	4,23'	844	456	4,52'	7,52'	2,38'	48
Calabacita	940	506	5,25'	8,22'	2,55'	511	275	2,57'	4,32'	1,35'	48
Tomate de cáscara	1058	569	6,00'	9,24'	3,17'	627	337	3,37'	5,34'	1,57'	48
Zanahoria	940	506	5,25'	8,22'	2,55'	526	283	3,00'	4,40'	1,38'	48
Frijol	1058	569	6,00'	9,24'	3,17'	616	331	3,33'	5,29'	1,55'	48
Avena	1701	915	9,50'	15,14'	5,17'	759	408	4,23'	6,45'	2,22'	48
Trigo	1701	915	9,50'	15,14'	5,17'	1090	586	6,18'	9,41'	3,23'	48
Cabada	1701	915	9,50'	15,14'	5,17'	1038	558	6,00'	9,14'	3,13'	48
Alfalfa	1764	949	10,12'	15,42'	5,29'	1088	585	6,17'	9,41'	3,23'	48

4.9 Calendario de riegos y de cultivos por Unidad de Riego

* Este tema se expondra por medio del ejemplo de la Unidad de Riego No.2

1) Los requerimientos de riego para cada cultivo se iran anotando según el mes correspondiente.

2) Posteriormente se determina el mes de mayor requerimiento de riego representado por la lámina mayor.

Bo. de San Marcos Pozo 2		No. de has: 98										Q= 48 l/s	
Cultivos	Has	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Maíz de gra.	56				18.90		11.47	11.47	22.94				
Alfalfa	42	10.88	10.88	10.88	10.88	10.88	21.76	10.88	10.88				17.6
Avena inv.*	6											17.01	7.59
										33.82			

* Posterior al maíz.

3) Por lo que se puede apreciar en el cuadro anterior el mes más crítico para el riego es el de agosto con una lámina de 33.82 cm que representan 2 has (maíz y alfalfa). La lámina de 33.82 cm equivale a un volumen de agua de 3382 m³ en 2 has y como se van a regar 98 has se necesita que la fuente de abastecimiento de agua de riego pueda proporcionar en el mes de agosto 165,718 m³.

4) Para poder aplicar el volumen antes mencionado se toma en cuenta el menor intervalo de riego en los cultivos considerados que para este caso es de 24 días:

$$Q = \frac{V}{t} \quad Q = \frac{165,718 \text{ m}^3}{3600 \text{ s} \times 24 \text{ d}} = \frac{165,718}{1,728,000} = 95 \text{ l/s}$$

5) Como se observa la fuente de abastecimiento debera ser capaz de proporcionar un caudal de 95 l/s para poder abastecer la demanda de agua en el tiempo establecido.

6) Pero como el pozo sólo extrae 48 l/s se tiene:

$$Q = \frac{V}{t} \quad V = Q \times t \quad V = 0.048 \text{ m}^3/\text{s} \times 1,728,000 \text{ seg} = 82,944 \text{ m}^3/\text{s}$$

7) Por lo tanto el volumen extraído con dicho gasto no es suficiente para abastecer el total de has en el mes de agosto, puesto que sólo se pueden abastecer 49 has por lo que las 47 restantes tendrán que ser regadas por medio de otra fuente.

Pozo 4 Bo. Santa María		No. de has: 22										Q = 45 l/s	
Cultivos	Has	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Maíz forra.11					17.01	9.62	9.62	9.62	9.62				
Alfalfa	7	10.88	10.88	10.88	10.88	10.88	21.76	10.88	10.88				17.64
Tomate c.	4			10.58	6.27	12.54	12.54						
43.92													

Mes más crítico del riego: Junio con una lámina de 43.92 cm

Volumen: 4392 m³ en 3 has

Intervalo de riego menor: 14 días (1,088,000 seg)

Horas de bombeo: 20 hrs/diarios

Hectáreas: 22

Vol. Requerido : 32,208 m³ ----- Q = 32 l/s ----- has= 22

Vol. de la Unidad de R. : 43,360 m³ ----- Q = 45 l/s ----- has= 30

Vol. excedente : 11,152 m³ ----- ----- has= 8

Pozo 5 Bo. San Miguel		No. de has= 40										Q = 45 l/s	
Cultivos	Has	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Maíz gra. 25					18.90		11.47	11.47	22.94				
Alfalfa	10	10.88	10.88	10.88	10.88	10.88	21.76	10.88	10.88				17.64
Zanahoria	5	9.40	5.26	5.26	10.52								
40.30													

Mes más crítico del riego: Abril con una lámina de 40.30 cm

Volumen: 4030 m³ en 3 has

Intervalo de riego menor: 17 días (1,224,00 seg)

Horas de bombeo: 20 hrs/diario

Hectáreas: 40

Volumen requerido : 53,733 m³ ----- Q = 44 l/s ----- has = 40

Vol. Unidad de Riego : 45,360 m³ ----- Q = 45 l/s ----- has = 34

Vol. Faltante : 8,373 m³ ----- ----- has = 6

Pozo 6 Bo. San Lorenzo		No. de has: 50										Q = 48 l/s	
Cultivo	Has	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Maíz gr.	30				18.90		11.47	11.47	22.94				
Frijol	3						10.58	6.16	12.32				
Alfalfa	13	10.88	10.88	10.88	10.88	10.88	21.76	10.88	10.88				17.64
Calabac.	4			9.40	5.11	10.22	10.22						
43.45													

Mes más crítico del riego: Junio con una lámina de 43.45 cm

Volumen: 4345 m³ en 3 has.

Intervalo de riego menor: 15 días (1,080,000 seg)

Horas de bombeo: 20 hrs/ diarios

Hectáreas: 47

Volumen requerido : 68,071 m³ ----- Q = 63 l/s ----- has = 47
 Vol. de la Unidad de Riego : 51,840 m³ ----- Q = 48 l/s ----- has = 36
 Vol. faltante : 16,231 m³ ----- ----- has = 11

Pozo 7 Bo. Santiago		No. de has: 36										Q = 60 l/s	
Cultivo	Has	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Maíz gran.	16				18.90		11.47	11.47	22.94				
Alfalfa	12	10.88	10.88	10.88	10.88	10.88	21.76	10.88	10.88				17.64
Trigo	5						17.01	10.90	10.90	10.90			
Cebada	3						27.39			10.38	10.38		
60.64													

Mes más crítico del riego: Julio con una lámina de 60.64 cm

Volumen: 6064 m³ en 4 has

Intervalo de riego menor: 20 días (1,440,000 seg)

Horas de bombeo: 20 hrs/diarios

Héctareas: 36

Volumen requerido : 54,576 m³ ----- Q = 38 l/s ----- has = 36
 Volumen de la Unidad de Riego: 86,400 m³ ----- Q = 60 l/s ----- has = 57
 Volumen excedente : 31,824 m³ ----- ----- has = 21

San Sebastian		No. de has: 54										Q = 25 l/s	
Cultivo	Has	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Maiz grano	31				18.90		11.47	11.47	22.94				
Alfalfa	17	10.88	10.88	10.88	10.88	10.88	21.76	10.88	10.88				17.64
Avena inv.	6											17.01	7.59
												33.82	

Mes más crítico del riego: Agosto con un lámina de 33.82 cm

Volumen: 3382 m³ en 2 has

Intervalo de riego menor: 20 días (1,440,000 seg)

Horas de bombeo: 20 hrs/diario

Hectáreas: 48

Volumen requerido : 81,168 m³ ----- Q = 56 l/s ----- has: 48

Volumen Unidad de Riego : 36,000 m³ ----- Q = 25 l/s ----- has: 21

Volumen faltante : 45,168 m³ ----- has: 27

tepetzingo		No. de has: 51.5										Q = 48 l/s	
Cultivo	Has	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Maiz for.	33				17.01	9.62	9.62	9.62	9.62				
Alfalfa	10	10.88	10.88	10.88	10.88	10.88	21.76	10.88	10.88				17.64
Calabac.	5			9.40	5.11	10.22	10.22						
Tomate c.	3.5			10.58	6.27	12.54	12.54						
												54.14	

Mes más crítico del riego: Junio con una lámina de 54.14 cm

Volumen: 5414 m³ en 4 has

Intervalo de riego menor: 14 días (1,008,000 seg)

Horas de bombeo: 20 hrs/diarios

Hectáreas: 51.5

Volumen requerido : 69,705 m³ ----- Q = 69 l/s ----- has = 51.5

Volumen Unidad de Riego : 43,384 m³ ----- Q = 48 l/s ----- has = 36.0

Volumen faltante : 21,321 m³ ----- has = 15.5

Cuadro 27. Unidades de Riego que comprenden el área de estudio

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos
 Jefatura del Distrito y Unidades de Riego No. 073
 Unidad Operativa Municipal 06, Zump. de Ocampo.

Nombre de la Unidad	Período 83/84		Período 89/90		Período 93/94	
	has	Q=1/s	has	Q=1/s	has	Q=1/s
Pozo 1 San Juan	83	0	83	0	76.5	0 **
Pozo 2 San Marcos	98	38	98	36	98	48 *
Pozo 3 Bo. San Pedro	85	14	85	0	85	0 **
Pozo 4 Bo. Santa María	55	27	54	21	22	45 *
Pozo 5 Bo. San Miguel	82	35	82	35	40	45 *
Pozo 6 Bo. San Lorenzo	71	27	71	26	50	48 *
Pozo 7 Bo. Santiago	35	22	36	35	36	60 *
Pozo San Sebastian	93	29	63	42	54	25 *
Pozo Tepetzingo	52	42	52	43	51.5	48 *

Unidades de Riego

* Estos Pozos Fueron Rehabilitados.

** Pozos Abatidos.

Fuente: Distrito de Desarrollo Rural. Depto. de Irrigación, Zumpango de Ocampo, Edo Méx.

V. CONCLUSIONES

- * El método de uso consuntivo utilizado, es aplicado a cualquier cultivo en diferentes zonas agrícolas, donde se cuente con registros principalmente de temperatura.
- * La estimación del uso consuntivo mensual proporciona la demanda de agua de cualquier cultivo durante cada una de sus etapas fenológicas, ya que relaciona el porcentaje de ciclo vegetativo con el coeficiente de crecimiento.
- * Durante los meses con precipitaciones suficientes los riegos se ven reducidos, repercutiendo en un volumen menor de extracción del agua.
- * Tomando en cuenta el uso consuntivo y mediante un programa de riego se suministra el agua según las necesidades de los cultivos a través de un tiempo determinado.
- * El aumento o disminución del uso consuntivo está en función del ciclo del cultivo (P-V;O-I), y la duración del ciclo vegetativo.

VI. BIBLIOGRAFIA

- 1) Benton, A. Construcción de pozos para el aprovechamiento del agua subterránea, Chapingo, México, 1988.
- 2) Black, C. Relación suelo - planta. Ed. Hemisfério Sur, Buenos Aires, Argentina, Tomo I, 1975.
- 3) Blaney, H. Determinaciones de las necesidades de riego por medio de datos climatológicos y de riego. Memorandum Técnico No. 59, SARH, México, 1951.
- 4) Castilla, P. Determinación práctica del uso consuntivo. Revista Ing. Hidráulica de México, Vol. XIX No. 4 SAR, México, 1966.
- 5) Coran, M. Cálculo de evapotranspiración, precipitación aprovechable y programación de riegos. Chapingo, México, 1983.
- 6) Dastane, N. Precipitación efectiva en la agricultura de regadío. Roma, Italia, 1974.
- 7) De la Loma, J. Métodos indirectos para la determinación del uso consuntivo de agua por las plantas cultivadas, Memorandum Técnico No. 66 SAR, México, 1952.
- 8) Del Valle, F. Cálculo del uso consuntivo. Depto. de Irrigación, UACH, México, 1993.
- 9) Del Valle, F. Prácticas de relaciones agua-suelo-planta-atmósfera. UACH, México, 1992.
- 10) Departamento de Agricultura de E.U (USDA). Relación entre suelo-planta-agua. Colección Ingeniería de Suelos, FAO, 1975.
- 11) Dirección General de Distritos y Unidades de Riego. Funcionamiento hidráulico : diseño y evaluación de sistemas de riego por goteo. CENAMAR, México, 1970.
- 12) Espinosa, E. Los Distritos de Riego. Ed. CECSA, México, 1976.

- 13) FIRA. El riego presurizado, una alternativa para el desarrollo de acuíferos sobre explotados. La Paz, ECS, México.
- 14) García, E. Apuntes de climatología. Ed. privada, México, 1986.
- 15) Guajardo, G. Tablas útiles para el cálculo de uso consuntivo por el método de Blaney y Criddle. Chapingo, México, 1979.
- 16) Guillen, G. Evaluación de métodos de riego. (Boletín Técnico No. 16 Dpto. de Irrigación) UACH, México, 1980.
- 17) Hogg, W. Sistemas de riego. Ed. Aeribia, Zaragoza, España, 1981.
- 18) Israelsen, O. Principios y aplicaciones del riego. Ed. Reverté, S.A. Barcelona, España, 1965.
- 19) INEGI. IX Censo General de Población y Vivienda. Tomo III. Edo. de Méx., - 1990.
- 20) Keller, J. Diseño de sistemas de riego de pivote central. Folleto. Caracas Venezuela, 1970.
- 21) Kramer, P. Relaciones agua-suelo-planta: Una síntesis moderna. Ed. Educatex, S.A México, 1974.
- 22) Murillo, J. Apuntes de horticultura general. FES-C UNAM, México, 1991.
- 23) Palacios, V. Estimación de los requerimientos de agua de los cultivos para conocer el cuándo y cuánto regar. Boletín Técnico No. 14 Depto de Irrigación, UACH, México, 1980.
- 24) Plan de Desarrollo Municipal 1994 - 1996. Gobierno del Estado de México. H Ayuntamiento de Zumpango de Ocampo, México, 1994
- 25) SARH. Procedimiento para evaluar métodos de riego. Memorandum Técnico No.- 249, México, 1967.

- 26) SARH/INIA. Logros y aportaciones de la investigación agrícola en el uso y manejo del agua. Publicación Esp. No. 104, México, 1983.
- 27) SARH. Uso y manejo del agua de riego. Memorandum Técnico No. 387, Marzo, - México.
- 28) Servicios de Conservación de Suelos (EUA). Relación entre suelo-planta y agua. Ed. Diana, México, 1973.
- 29) SARH. Relación del suelo-agua y las plantas. Memorandum Técnico No. 154 México, 1959.
- 30) SEP. Manuales para educación agropecuaria. Riego y Drenaje. Ed. Trillas, - México, 1985.
- 31) Schwab, G. Soil and water conservation engineering. Ed. Wiley, EUA, 1993.
- 32) Torres, C. Evapotranspiración potencial. Estimación Directa. Folleto 208-UACH, México, 1980.
- 33) USDA. Relación entre suelo - planta - agua. Ed. Diana, Nuevo México, 1976.
- 34) Velazco, L. Física del sistema suelo - agua - planta. Ed. Universidad Nacional Agraria, México, 1979.
- 35) Villalpando, J. Observaciones agrometeorológicas y su uso en la agricultura. Ed. UTEHA, México, 1993.
- 36) Winter, E. El agua - suelo y la planta. Ed. Diana, México, 1977.
- 37) Withers, B. El riego: Diseño y Práctica. Ed. Diana, México, 1978.

A N E X O S

Cuadro 28. Porcentajes de horas luz para cada mes del -
año en relación al número total en un año (p)

LAT. NTE.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.
15°	7.94	7.37	6.44	6.45	6.98	6.80	6.03	6.83	6.27	6.26	7.75	7.88
16°	7.93	7.35	6.44	6.46	6.91	6.83	6.07	6.85	6.27	6.24	7.72	7.83
17°	7.88	7.32	6.43	6.48	6.94	6.87	6.11	6.87	6.27	6.22	7.69	7.80
18°	7.83	7.30	6.42	6.50	6.99	6.92	6.16	6.90	6.27	6.21	7.66	7.74
19°	7.79	7.28	6.41	6.51	6.11	6.97	6.20	6.92	6.28	6.19	7.63	7.71
20°	7.74	7.26	6.41	6.53	6.14	6.90	6.23	6.95	6.29	6.17	7.59	7.68
21°	7.71	7.24	6.40	6.54	6.18	6.95	6.29	6.98	6.29	6.15	7.54	7.62
22°	7.66	7.21	6.40	6.56	6.92	6.99	6.33	6.90	6.30	6.13	7.50	7.55
23°	7.62	7.19	6.40	6.57	6.24	6.12	6.35	6.02	6.30	6.11	7.47	7.50
24°	7.58	7.17	6.40	6.60	6.30	6.20	6.41	6.05	6.31	6.09	7.43	7.46
25°	7.53	7.13	6.39	6.61	6.32	6.22	6.43	6.08	6.30	6.08	7.40	7.41
26°	7.49	7.12	6.40	6.64	6.38	6.30	6.49	6.10	6.31	6.06	7.36	7.35
27°	7.43	7.09	6.38	6.65	6.40	6.32	6.52	6.13	6.32	6.03	7.36	7.31
28°	7.40	7.07	6.39	6.68	6.46	6.36	6.58	6.16	6.32	6.02	7.22	7.27
29°	7.35	7.04	6.37	6.70	6.49	6.43	6.61	6.19	6.32	6.00	7.24	7.20
30°	7.30	7.03	6.38	6.72	6.53	6.49	6.67	6.22	6.34	6.99	7.19	7.14
31°	7.25	7.00	6.36	6.73	6.57	6.54	6.72	6.24	6.33	7.95	7.18	7.09
32°	7.20	6.97	6.37	6.75	6.63	6.60	6.77	6.28	6.34	7.95	7.11	7.05

Cuadro 29. Valores de la expresión $t + \frac{17.8}{21.8}$ en relación con temperaturas medias en °C para la fórmula de Blaney y Criddle.

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3....	0.954	0.959	0.963	0.968	0.972	0.977	0.982	0.986	0.991	0.995
4....	1.000	1.005	1.009	0.014	1.018	1.023	1.028	1.032	1.037	1.041
5....	1.048	1.050	1.055	1.060	1.064	1.069	1.074	1.078	1.083	1.087
6....	1.092	1.096	1.101	1.106	1.110	1.115	1.119	1.124	1.128	1.133
7	1.136	1.142	1.147	1.151	1.156	1.161	1.165	1.170	1.174	1.179
8	1.183	1.188	1.193	1.197	1.202	1.206	1.211	1.216	1.220	1.225
9	1.229	1.234	1.239	1.243	1.248	1.252	1.257	1.261	1.266	1.271
10	1.275	1.279	1.284	1.289	1.294	1.298	1.304	1.307	1.312	1.317
11	1.321	1.326	1.330	1.335	1.339	1.344	1.349	1.354	1.358	1.362
12	1.367	1.372	1.376	1.381	1.385	1.390	1.394	1.400	1.404	1.408
13	1.413	1.417	1.422	1.427	1.431	1.436	1.440	1.445	1.450	1.454
14	1.459	1.463	1.468	1.472	1.477	1.482	1.486	1.491	1.496	1.500
15	1.505	1.509	1.514	1.518	1.523	1.528	1.532	1.537	1.541	1.546
16	1.550	1.555	1.560	1.564	1.569	1.573	1.578	1.583	1.587	1.592
17	1.596	1.601	1.606	1.610	1.615	1.619	1.624	1.628	1.633	1.638
18	1.642	1.647	1.651	1.656	1.661	1.665	1.670	1.674	1.679	1.683
19	1.688	1.693	1.697	1.702	1.706	1.711	1.716	1.720	1.725	1.729
20	1.734	1.739	1.743	1.748	1.752	1.757	1.761	1.766	1.771	1.775
21	1.780	1.784	1.789	1.794	1.798	1.803	1.807	1.812	1.817	1.821
22	1.826	1.830	1.835	1.839	1.844	1.849	1.853	1.858	1.862	1.867
23	1.872	1.876	1.881	1.885	1.890	1.894	1.899	1.904	1.908	1.913
24	1.917	1.922	1.927	1.931	1.936	1.940	1.945	1.950	1.954	1.959
25	1.963	1.968	1.972	1.977	1.982	1.986	1.991	1.995	2.000	2.004
26	2.009	2.014	2.018	2.023	2.028	2.032	2.037	2.041	2.046	2.050
27	2.055	2.060	2.064	2.069	2.073	2.078	2.083	2.087	2.092	2.096
28	2.101	2.106	2.110	2.115	2.119	2.124	2.128	2.133	2.138	2.142
29	2.147	2.151	2.156	2.161	2.165	2.170	2.174	2.179	2.183	2.188
30	2.193	2.197	2.202	2.206	2.211	2.216	2.220	2.225	2.229	2.234
31	2.239	2.243	2.248	2.252	2.257	2.261	2.266	2.271	2.275	2.280
32	2.284	2.289	2.294	2.298	2.303	2.307	2.312	2.317	2.321	2.326
33	2.330	2.335	2.339	2.344	2.349	2.353	2.358	2.362	2.367	2.372
34	2.376	2.381	2.385	2.390	2.394	2.399	2.404	2.408	2.413	2.417
35	2.422	2.427	2.431	2.436	2.440	2.445	2.450	2.454	2.459	2.463

Cuadro 30. Coeficientes periódicos (k) de uso consuntivo en función del ciclo vegetativo, propuesto por Grassi y Christiansen.

C.V	$K_G=0.35$	$K_G=0.40$	$K_G=0.45$	$K_G=0.50$	$K_G=0.55$	$K_G=0.60$	$K_G=0.65$
	k	k	k	k	k	k	k
10	0.158	0.181	0.204	0.226	0.249	0.272	0.294
20	0.255	0.292	0.328	0.365	0.401	0.438	0.474
30	0.333	0.380	0.428	0.475	0.523	0.571	0.618
40	0.391	0.447	0.503	0.559	0.615	0.671	0.727
50	0.430	0.492	0.553	0.615	0.676	0.738	0.799
60	0.450	0.514	0.578	0.643	0.707	0.771	0.836
70	0.450	0.515	0.579	0.643	0.708	0.772	0.837
80	0.432	0.493	0.555	0.616	0.678	0.740	0.801
90	0.393	0.450	0.505	0.562	0.618	0.674	0.731
100	0.336	0.384	0.432	0.480	0.528	0.576	0.624

C.V	$K_G=0.70$	$K_G=0.75$	$K_G=0.80$	$K_G=0.85$	$K_G=0.90$	$K_G=0.95$
	K	K	K	K	K	K
10	0.317	0.340	0.362	0.385	0.407	0.430
20	0.511	0.547	0.584	0.620	0.657	0.693
30	0.666	0.713	0.761	0.809	0.856	0.904
40	0.783	0.839	0.895	0.951	1.006	1.063
50	0.861	0.922	0.984	1.045	1.107	1.168
60	0.900	0.954	1.028	1.093	1.157	1.221
70	0.901	0.965	1.030	1.094	1.158	1.222
80	0.863	0.925	0.986	1.048	1.109	1.171
90	0.787	0.843	0.899	0.956	1.012	1.058
100	0.672	0.720	0.768	0.816	0.864	0.912

Cuadro 31. Coeficientes globales de uso consuntivo para los diferentes cultivos, dependiendo de la región climatológica

Cultivo	Período de Crec.	Coefficiente Global
Aguate	Todo el año	$K_G = 0.50$ a 0.55 Regiones húmedas: 0.50 Regiones semi-húmedas: 0.55
Ajonjolí	3 a 4 meses	$K_G = 0.80$ aplicable en cualquier región.
Alfalfa	Todo el año	$K_G = 0.80$ a 0.85 Entre heladas: 0.60 Regiones húmedas y semi-húm: 0.80 Regiones áridas y semi-árid: 0.85
Algodón	6 a 7 meses	$K_G = 0.60$ a 0.65 Regiones húm y semi-húm: 0.60 Regiones áridas y semi-árid: 0.65
Arroz	3 a 6 meses	$K_G = 1.00$ a 1.20 Regiones muy húmedas: 1.0 Regiones húmedas: 1.05 Regiones semi-húm: 1.10 Regiones semi-áridas: 1.15 Regiones áridas: 1.20
Cacahuete	5 meses	$K_G = 0.60$ a 0.65 Regiones húm y semi-húm: 0.60 Regiones áridas y semi-árid: 0.65
Cacao	Todo el año	$K_G = 0.75$ a 0.80 Regiones muy húmedas: 0.75 Regiones húmedas: 0.80
Café	Todo el año	$K_G = 0.75$ a 0.80 Regiones muy húmedas: 0.75 Regiones húmedas: 0.80
Camote	5 a 6 meses	$K_G = 0.60$ aplicable en cualquier región.
Caña de azúcar	Todo el año	$K_G = 0.75$ a 0.90 Regiones húmedas: 0.75 Regiones semi-húmedas: 0.80 Regiones semi-áridas: 0.85 Regiones áridas: 0.90
Cártamo	5 a 8 meses	$K_G = 0.55$ a 0.65 Regiones semi-húm: 0.55 Regiones semi-áridas: 0.60 Regiones áridas: 0.65

Cultivo	Período de Crec.	Coefficiente Global
Cereales de granos pequeños: alpiste, cebada, avena, centeno y trigo.	3 a 6 meses	$K_G = 0.55$ a 0.65 Regiones semi-húm: 0.55 Regiones semi-áridas: 0.60 Regiones áridas: 0.65
Cítricos	7 a 8 meses	$K_G = 0.50$ a 0.65 Regiones húmedas: 0.50 Regiones semi-húm: 0.55 Regiones semi-áridas: 0.60 Regiones áridas: 0.65
Chile	3 a 4 meses	$K_G = 0.60$ aplicable a cualquier región.
Espárrago	6 a 7 meses	$K_G = 0.60$ aplicable a cualquier región.
Fresa	Todo el año	$K_G = 0.45$ a 0.60 Regiones húmedas: 0.45 Regiones semi-húm: 0.50 Regiones semi-áridas: 0.55 Regiones áridas: 0.60
Frijol	3 a 4 meses	$K_G = 0.60$ a 0.70 Regiones húmedas: 0.60 Regiones semi-húm: 0.65 Regiones semi-árid. y árid: 0.70
Frutales de hueso y pepita	Entre heladas	$K_G = 0.60$ a 0.70 Regiones húmedas: 0.60 Regiones semi-húm: 0.65 Regiones semi-áridas y árid: 0.70
Frutales establecidos de climas tropicales y subtropicales (hoja decidua)	Todo el año	$0.75E_{TA} + 0.80E_{TA}$ donde: $\frac{2}{f}$ E_{TA} : Evaporación tanque tipo A f : Factor de luminosidad y t°
Garbanzo	4 a 5 meses	$K_G = 0.60$ a 0.70 Regiones húmedas: 0.60 Regiones semi-húmedas: 0.65 Regiones semi-áridas y árid: 0.70
Papa	3 a 5 meses	$K_G = 0.65$ a 0.75 Regiones húmedas: 0.65 Regiones semi-húm: 0.70 Regiones semi-áridas: 0.75 Regiones áridas: 0.75
Palma Datilera	Todo el año	$K_G = 0.65$ a 0.80 Regiones húmedas: 0.65 Regiones semi-húm: 0.70 Regiones semi-áridas: 0.75 Regiones áridas: 0.80
Papaya	Todo el año	$K_G = 0.65$ a 0.75 El coeficiente global seleccionado para una región determinada se obtiene: $ET = (0.75 \text{ a } 0.80) E$

FALLA DE ORIGEN

Cultivo	Periodo de Crec.	Coefficiente Global
Plátano	Todo el año	$K_G = 0.80$ a 1.0 Se realiza de acuerdo a la Papa- ya.
Pastos de Gramíneas	Todo el año	$K_G = 0.75$ aplicable para cual - quier región.
Remolacha	6 meses	$K_G = 0.65$ a 0.75 Regiones húmedas: 0.65 Regiones semi-húm: 0.70 Regiones áridas y semi-árid: 0.75
Sarúa	3 a 4 meses	$K_G = 0.60$ aplicable para cual - quier región.
Sorgo	3 a 5 meses	$K_G = 0.70$ aplicable para cual - quier región.
Soya	3 a 5 meses	$K_G = 0.60$ a 0.70 Regiones húmedas: 0.60 Regiones semi-húmedas: 0.65 Regiones árid y semi-árid: 0.70
Gladiolo	3 a 4 meses	$K_G = 0.60$ para toda región.
Haba	4 a 5 meses	$K_G = 0.60$ a 0.70 Regiones húmedas: 0.60 Regiones semi-húm: 0.65 Regiones semi-árid y árid: 0.70
Hortalizas	2 a 4 meses	$K_G = 0.60$ para toda región.
Jitomate	4 meses	$K_G = 0.70$ para toda región.
Lechuga y Col	3 meses	$K_G = 0.70$ para toda región.
Lenteja	4 meses	$K_G = 0.50$ a 0.70 Regiones húmedas: 0.60 Regiones semi-húm: 0.65 Regiones semi-árid. y árid: 0.70
Maíz	4 a 7 meses	$K_G = 0.75$ a 0.85 Regiones húmedas: 0.75 Regiones semi-húm: 0.80 Reg. semi-áridas y áridas: 0.65
Mango	Todo el año	$K_G = 0.75$ a 0.80 Regiones húmedas: 0.75 Regiones semi-húmedas: 0.80
Melón	3 a 4 meses	$K_G = 0.60$ para toda región.
Nogal	Entre heladas	$K_G = 0.70$ para toda región.
Tomate	4 a 5 meses	$K_G = 0.70$ para toda región.
Zanahoria	2 a 4 meses	$K_G = 0.60$ para toda región.



GOBIERNO DEL
ESTADO DE
MEXICO

T E X C O M P E N C O

H. AYUNTAMIENTO DE
ZUM P A N G O
D E O C A M P O

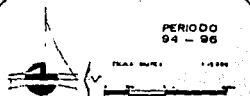
S I M B O L O G I A

	BO
	TUNEL DE DESAGUE
	SEÑAL CANAL DE DESAGUE
	ACUEDUCTO
	POZO DE BARRAJESTO
	EDIFICAMIENTO
	0% AL 2% (PLANTONES)
	POZO ARTESIANO
	BOCA
	BAJOS DE MATERIAL
	ARBOREDA-TORRE
	LACUSTRE
	ALUVIAL
	AGRICOLA DE TEMPORAL
	AGRICOLA DE RIEGO
	PROCESO NÁPICO MEDIA
	PROCESO NÁPICO FINA
	MARCHA URBANA ACTUAL

NOTA: NO SE PUEDEN COPIAR

PLAN DE DE DESARROLLO MUNICIPAL
NIVEL ANTECEDENTES

MEDIO FISICO NATURAL
SINTESIS



III.2-5. CARTOGRAFIA

FALLA DE ORIGEN



Gobierno del
Estado de
Mexico

Tezompango

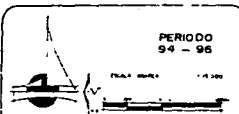
HAYUNTAMIENTO DE
ZUMPANGO
DE OCAMPO

SIMBOLOGIA

- NO
- - - - - TUBEL DE DESAGUE
- CANAL DE DESAGUE
- ACUEDUCTO
- ▭ POZO DE SANEAMIENTO
- ▭ EDIFICAMIENTO
- T-1 0/1 0/2 0/3 (RESERVA)
- POZO ANTERIOR
- ▽ CERRA
- X BANCOS DE MATERIAL
- A-1 A-2 AGENCIA-TOMA
- L-1 LACUSTRE
- AL ALUVIAL
- A-1 AGRICOLA DE TIEMPO
- A-2 AGRICOLA DE HIERBA
- H-2 PEREZO RAPIDO MEDIA
- H-3 PEREZO RAPIDO FINA
- ▭ BANCHA VEGETAL ACTUAL

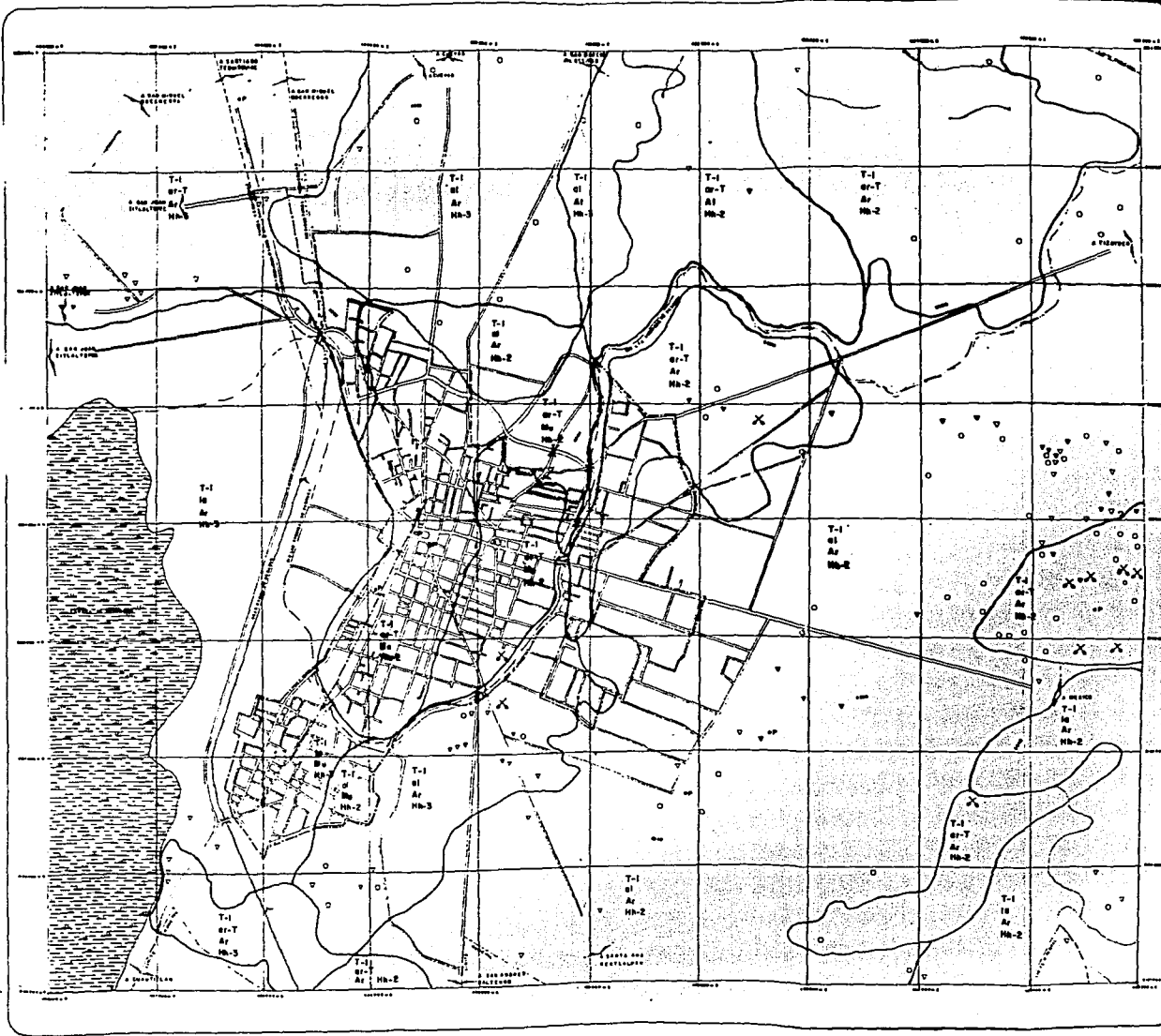
PLAN DE DESEARROLLO MUNICIPAL
NIVEL ANTECEDENTES

MEDIO FISICO NATURAL
SINTESIS



PERIODO
94 - 96

III.2-6. CARTOGRAFIA



FALLA DE ORIGEN