

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO**

**DIVISION DE INGENIERIA**



**Estimación de Evapotranspiración en el Cultivo de Trigo (*Triticum aestivum* L) Bajo Condiciones de Acolchado Orgánico**

**POR:**

**OMAR MORENO AQUINO**

**TESIS.**

**Presentada como Requisito Parcial para**

**Obtener el Título de:**

**INGENIERO AGRONOMO EN IRRIGACION.**

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.**

**Junio de 2001.**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO**

**DIVISIÓN DE INGENIERIA.**

**Estimación de Evapotranspiración en el Cultivo de Trigo (*Triticum  
aestivum* L) Bajo Condiciones de Acolchado Orgánico**

**POR:**

**OMAR MORENO AQUINO**

**TESIS**

**Que somete a consideración del H. Jurado Examinador como requisito  
parcial para obtener el título de: Ingeniero Agrónomo en Irrigación.**

**APROBADA**

**El presidente del jurado**

---

**MC. Lindolfo Rojas Peña  
Asesor Principal**

---

**Dr. Juan P. Munguia López  
Asesor**

---

**MC. Gregorio Briones Sanchez  
Asesor**

**El coordinador de la división de ingeniería.**

---

**Ing. Jesús R. Valenzuela García.**

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Junio de 2001.**

“Todos tomamos distintos caminos en la vida, pero no importa a donde  
vayamos, tomamos un poco de cada quien”

Tim Mcgraw

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A DIOS TODOPODEROSO:**

Por darme el don mas maravilloso; la Vida, de dotarme de todas las facultades mentales para llegar a ser lo que ahora soy, y por darme fuerzas en los momentos difíciles durante mi estancia en la Universidad, por eso y muchas cosas mas GRACIAS DIOS.

### **A MI ALMA MATER:**

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por albergarme durante mi formación profesional, por alojarme en sus aulas y dormitorios nutriéndome de conocimientos que me llevaría al logro de mis aspiraciones.

### **AL DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE:**

Por haberme transmitido los conocimientos necesarios que en el se encuentran y ser parte de el, también a todos la plantilla de maestros que hicieron de mi una persona de bien.

### **AL CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA (C.I.Q.A.):**

Por haberme permitido realizar unos de los trabajos mas importantes para mi persona en el proyecto: "Aplicación de algas marinas y labranza de conservación en cultivos de relevos Maíz-Frijol-Trigo, para lograr mejor aprovechamiento de los recursos Agua-Suelo. Apoyado por SIREYES. Gracias

Al comité de asesoría; quienes hicieron posible la realización de este trabajo y a quienes les voy a estar infinitamente agradecidos:

**Ing. Mc. Lindolfo Rojas Peña.**

**Dr. Juan P. Munguia López.**

**Ing. Mc. Gregorio Briones Sanchez.**

**Al Ing. Felipe Hernández C.** Por su valiosa colaboración en la toma de datos de campo que fueron fundamentales para la realización en el presente trabajo además de la amistad y confianza depositadas en mi.

## **DEDICATORIAS**

A ustedes los quise poner primero y muy especialmente aparte porque eso son ustedes para mi, porque los tengo en un lugar especial de mi corazón y ustedes estan primero antes que todas las cosas, los quiero mucho y los llevare en mi mente a donde quiera valla, son ustedes el vivo ejemplo de esfuerzo, y siempre los tendré como un modelo a seguir, quizás con sus errores y sus atino como todo ser humano, y hoy como un pequeño tributo a sus sacrificios, desvelos, consejos brindados y por guiarme en el camino del bien; pero sobre todo por hacerme valer a mi mismo e inculcarme el valor de luchar por mis aspiraciones:

### **MUY ESPECIALMENTE A MIS PADRES:**

SR. BLAS MORENO SOLIS.

SRA. DOLORES AQUINO MUÑOZ.

Dedico este trabajo conscientemente que sin su ayuda no hubiese posible realizarlo.

### **A MIS HERMANOS:**

Jorge

David

Daniel

Neftalí

Flavio

Lilia

Elizabeth

Edilma

Sary

Esmilseth

A todos, con gran cariño dedico este gran logro y lo comparto con ustedes haciéndolo suyos, esperando no defraudarlos como profesionista.

Agradezco de forma especial a mis hermanos Sary y Daniel que gracias a sus apoyos incondicional y desinteresada alcance el fin perseguido; ser Ingeniero.

### **A TODOS MIS SOBRINOS.**

Omar Moreno Aquino

A TODA MI FAMILIA QUE DE ALGUNA U OTRA FORMA ME APOYARON Y CREYERON EN MI.

### **A LOS COMPAÑEROS DEL DORMITORIO, MODULO 1 , CUARTO 1:**

Por los ánimos que me brindaron cuando quería desfallecer, por los buenos y malos momentos que juntos pasamos, a ustedes: Jose L. Solorio, Hector Tejeda, Obed Escobar, Rene Rodríguez hago partícipes de mi triunfo logrado.

### **A MIS AMIGOS DE SIEMPRE Y TAMBIEN INGENIEROS:**

**Alexsis de lo Santos Cueto, Jorge Elí Muñoz Ramirez, y Wilber O. Pérez Miguel;** a ustedes con quien compartí la mayor parte de mi tiempo durante mi estancia en la Universidad, con quien pude reír a carcajadas sin importarme nada, por ese tiempo que tuvieron para mi cuando los necesité y por valorarme como persona, les dedico este humilde pero muy significativo trabajo.

**Al Ing. Octavio Méndez y esposa e Ing. Misael Muñoz y esposa:** Por echarme esos ánimos al principio de este trabajo y sobre todo cuando muy llegue a esta Universidad, hoy con este trabajo les agradezco las palabras de aliento y dedico este trabajo a ustedes y a sus hijos tambien.

### **A MIS COMPAÑEROS DE LA GENERACIÓN XC DE LA ESPECIALIDAD DE IRRIGACIÓN:**

Lidia Y. Buendia, Justino Gutierrez, Felipe Hernández, Juan Jiménez, Jose I. Maas, Juan R. Martinez, Joaquin Mendoza, Arturo Meza, Joaquin Sánchez, Miguel Santiago, Aristeo Vazques, Jesús P. Zamudio y javier Pacheco

### **A LOS QUE ME BRINDARON SU AMISTAD DESINTERESADA:**

Javier Cañaverall, Juan Morga (pachon), Jose Luis (pollo), Weyler, Octavio (meco), Alexis (muñeco rey), Lazaro (jarritas), Robin Armendariz, chundo, Josahia, Luis Alberto (caballo), Rudiel Muñoz, Heriberto Lara (rondallo), Henry Mazariegos, Alexsi Verdugo y a todas aquellas personas que formaron parte de mi y que por alguna razón no son mencionados; pero sepan que no olvidadas.

## INDICE DE CONTENIDO

	<b>Pag.</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	Iv
<b>DEDICATORIAS</b>	V
<b>ÍNDICE DE CONTENIDO</b>	Vii
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b>	Xi
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	Xii
<b>INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>OBJETIVOS</b>	4
<b>HIPÓTESIS</b>	4
<b>REVISION DE LITERATURA</b>	5
Generalidades del Cultivo	5
Origen Geográfico	5
Clasificación Taxonómica	5
Descripción Botánica de la Planta de Trigo	6
Raíz	6
Tallo	7
Macollamiento	7
Hoja	8
Inflorescencia	8
Fruto	9
Requerimientos de Clima	10
Requerimientos de Suelo	10
Requerimientos Hídricos	11
Importancia de la Humedad del Suelo Sobre los Cultivos	11
Importancia del Agua para el Cultivo de Trigo	12
Acolchado Orgánico o Cubiertas Vegetales	14
Evapotranspiración	17
Evapotranspiración Real	17
Evapotranspiración de Referencia	18

Evapotranspiración Potencial de los Cultivos	18
Evapotranspiración Máxima de los Cultivos	18
Factores que Afectan la Evapotranspiración	19
Métodos para Estimar la Evapotranspiración	19
Métodos Directos	20
Método Gravimétrico	20
Método Lisimétrico	20
Evapotranspirómetro de Thornthwaite	20
Atmómetros	21
Métodos Indirectos	22
Métodos Basados en Dispositivos Evaporimétricos	22
Métodos Basados en Datos Climáticos	23
Métodos de Radiación	23
Métodos Basados en la Temperatura	23
Métodos de Humedad Relativa	23
Método del Dispersor de Neutrones	24
Método de Time Domain Reflectometry (TDR)	27
Evolución de la Tecnología TDR	27
Rango de Aplicación del TDR	28
Descripción	28
Método Combinado de Penman	29
Método de Penman-Monteith	31
Consideraciones Adicionales	33
Descripción de Variables y Métodos de Cálculos	33
Radiación Extraterrestre	33
Radiación Solar	34
Radiación Neta	35
Velocidad Total del Viento	36
Presión de Vapor a Saturación	37
Promedio de la Presión de Vapor a Saturación	37
Déficit de Presión de Vapor a Saturación	38

Algunos Trabajos Reportados Sobre Evapotranspiración	39
<b>MATERIALES Y METODOS</b>	<b>42</b>
Descripción el Sitio Experimental	42
Localización	42
Clima	42
Características del Suelo	43
Características del Agua de Riego	44
Material Vegetativo	44
Diseño Experimental	44
Descripción de los Niveles	45
Establecimiento del Experimento	45
Preparación del Terreno	45
Tamaño de la Parcela Experimental	46
Siembra	46
Fertilización	46
Riegos	46
Control de Malas Hierbas, Plagas y Enfermedades	47
Materiales Utilizados en la Investigación	47
Descripción de la Estación Meteorológica	47
Descripción del Dispensor de Neutrones	49
Especificaciones	49
Calibración	51
Descripción del Time Domain Reflectometry (TDR)	51
Especificaciones Físicas	52
Especificaciones de Funcionamiento	52
Precisión	52
Resolución	52
Metodología en la Toma de Datos	53
<b>RESULTADOS Y DISCUSION</b>	<b>54</b>
Comportamiento de la Humedad en los Factores de Estudio	
Obtenida con el Dispensor de Neutrones	54

Comportamiento de la Humedad en los Factores de Estudio	
Obtenida con el TDR	56
ETreal acumulada Estimada con el Dispensor de Neutrones	58
ETp Diaria Obtenida por el Tanque Evaporímetro Tipo "A" para La Zona de Saltillo	59
ETp Diaria Obtenida por el Método de Penman-Montieth	60
Comparación de los Metodos para Estimar ET	61
ETreal Estimada con el Método de TDR	63
<b>CONCLUSIONES</b>	64
<b>LITERATURA CITADA</b>	65

**INDICE DE CUADROS**

	<b>Pag.</b>
Cuadro 2.1 Coeficientes experimentales para la ecuación $(R_b)$ .....	34
Cuadro 3.1 Características físicas del suelo.....	43
Cuadro 3.2 Características químicas del agua de riego.....	44
Cuadro 4.1 Determinación del consumo de agua en el cultivo de trigo, en condiciones de labrado.....	56
Cuadro 4.2 Determinación del consumo de agua en el cultivo de trigo, en condiciones de acolchado orgánico.....	56
Cuadro 4.3 Determinación del consumo de agua en el cultivo de trigo, con el método del TDR.....	58

## INDICE DE FIGURAS

	<b>Pag.</b>
Figura 2.1 Tanque evapotranspirómetro de thornthwaite.....	21
Figura 3.1 Esquema de los componentes de la estación meteorologica del CIQA.....	48
Figura 3.2 Dispensor de neutrones del CIQA utilizado en la toma de datos de humedad.....	50
Figura 4.1 Comportamiento de la humedad en condiciones de labrado.....	54
Figura 4.2 Comportamiento de la humedad en condiciones de acolchado orgánico.....	55
Figura 4.3 Comportamiento de la humedad obtenida con TDR en el estrato de 0-30 cm.....	57
Figura 4.4 ETreal acumulada estimada con el dispensor de neutrones..	59
Figura 4.5 ETp diaria obtenida por el método de tanque evaporímetro tipo "A" para la zona de Saltillo.....	60
Figura 4.6 ETp diaria obtenida por el método de Penman-Montieth para la zona de Saltillo.....	61
Figura 4.7 Comparación de los métodos para calcular ETp en condiciones de labrado .....	62
Figura 4.8 Comparación de los metodos para calcular ETp en condiciones de acolchado orgánico.....	62
Figura 4.9 ETr acumulada estimada por medio de TDR.....	63

## I. INTRODUCCION

La conservación de los recursos naturales y entre ellos, preponderadamente el agua y el suelo, están estrechamente relacionados con la práctica y procesos productivos, así como por los comportamientos sociales, la percepción y valoración que la sociedad otorga a sus diferentes formas de uso y manejo.

Con algunas variantes y énfasis en el mundo se ha generalizado el reconocimiento de que el agua es un bien económico de carácter publico, igualmente se admite que las prácticas de uso y aprovechamiento tiene impactos sociales y ambientales muy importantes que deben irse valorando en su expresión negativa evitarse para garantizar la sustentabilidad y el desarrollo de las regiones y del mundo a mediano y largo plazo.

La creciente importancia de la producción bajo condiciones de riego unido además a la escasa pluviometría y a la fuerte demanda de agua, hacen necesaria la utilización racional de los recursos hídricos disponibles dado que un conocimiento satisfactorio de las perdidas de agua que se originan en la práctica del riego podrá orientar una forma mas eficiente la utilización del agua.

En México la agricultura es la actividad que consume mas agua, debido a que se aplica con eficiencia muy baja, llegando a representar mas del 85 por ciento del consumo total, lo que va acompañado de un eficiencia global de 30 al 40 por ciento, en general se trata de una utilización excesiva del recurso.

Nuestro país se caracteriza por ser eminentemente agrícola, aun cuando las condiciones ecológicas no son muy favorables para alcanzar un buen

desarrollo, los factores como el suelo y clima limitan considerablemente las actividades agrícolas, si además de lo anterior, debe tomarse en cuenta que los recursos hidráulicos del país son cada vez más escasos y se encuentran bastante mal distribuidos. Por lo tanto en nuestro país en el que el agua tiene un gran valor potencial desde el punto de vista de la producción agrícola, se hace necesario investigar técnicas que nos permitan incrementar productividad de cada centímetro de lamina de agua que se utilice en actividades agrícolas.

En las regiones áridas y semiáridas, el agua constituye el primer factor limitante del desarrollo agrícola y el riego es sin duda la práctica más importante mediante la que satisfacen las necesidades totales de agua de los cultivos, siendo su eficaz utilización exigencia obligada.

El calculo de la evapotranspiración, es el primer paso para establecer las necesidades de riego de los cultivos, y en el se unen dos procesos energéticos, evaporación y transpiración, mediante los cuales se produce transferencia de vapor a la atmósfera.

La evaporación varia dependiendo de factores meteorológicos, y de la naturaleza de la superficie evaporante, que en este caso son el suelo y el agua interceptada por la planta. Mientras que el proceso de transpiración, en su mayoría, esta relacionado con las perdidas a través de los estomas de las hojas, ya que del agua absorbida por las raíces de las plantas, solo el 0.01 por ciento es empleado en el proceso fotosintético.

Bajo este panorama el uso optimo del agua en la agricultura debe enfocarse a un manejo mas integral de tecnologías de riego con el solo propósito de dar respuesta a los criterios mas comunes del riego, como son: ¿Cómo regar?, ¿Cuándo regar?, ¿Cuánta agua aplicar?.

La correcta determinación de la evapotranspiración es uno de los mayores problemas prácticos de la agrometeorología y su resolución contribuirá en gran medida al aumento de la efectividad de la agricultura, tanto de riego como de secano.

Para poder responder en forma adecuada a las interrogantes que se plantea de importante, conocer el fenómeno de evapotranspiración, esta es una de las variables mas importantes que se debe estudiar, dado que los eventos ocurridos en la naturaleza tiene un notable impacto sobre todos los seres vivos, dado por el continuo cambio del tiempo atmosférico y sus efectos en la evapotranspiración.

Basándose en la problemática expuesta los trabajos de investigación deben orientarse al mejoramiento de la eficiencia del riego, a través de la determinación de sus montos y frecuencias referidas a la capacidad de retención de agua del suelo y la tasa de evapotranspiración bajo condiciones locales.

Hoy en día, se reportan en literatura un sinnúmero de modelos empíricos, sin embargo; cualquier método que sea; al ser aplicados bajo diferentes condiciones climáticas y agronómicas pierden sensibilidad debido a que los coeficientes implicados no son constantes y en la mayoría de los casos son válidas únicamente para las condiciones específicas del clima y cultivo en las cuales fueron desarrolladas originalmente, de que se sugiere medir la ET in situ y correlacionar los valores con otros factores climatológicos para desarrollar o calibrar un modelo y reajustar sus coeficientes a las nuevas condiciones.

La confiabilidad de los modelos de ET es mejorada considerablemente al incorporar coeficientes regionales, asimismo; para evaluar la certidumbre y congruencia de un modelo es preciso compararlo con métodos mas sofisticados y en relación con mediciones realizados en campo a fin de determinar el nivel

de ajuste requerido. En atención a todo lo anterior se plantea para el presente trabajo los siguientes:

### **OBJETIVOS.**

Determinar el método mas preciso para estimar la evapotranspiración en el cultivo de trigo bajo condiciones de acolchado orgánico.

### **HIPÓTESIS**

Todos los métodos tienen la misma capacidad de predecir la evapotranspiración con el mismo grado de precisión.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### Generalidades del Cultivo de Trigo

#### Origen Geográfico:

Pohelman (1986) señala la importancia del trigo en el sureste de Asia desde los primeros registros históricos, cultivándose básicamente en Grecia, en Persia, en Egipto y en toda Europa, desde los tiempos prehistóricos.

Robles (1990) indica que el trigo es originario de la región que comprende el Cáucaso, Turquía e Irak, donde los vestigios encontrados en Neolítico de Jarno (Irak Septentrional), son el más antiguo testimonio arqueológico que se tiene hasta ahora del uso del trigo como alimento humano. Existen además indicios que lo sugieren en el círculo de la cultura Natufina existente en Palestina, la cual probablemente tuvo su origen en el noveno milenio A.C. sin embargo, hay buenos motivos por los que la llamada media luna fértil del Asia Occidental, el trigo y otras plantas silvestre empezaron a cultivarse entre los años 600 a 800 A.C. o quizá en tiempos aun más remotos.

#### Clasificación Taxonómica.

Reino	Vegetal
División	<i>Tracheophyta</i>
Subdivisión	<i>Pteropsidae</i>
Clase	<i>Angiospermae</i>
Subclase	<i>Monocotiledonea</i>
Grupo	<i>Glumiflora</i>

Orden	<i>Graminales</i>
Familia	<i>Poaceas</i>
Tribu	<i>Triticeae</i>
Subtribu	<i>Triticineae</i>
Género	<i>Triticum</i>
Especie	<i>aestivum,</i>

### **Descripción Botánica de la Planta de Trigo**

#### **Raíz.**

Al igual que el resto de las poaceae, el sistema radical del trigo, es fibroso o fasciculado, cuando la semilla de trigo germina, emite la plúmula que da origen a la parte aérea de la planta, emitiendo también la radícula conocida como raíz primaria o seminal, seguida por un sistema de raíces secundarias o permanentes que surgen de los nudos inferiores "corona", este ultimo grupo de raíces, son las encargadas de dar sostén a la planta tanto en el aspecto mecánico como en la absorción de agua y nutrientes del suelo hasta que el trigo completa su ciclo vegetativo.

El mayor o menor desarrollo de raíces es una función de muchas variables, como la textura del terreno, la situación de la capa freática, la época de la siembra, la cantidad de lluvia caída en las primeras fases de su desarrollo, la variedad, entre otras. El 50 por ciento de la raíces está comprendido entre 0 y 25 cm de profundidad y el resto puede llegar hasta un metro, además en suelos sueltos hasta 1,50 m ( Robles, 1990; Rojas, 1998; Guzmán, 1997).

**Tallo.**

Los tallos del trigo, al igual que los demás cereales, son visiblemente fraccionados por nudos y entrenudos; los nudos son sólidos y constituyen la conexión vascular de las hojas con el tallo; los entrenudos son huecos, excepto en casos poco comunes en los que se han desarrollado trigos con tallo sólido.

La altura que alcanzan los tallos del trigo, generalmente oscilan entre 60 y 120 cm existen sin embargo trigos enanos (30- 40 cm) que normalmente resultan ser débiles competidores respecto a las malezas y de difícil recolección o cosecha, también, se sabe que trigos de gran altura (120-180 cm) carecen de importancia económica cuando se les cultiva para producción de grano ya que generalmente se acaman, este tipo de materiales, suelen preferirse cuando se siembran para utilizar la planta como forraje. Desde el punto de vista comercial, los trigos semienanos o intermedios con altura de (60-100 cm) son los mas adecuados especialmente cuando se producen bajo condiciones de riego y con aplicación de fertilizantes ( Robles, 1990; Rojas, 1998 y Guzmán,1997).

**Amacollamiento.**

El amacollamiento es una característica de las gramíneas o poaceae, esta consiste en el desarrollo de hijuelos o tallos secundarios, terciarios, etc., a partir de los nudos subterráneos " la corona". El amacollamiento en cereales de grano pequeño es un factor deseable ya que los macollos pueden producir espigas o paniculas y por lo tanto incrementar el rendimiento con una considerable reducción de la densidad de siembra. La producción de macollos varia en función de la variedad, el clima, la fertilidad del suelo y la densidad de plantas por unidad de superficie (Robles, 1990; Rojas, 1998 y Guzmán 1997).

## **Hoja.**

Las hojas surgen alternativamente en los nudos de los tallos; la hoja está compuesta por la vaina, el limbo, la ligula, el cuello y las aurículas. La vaina envuelve parcialmente el tallo por encima del nudo, el limbo es paralelinerve y típicamente plano, estrecho y por la forma de su ápice lanceolado; las aurículas o apéndices parten del cuello (donde se unen la vaina y el limbo); la ligula en trigo es de tamaño intermedio respecto a los otros cereales de invierno.

El conocimiento de la hoja, especialmente de las aurículas, es importante, debido a que a través de esta se puede claramente identificar los diferentes cereales de grano pequeño aun en etapas jóvenes. El trigo tiene aurículas pequeñas, pubescentes (pilosas) y de color verde claro. El número de hojas por tallo es variable, sin embargo, frecuentemente oscila de 4 a 7, la longitud varia de 15 a 30 cm y de 0.5 a 2.0 cm de ancho. Cabe señalar que la longitud y el ancho de las hojas depende de la variedad y fertilidad del suelo; el color, de la variedad y de la proporción de materiales fertilizantes, (Robles, 1990; Rojas, 1998 y Guzmán 1997).

## **Inflorescencia.**

La inflorescencia del trigo, es una espiga formada por espiguillas dispuestas en forma alternada sobre un eje central denominado raquis. Las espiguillas contienen de dos a cinco florecillas que posteriormente da lugar al grano el cual queda insertado entre la lema o cubierta externa del grano y la palea o envoltura mas unida al grano; las florecillas laterales de cada espiguilla tienen además una tercera cubierta llamada gluma

Bajo condiciones de campo, no todas las florecillas son fértiles o productivas, por lo que el número de granos por espiguilla varia de dos a cuatro. El número de espiguillas que forman la espiga varia de 10 a 20 o más de

acuerdo a las variedades y las condiciones ambientales donde se produzca; la separación entre espiguillas es variable entre especies (trigo harinero presenta espiguillas mas distantes entre si que el trigo macarronero) aunque entre variedades aún de la misma especie, el espacio entre espiguillas pueden también variar.

La florecilla del trigo es perfecta debido que tiene ambos órganos reproductores: por su tipo de polinización es autógama y ocurre dentro de la lema y la palea. Cada florecilla de trigo está compuesta por un estigma alrededor del cual se encuentran las anteras (tres) estas a su vez tienen un filamento que se alarga conforme maduran. El estigma se desarrolla hasta que adquiere un aspecto "plumoso" que es justamente cuando se encuentra receptivo, al llegar a esta etapa las anteras se abren soltando polen sobre el estigma, fecundando el óvulo de la misma flor, (Robles, 1990; Rojas, 1998 y Guzmán 1997).

### **Fruto.**

El fruto se desarrolla después de la polinización y alcanza su tamaño normal de los 30 a 45 días, el fruto es un grano o cariósido de forma ovalada con una sutura o pliegue en la parte ventral, en un extremo lleva germen o embrión y en el otro una pubescencia generalmente brocha o mechón. El grano esta cubierto por la cascarilla o pericarpio normalmente es de color rojo o blanco según las variedades, el resto, que constituye la mayor parte lo forma el endospermo ya sea blanco almidonoso o cristalino. Los granos de tipo almidonoso, son los mas utilizados en la extracción de harina para la industria panadera mientras que los de tipo cristalino producen semolina que servirá para la industria macarronera, (Robles, 1990; Rojas, 1998 y Guzmán 1997).

### **Requerimientos de Clima**

El trigo se cultiva principalmente en zonas templadas, sin embargo, las plantas pueden crecer en áreas con altas temperaturas, a condición de que no exista alta humedad relativa. La temperatura óptima para el cultivo de trigo varía entre 15 y 31 ° C. Sin embargo la ideal depende de la etapa de desarrollo y de la variedad.

Las semillas y las plántulas de cereales de invierno soportan bien las temperaturas mínimas, el trigo es el cereal que más resiste, tanto a las temperaturas bajas como a las altas.

Caldwell (1984) menciona que la temperatura máxima para la germinación de la semilla del cultivo de trigo debe estar entre 0°C - 32°C. Sin embargo, si la temperatura de la superficie del suelo rebasa este rango, la semilla no puede tener una buena germinación, (Tandon 1985). Por lo tanto, Sawders (1988, 1990) menciona que las temperaturas altas reduce la humedad relativa y el microclima del cultivo, al incrementar la temperatura provoca una alta cantidad de producción de fotosintatos en la etapa obteniendo un mejor rendimiento (Rawson, 1988).

### **Requerimientos de Suelo.**

El cultivo de trigo se puede desarrollar en suelos ligeros y pesados. Sin embargo para obtener una buena cosecha, es necesario que la condición física del suelo presente las siguientes características:

- Una estructura granular, que permita la aireación y el movimiento del agua en el suelo.
- Un perfil de tierra arable de unos 30 cm, para lograr un enraizamiento adecuado.

- Que no sea susceptible a la formación de costras que dificulten la germinación y la aireación.
- Que contenga suficiente materia orgánica.

La textura del suelo, es también un factor importante, en suelos pesados, es decir, arcillosos, el cultivo de trigo rinde mejor.

Sawders (1990) señala que existe una disminución de la infiltración de agua en los suelos alcalinos, debido a la obstrucción de los poros del suelo, al descentralizar las arcillas y coloides compactos de la materia orgánica lo cual reduce, el rendimiento de trigo. Cuando la humedad de la superficie del suelo es excesiva en estas áreas, el sodio intercambiable mayor de 15 por ciento, es usado para tener mejor drenaje interno y además la adición de la materia orgánica, es útil en diferentes cultivos debido a que tiene diferentes tolerancias para la salinidad, el trigo es considerado tolerante a una salinidad moderada.

Westerman (1987) menciona que la extracción básica de cationes (Ca, Mg, K y Na) en forraje de trigo, grano y paja, aportan la acidez del suelo. No obstante, la descomposición de residuos de trigo en el suelo también resulta con acidificación de suelos.

### **Requerimientos Hídricos**

#### **Importancia de la Humedad del Suelo Sobre los Cultivos**

El agua es la parte esencial del protoplasma vegetal, constituye un elemento importante de la fotosíntesis y un medio indispensable de suministro de elementos nutritivos (Aguilera, 1996)

El agua es fundamental para el desarrollo de las plantas, tanto en el aspecto fisiológico como ecológico, mas que cualquier otro factor, el agua rige

la distribución de la vegetación en la superficie de la tierra, casi todos los procesos vegetales están directa o indirectamente afectados por el consumo de agua. Si el agua es importante, no lo es menos el suelo que para casi todas las plantas agrícolas es el lugar de almacenamiento de la humedad y ámbito de crecimiento de la raíz (Kramer, 1974).

Kramer (1974) afirma que la poca disponibilidad del agua en el suelo afecta el crecimiento antes de que se produzca el marchitamiento permanente sin embargo en la actualidad se acepta generalmente que, al reducirse el contenido de humedad en el suelo, esta se vuelve cada vez menos disponible para las plantas provocando una reducción regular de crecimiento al reducirse el potencial hídrico del suelo.

### **Importancia del Agua para el Cultivo de Trigo.**

Los cereales requieren entre 400 y 1300 mm de agua por año. Una alta humedad del aire y temperatura limitan el cultivo de los cereales ya que estas condiciones propician el desarrollo de enfermedades.

La humedad del suelo es necesaria, debido a que el pericarpio debe absorber agua, con lo cual aumenta de volumen y peso, éste líquido es indispensable para solubilizar las reservas alimenticias del albumen y además, éstas reservas pasan disueltas en agua hacia la plántula.

Para iniciar una buena germinación se necesita un 70 por ciento de humedad aprovechable, pero éste porcentaje de agua debe incrementarse hasta por arriba del 85 por ciento para que el grano se desarrolle adecuadamente, sin embargo, la humedad óptima aprovechable concentrada en el suelo para una buena germinación deber ser de 86 a 90 por ciento.

Mascagni (1992) señala que el agua del suelo en cantidades altas puede favorecer una alta incidencia de enfermedades en el trigo, y provocar bajo rendimiento de grano.

Tisdale y Nelson (1970) mencionan que el exceso de la humedad del suelo en cantidades grandes también afecta en la absorción de nutrientes en el cultivo de trigo, reduce el nivel de Oxígeno, que promueve la desnitrificación del nitrato del suelo, además se detecta que el crecimiento del trigo se suspende cuando el oxígeno del suelo cae en un 10 por ciento del total. Estos pueden resultar en deficiencia de nitrógeno durante la época de crecimiento. La humedad del suelo en condiciones de saturación puede restringir la densidad de la raíz del cultivo de trigo y la profundidad del enraizamiento, (Mascagni y Sable, 1991; Grieve, et al 1986; King y Evans, 1987)

Rex T, Jackson E y Gebert (1987) concluyen que una nutrición adecuada es el factor principal para un uso eficiente y conservación del recurso agua claro está que si tenemos mayor humedad en la zona de raíces ésta afectará la absorción de nutrientes y como consecuencia se tendrá un bajo rendimiento. Pero esto no siempre es así, ya que esta comprobado que existe falta de oxígeno en las fases radicales del cultivo.

Robles (1985) señala que los riegos deben aplicarse antes de que la planta presente síntomas de sequía, como es el enrollamiento de las hojas o quemaduras en las puntas de las mismas. Además, el último riego deberá aplicarse en estado lechoso del grano y no después, debido a que ya no puede ser aprovechable por la planta, sin embargo este puede producir el acame del cultivo.

## **Acolchados Orgánicos o Cubiertas Vegetales**

Robledo (1980) y Martínez R. L (1987) definen que el acolchado es una capa que actúa como una barrera de separación entre el suelo y el medio ambiente, según su naturaleza, los materiales ofrecen ventajas como la opacidad de la luz solar, evita el desarrollo de las malas hierbas, la mayor absorción del calor del sol y en la noche es un medio de defensa contra las bajas temperaturas, que influye de forma considerable en el aumento de los rendimientos y en mayor precocidad en la cosecha de los frutos.

Fernández (1984) y Gómez (1992) indica que el empajado o arropado de suelos, es una mezcla de paja húmeda, hierbas, hojas extendidas en el suelo para proteger las plantas y mantener la humedad además de proteger los brotes por las condiciones climatológicas, que cubren con las pajas para que no haya pérdidas de agua por las altas temperaturas durante los primeros días de la primavera y para que el terreno no pierda humedad por influencias del sol y del viento.

Larney y Fortune (1986) mencionan que la función más importante de los residuos de la cosecha es aumentar el contenido de la materia orgánica, proporcionando al mismo tiempo, la estabilidad estructural de los agregados, otra ventaja de la cobertura de los residuos de cosechas, es reducir las fluctuaciones diurnas de la temperatura del suelo, es decir, disminuye en las primeras etapas del desarrollo del cultivo, ya que el rastrojo actúa como regulador al abatir la temperatura máxima del día y conservándolo arriba de la mínima durante la noche.

Moya (1998) señala que los escurrimientos se reducen a grandes cantidades dado por el incremento de la cubierta vegetal de los residuos y es efectiva para prevenir el costramiento de la superficie del suelo.

Papendick et al., (1987) Unger et al., (1991) y Tian et al., (1993) señalan que el uso de los residuos vegetales es importante en el mantenimiento de la condición física de suelos ya que favorece el control de la erosión al disipar la energía de las gotas de lluvia, minimiza la disgregación de las partículas y mantiene favorable la infiltración del agua, además de reducir el riesgo de la erosión, mejora la retención del agua en el suelo. Entre otros efectos favorables el uso de los residuos mejora la condición nutrimental del suelo a corto plazo.

Tomando en cuenta que la erosión es un problema fuerte, es importante tomar medidas adecuadas para su control, por lo tanto la labranza de conservación es una alternativa, donde se involucra el control de erosión dentro de un manejo integral del suelo, éste control se da por dos factores: a) presencia de cubierta vegetal, b) la no-pulverización de los agregados disminuyendo la facilidad de pérdida de suelo por viento y agua.

Las cubiertas vegetales sobre la superficie son un factor importante en la reducción del impacto del agua de lluvia en la superficie y posterior erosión del suelo, sin embargo, el efecto de las coberturas residuales esta dado por: a) tipo de residuos, b) proporción, c) distribución.

Benedicto V. G. S (1995) evaluó el efecto de la incorporación de residuos vegetales sobre la humedad del suelo. Para lo cual utilizó rastrojo de maíz y paja de trigo que se aplicaron como cobertura e incorporados (2 cm de espesor para el primer caso, 31.85 g para maíz y 40.30 g para trigo en el segundo caso) considerando 8 kg de suelo en base a peso seco de un suelo arcilloso. Los tratamientos se evaluaron utilizando macetas, bajo un diseño experimental totalmente al azar con tres repeticiones, en condiciones ambientales. El registro de la humedad se realizo diariamente durante 76 días. Concluido el trabajo reporta que el contenido de humedad y del volumen infiltrado no tuvo correspondencia durante el ciclo para los tratamientos cobertura -

incorporación, y en términos generales la respuesta del tratamiento testigo fue relativamente mejor que la de los tratamientos estudiados.

Ruben G. S. (1995) señala que la Influencia de la labranza mínima y convencional sobre las propiedades físicas y químicas de un Regosol de Puebla, Evaluando 10 parcelas comerciales con laboreo mínimo, donde se tomaron muestras de suelo de manera sistemática de 0 a 20 cm de profundidad. El muestreo se realizó después del laboreo y antes de la siembra de maíz, siendo analizadas en laboratorio para cuantificar sus propiedades físicas. Como método de análisis estadístico empleo la regresión, concluyendo con los datos encontrados que: 1) la labranza mínima favoreció el proceso de macroagregación, 2) El rango de disponibilidad de agua y la capacidad de retención de humedad del suelo disminuyó al aumentar con el laboreo mínimo, sin embargo se le atribuye a la ineficiencia de la práctica de incorporación parcial de rastrojo y su picado en cortes muy grandes, y 3) con la labranza mínima y la incorporación del rastrojo de maíz al suelo, se incrementó el contenido de fósforo aprovechable pero se acidificó moderadamente el suelo.

Cervantes M. J (1995) reporta que en las regiones de los ríos de Sonora y Moctezuma, en el estado de Sonora; donde evaluó dos sistemas de labranza: 1) labranza mínima que consistió en dos rastreos con una rotación de cultivos Frijol -Maíz-Cebada (FMC); y con rotación de Trigo – Frijol (TF), no se dieron labores mecánicas de preparación, y 2) labranza tradicional. Concluye que el uso de la labranza mínima implica un adecuado manejo de los factores agua, malezas y plagas para ambas regiones.

Cristobal A. D. (1995) evaluó el efecto de la labranza de conservación sobre algunas propiedades físicas de un suelo. Realizado en un suelo Franco arcilloso en el estado de Hidalgo en dos parcelas contiguas aproximadamente de 2.25 ha cada una. A una se le aplicó la labranza de conservación consistente en un paso de rastras con incorporación de residuos (rastrojo) y siembra con

sembradora convencional por 2 ciclos consecutivos, y un tercer ciclo en el cual no se incorporo sino se dejo como cubierta vegetal. La parcela restante fue tratada con el método de la labranza tradicional. Después de realizar los análisis estadísticos concluye que: la labranza conservacionista tuvo efectos benéficos sobre el suelo por una mayor estabilidad de agregados y un mayor contenido de materia orgánica. En cuanto al rango de humedad aprovechable el efecto benéfico de la labranza conservacionista es nulo.

Pacheco D. J. (2001) señala que la aplicación de derivados de algas marinas y acolchado orgánico en el cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L), realizado en el campo experimental del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), encontró que la aplicación del acolchado orgánico evita la pérdida de agua por evaporación, manteniendo la humedad más estable logrando ahorros de hasta un 21 por ciento de agua, además que se obtuvo mayor desarrollo de la planta y aumento en la producción. Cabe mencionar que en los resultados obtenidos también influyo la aplicación de derivados de algas marinas.

### **Evapotranspiración**

La evapotranspiración es la pérdida de agua en forma de vapor de una superficie vegetal, debido a la evaporación del suelo y la transpiración de las hojas, en un estado dado por unidad de superficie y tiempo, varía en función de la demanda del clima, de la humedad del suelo, de la especie y desarrollo del cultivo. Para poder estimar la evapotranspiración, es necesario considerar los siguientes términos:

#### **Evapotranspiración Real.**

La Evapotranspiración Real (ETr) o actual es la evapotranspiración de un cultivo que tiene restricciones de humedad en el suelo; esta en función del

clima, desarrollo del cultivo y la restricción de la humedad del suelo (Gavande, 1982 y Torres, 1986).

### **Evapotranspiración de Referencia.**

La evapotranspiración de referencia ( $ET_o$ ), es un concepto establecido para indicar la cantidad de agua que se transfiere a la atmósfera de un suelo permanentemente húmedo, cubierto por un cultivo de referencia. Se ha utilizado como cultivo de referencia la alfalfa o un pasto bien regado, en pleno desarrollo y en buenas condiciones fitosanitarias. La  $ET_o$  depende exclusivamente de las condiciones del medio ambiente: temperaturas máximas y mínimas, radiación solar, humedad relativa, velocidad del viento, etc.

### **Evapotranspiración Potencial de los Cultivos.**

La Evapotranspiración potencial ( $ET_p$ ), se define como la evapotranspiración de un cultivo en función de su grado de desarrollo vegetativo y bajo condiciones de disponibilidad suficiente de agua

En términos simples significa las necesidades hídricas potenciales de un cultivo y ésta depende, además de los factores ambientales, de las características genéticas del cultivo (follaje, raíces, estructura estomática, etcétera.)

### **Evapotranspiración Máxima de los Cultivos.**

La Evapotranspiración Máxima ( $ET_m$ ) es la pérdida de agua de un cultivo sano, sin restricciones de humedad en el suelo y varía según la demanda del clima y el desarrollo del cultivo.

## **Factores que Afectan La Evapotranspiración.**

En general la evapotranspiración depende de factores hídricos, edáficos, vegetales y climáticos. A continuación se citan los más importantes dentro de cada uno de los cuatro grupos mencionados: (Aguilera, 1996)

**Hídricos.** Calidad, disponibilidad del agua, método de riego, eficiencia en el riego y drenaje.

**Edáficos.** Propiedades físicas y químicas del suelo como textura, estructura, materia orgánica, salinidad, profundidad, fertilidad, estratificación y otros.

**Vegetales.** Variedad, especie, ciclo vegetativo, edad, características morfológicas de los estomas.

**Climáticos.** Temperatura, humedad relativa, precipitación, viento y radiación solar.

## **Métodos para Estimar la Evapotranspiración**

Los procedimientos para estimar la evapotranspiración, pueden clasificarse en Métodos Directos y Métodos Indirectos.

Los primeros proporcionan directamente el consumo total de agua requerida por el cultivo para conocerla se utilizan aparatos e instrumentos para la medición.

## **Métodos Directos.**

Estos métodos son aplicables para zonas donde se tiene una agricultura establecida, proporcionan valores muy apegados a la realidad y sirven a la vez para ajustar los parámetros de los métodos empíricos. Algunos de ellos son: Gravimétrico, Lisimétrico, Evapotranspirómetro de Thornthwaite, Atmómetros.

**Método Gravimétrico.** Este método se basa en la obtención del contenido de humedad a muestras de suelo tomadas a una profundidad semejante a la que tienen las raíces. Dichas muestras se obtienen a través del ciclo vegetativo; la cantidad de agua consumida por la planta en un tiempo determinado se estima calculando las laminas de riego consumidas, a partir de los datos obtenidos de humedad del suelo.

**Método Lisimétrico.** Este consiste en estimar la evapotranspiración potencial por procedimientos de medición de pérdida de agua realizadas en recipientes que se llenan de suelo y se siembran con el cultivo en cuestión. Trava, define el Lisímetro como una estructura que contiene una masa de suelo y esta diseñado de tal forma que permita la medida de agua que drena a través del perfil del suelo. Este método proporciona el único medio de medir la ET y es a menudo usado para estudiar los efectos climatológicos y para evaluar los diferentes métodos que hacen estimaciones de ET.

**Evapotranspirómetro de Thornthwaite.** Este equipo determina en forma directa la evapotranspiración potencial de los cultivos. Fue ideado por Thornthwaite y consta de las siguientes partes: (ver figura 1.1)

1. Tanque de Cultivo.
2. Tanque Alimentador.
3. Tanque Regulador.
4. Tubería.

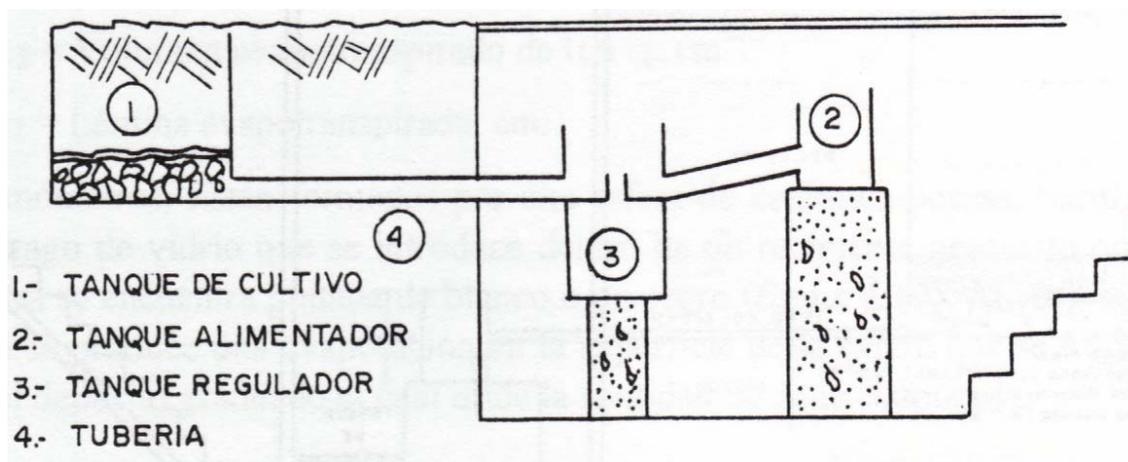


Figura 2.1 Tanque Evapotranspirómetro de Thornthwaite

El principio de funcionamiento se basa en un sistema de flotador ubicado en el tanque regulador, este proporciona la demanda de agua provocada por la acción evapotranspirativa del cultivo; la demanda de agua se mide en dicho tanque y se proporciona mediante un sistema de subirrigación.

**Atmómetros.** Estos equipos están formados por una esfera cerámica porosa, barnizada y que tiene un vástago de vidrio que se introduce dentro de un recipiente graduado que contiene agua, la esfera se encuentra pintada de blanco o negro. Al recibir energía de la atmósfera se produce una evaporación en la superficie de la esfera que se traduce en una succión en el depósito graduado el cual mide la cantidad de agua evaporada.

Se ha visto que existe mayor correlación entre la evapotranspiración y las lecturas de los Atmómetros, si se utilizan dos, uno negro y otro blanco.

Los métodos indirectos realizan una estimación de agua a través de todo el ciclo vegetativo, mediante la utilización de fórmulas empíricas.

Cabe aclarar que la mayoría de las fórmulas empíricas que se utilizan para estimar evapotranspiración en los cultivos y se basan en datos meteorológicos, estos determinan una primera estimación de la evapotranspiración potencial y

luego en ajuste mediante ciertos coeficientes previamente obtenidos en la zona, para cada cultivo y otras condiciones variantes que afectan a la evapotranspiración.

### **Métodos Indirectos.**

Varios investigadores han tratado de relacionar los diferentes datos climatológicos con la Evapotranspiración obteniendo formulas que permiten estimarla con diferentes aproximaciones, algunas son validas únicamente para las condiciones particulares en que fueron elaboradas. Díaz (1977), hace una clasificación de estos métodos de acuerdo con los factores que consideran como sigue:

**Métodos Basados en Dispositivos Evaporimétricos.** Diversos autores han pretendido correlacionar la Evapotranspiración con la Evaporación en función de las lecturas de evaporómetros. Estos son instrumentos de muy diversa forma, tamaño y modo de operar, miden la lamina de agua evaporada. Esta puede ser convertida en valores de Evapotranspiración mediante un factor de corrección.

Chaves (1973) menciona que trabajos realizados en Arizona, muestran variación en los coeficientes de la formula que se usa para la estimación de la Evapotranspiración potencial medida, como una función de la evaporación determinada en tanque, la formula se presenta a continuación.

$$ET_p = C \cdot E_v$$

Donde:

ET<sub>p</sub>: Evapotranspiración potencial (mm/día).

E<sub>v</sub>: Evaporación medida en el tanque (mm/día).

C: Coeficiente de ajuste (adimensional).

El coeficiente C depende del tamaño, la forma, el color, y el estado de conservación del tanque; así como de la turbiedad y profundidad del agua.

**Métodos Basados en Datos Climáticos.** Para la estimación de Etp o ET se utilizan datos históricos, meteorológicos y de cultivo o bien, para predecir los valores en el futuro. Las predicciones se basan 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, además de la confiabilidad de los datos climatológicos y de cultivo. Estos se agrupan en:

**Métodos de Radiación.** Estos métodos basados en la teoría del cuerpo negro se sugieren para aquellas regiones donde se dispone de datos de temperatura y de porcentajes horas luz, nubosidad o radiación; pero no se tienen datos de humedad relativa. Dentro de estos grupos puede citarse los de Penman (1948) el cual considera la radiación neta y otros factores, el de Turc (1953) de Makkin (1957), que toman en cuenta los valores de radiación y temperatura; el método de Jensen Haise (1963) considera solo la radiación solar, la fórmula propuesta por Grassi-Christiansen (1964) considera la radiación solar además toma en cuenta la temperatura.

**Métodos Basados en la Temperatura.** Dentro de este grupo de métodos se puede citar: El de Hedke (1928) que utiliza la temperatura del aire. El de Lowry y Jonson (1942) que toman como base el calor efectivo. El método de Thornthwaite que utiliza la temperatura; el de Blaney y Criddle que desarrollan su método en base a temperatura y porcentaje de horas luz.

**Métodos de Humedad Relativa.** En este grupo se puede citar el de Blaney y Morin (1942) y el método desarrollado por Hergreaves (1956) por solo mencionar algunos.

## **Método del Dispersor de Neutrones**

Sir James Chadwick (1932) llevo a cabo un descubrimiento con el cual más tarde se demostró que la colisión de neutrones con átomos produce dispersión en los primeros, así los neutrones lanzados desde un foco de emisión regresarán al mismo lugar luego de chocar con átomos en el medio que los rodea; la cantidad de energía cinética perdida por los neutrones es mayor cuando chocan con átomos de bajo peso molecular; Gavande (1973). Sin embargo son dramáticamente debilitados si chocan con átomos de hidrógeno. En la mayoría de los suelos la única fuente de hidrógeno sería el agua, por lo tanto el único retraso en los neutrones rápidos sería debido al agua. Parte de los neutrones rebotados chocan contra un sensor colocado en la misma sonda, son detectados y generan una señal que es ampliada como impulso eléctrico y enviada a un contador en donde se registra el número de “golpes” como cuentas por minuto (cpm), que es directamente proporcional al contenido de humedad del suelo; Aguilera (1996).

El dispersor de neutrones ha sido una herramienta muy valiosa para las investigaciones del agua en el suelo ya que fue el primero exitosamente usado para medir el contenido de humedad del suelo en los años 50's (Gardner y Kirkham, 1952).

Stone et al (1955) fueron los primeros en desarrollar un equipo portátil para medir la humedad del suelo basado en la interacción neutrónica, con átomos de hidrógeno del agua contenida en el suelo. Las mediciones a través del tiempo han mejorado notablemente en portabilidad, programabilidad, peso y tamaño.

El aspersor de neutrones esta formado por tres partes principales, estos son:

1. Un aparato de registro y control de operación, donde se selecciona el tiempo de registro o conteo, en el se registran las cpm y se vigila la carga eléctrica de operación del aparato.
2. Una sonda unida por un cable al aparato de registro, ésta tiene tres partes:
  - Una fuente de neutrones rápidos, generalmente mezclas de materiales radioactivos.
  - Un sensor o detector de los impactos de los neutrones.
  - Un amplificador de señal.
3. Tubos de acceso al suelo, estos son preferentemente de aluminio, y son colocados en el suelo mas o menos permanente, para que permita la entrada vertical de la sonda, hasta la profundidad deseada para la obtención de datos. Es importante no dejar espacios libres entre las paredes exteriores del tubo y el suelo ya que se pierde efectividad en la medición.

Para determinar el contenido de humedad del suelo, en un punto y a cierta profundidad, se coloca la sonda a través del tubo de acceso en el sitio deseado y se obtiene el valor de la lectura en cpm. Este valor se divide entre el de la cpm estándar. El promedio o cpm estándar se utiliza para ajustar todas las lecturas obtenidas en el suelo, y su cociente se obtiene por medio de la expresión.

$$R = \frac{cpm}{cpm \text{ estándar}}$$

Las mediciones del contenido de humedad con en este método son puramente empíricas y depende de que se encuentre una buena curva de

calibración, para que relacione la velocidad de conteo de neutrones lentos con la proporción de agua. Van Bavel et al (1961).

En cada suelo, el aparato debe tener una curva de calibración, la cual puede ser de la forma de la ecuación de una recta; por ejemplo:

$$\theta = 0.421 R - 0.106$$

Donde:

$\Theta$  = Contenido de Humedad (Pw)

R = Relación de conteo (cpm)

Las principales ventajas del método del aspersor de neutrones son:

- a) Se obtiene rápidamente el valor de  $\theta$
- b) Se requiere poco trabajo.
- c) Se obtiene el valor de  $\theta$  en todo el perfil de suelo y se pueden verificar rápida y fácilmente los valores dudosos.
- d) La muestra utilizada en la determinación es relativamente grande (esfera de 15 cm de radio).
- e) Se cubre un amplio rango de humedad del suelo.
- f) Las lecturas en diferentes tiempos en un punto dado siempre se referirán a una misma muestra.
- g) No se necesita realizar hoyos en cada muestreo y un aparato puede cubrir unas 5,000 ha.

Las principales desventajas del método son:

- a) La materia orgánica y el Boro afectan las lecturas.
- b) No se deben usar tubos de acceso fabricados con material plástico.
- c) Se requiere una perfecta instalación de los tubos de acceso.

- d) Es necesario tomar muy cuidadosamente las lecturas estándar del aparato, ya que los malos estándares producen errores sistemáticos.
- e) Las lecturas cerca de la superficie del suelo no son correctas.
- f) El costo del aparato es muy elevado.
- g) La aplicación de este método en cultivos de tubérculos, raíces carnosas u otros órganos vegetales subterráneos puede ser poco precisa, debido a la cantidad de agua que se almacenan en ellos.
- h) Se requiere una curva de calibración para cada aparato y suelo y debe revisarse cada 2 ó 3 años.
- i) Se requiere personal calificado en el uso de éste aparato.

### **Método del Time Domain reflectometry (TDR)**

#### **Evolución de la Tecnología TDR**

En 1939, los geólogos y otros reconocieron una relación entre las propiedades dieléctricas del suelo, roca y otros materiales, y su contenido de humedad. Sin embargo, les faltó la instrumentación necesaria para hacer un uso total de él. El Time Domain Reflectometry, normalmente conocido como TDR, se desarrolló en gran parte como resultado de la investigación del radar durante la Segunda Guerra Mundial, que ofreció un método para definir estas relaciones dieléctricas.

Esta fue desarrollada durante los años 50 para localizar e identificar defectos de cable en el suministro de energía y las industrias de las telecomunicaciones que siguen siendo los mayores usuarios de ésta tecnología. Hoy, la tecnología TDR es la “punta de lanza” de aplicaciones diversas incluso en la metodología para la determinación de agua en el suelo, relaciones material/agua.

## **Rango de Aplicación del TDR**

En general, el TDR describe un amplio rango de sensores de medición eléctrica remota para determinar la localización y la naturaleza de varios reflectores.

Esencialmente el TDR es un radar colocado a lo largo de un cable coaxial que permite la vigilancia de grandes volúmenes con un solo instrumento. La capacidad de interpretar reflexiones de TDR en cualquier lugar a lo largo del cable permite que la actividad sea vigilada en volúmenes grandes o áreas y de ésta manera el monitoreo con TDR puede reemplazar muchos instrumentos de medición puntuales.

Hasta la fecha, la aplicación dominante del TDR en geomateriales ha sido la medición de humedad (o contenido de agua) de suelos no saturados. Esta aplicación ocurre con una sonda en el extremo del cable o de la línea de transmisión de dos hilos. De ésta manera, se define la localización de la sonda y el tiempo de colocación. Las medidas de la humedad (contenido de agua) se hacen en el suelo para la investigación y el control de la irrigación, las cubiertas del suelo para los terraplenes, los cimientos de los pavimentos de la carretera, pilas de almacenamiento de minerales, y otros materiales granulares donde es importante el contenido de agua.

## **Descripción**

El reflectómetro de contenido de humedad consiste en dos varillas de acero inoxidable conectados a una tarjeta de circuito impreso. Un cable protege cuatro hilos conductores que están conectados a la tarjeta de circuito y un suministro de energía, que activa la sonda, para monitorear el pulso de salida. La tarjeta de circuito esta encapsulada en un material epoxyco.

La alta velocidad de los componentes electrónicos situados en la tarjeta de circuito son configurados como un multivibrador. La salida del multivibrador es conectado a las varillas de la sonda las cuales actúan como una guía para las ondas. La frecuencia de oscilación del multivibrador es dependiente de la constante dieléctrica del medio que esta siendo medido. La constante dieléctrica es predominantemente dependiente del contenido de agua.

### **Método Combinado de Penman.**

H. Penman en la localidad de Rothamsted, efectuó una serie de experimentos, en él desarrollo y analizo el método mas técnico, mostrando que la evapotranspiración esta muy relacionada con la energía solar recibida. Para ello, tomó en cuenta la de latitud, día del año y la radiación solar total incidente en el límite superior de la atmósfera sobre la superficie horizontal.

La ecuación original de Penman (1948) estima las perdidas de agua por evaporación en una superficie libre de agua ( $E_o$ ) y se sugieren unos coeficientes de cultivos determinados experimentalmente, que van de 0.6 en los meses de invierno a 0.8 en los de verano, para relacionar la  $E_o$  con la evapotranspiración de los cultivos en el clima ingles. La ecuación de Penman tiene dos términos, estos son: el de la energía (radiación), y el aerodinámico (viento y humedad), su importancia relativa varia en función de las condiciones climáticas. En condiciones meteorológicas de calma, el termino aerodinámico suele ser mucho mas pequeño que el energético. Bajo estas condiciones, se ha demostrado que la ecuación de Penman, utilizando un coeficiente de cultivo de 0.8, predice con gran aproximación la ET (gramíneas) no solamente en regiones húmedas y frías sino también en las muy calientes y semiáridas. En condiciones ventosas, y especialmente en las regiones más áridas, el termino aerodinámico pasa a ser relativamente mas importante y, por consiguiente, pueden producirse graves errores al predecir la ET utilizando 0.8  $E_o$ .

El principal inconveniente de este método, consiste en utilizar diversas variables climáticas como la temperatura, la humedad, el viento y la radiación solar, que en la mayoría de las estaciones climatológicas no se registran.

El desarrollo de la fórmula de Penman para el cálculo de la evapotranspiración potencial se indica por:

$$ETp = 0.0171 \left[ \frac{\Delta}{\Delta\gamma} (Rn + G) + 15.36 \frac{\gamma}{\Delta\gamma} (a + bU_2)(e^0_z) \right]$$

Donde:

ETp = Evapotranspiración Potencial en mm/día.

$\Delta$  = Es la pendiente de la curva de la presión de saturación de vapor a una temperatura específica, [d(mb) / d(°C)]

$\gamma$  = Es la constante psicrométrica en mb/°C

Rn = Es la energía de la radiación neta en Cal/cm<sup>2</sup> /día

G = Es el flujo de calor en el suelo en Cal/cm<sup>2</sup> /día

U<sub>2</sub> = Es la velocidad del viento a una altura de 2 m en Km/día

a y b = Son coeficientes de regresión que requieren calibración local

e<sup>0</sup><sub>z</sub> = Es el promedio de la presión de vapor a saturación en mb.

E<sub>z</sub> = Es la presión de vapor a temperatura promedio tomadas a punto de rocío en mb.

El riego representa las condiciones del agua en el suelo y la ET es el proceso de extracción del agua en el suelo más significativo. La ET es comúnmente pronosticada por algunas de las ecuaciones basadas en datos meteorológicos; una de las más utilizadas es la ecuación de Penman, la cual considera la energía y los factores aerodinámicos que

afectan la ET, esta ecuación requiere ser calibrada en cada región para garantizar las predicciones en un área específica.

Kizer et al , (1990) realizaron la calibración de un modelo para estimar la ET por horas en el cultivo de alfalfa utilizando la ecuación de Penman. El modelo permite medir cada hora la radiación neta en ese periodo, el flujo de calor sensible, el flujo de calor en el suelo y el flujo de evaporación fue determinado como residuo de la ecuación del balance de energía de la superficie.

### **Método de Penman-Monteith.**

La única manera de medir la ET es por medio de lisímetros, estos son sumamente escasos y costosos, por tal razón se ha optado por estimarla mediante métodos más accesibles.

Por otro lado dado el gran desarrollo de la electrónica en los últimos años ha permitido el uso de sensores capaces de tomar los datos necesarios con rapidez y exactitud.

Estos métodos han evolucionado con el desarrollo de la tecnología y al avance del conocimiento científico, sobre las necesidades hídricas de los cultivos, en una reciente reunión de expertos (FAO, 1990) se determinó recomendar universalmente el método de Penman-Monteith para estimación de ET.

En un considerable número de estudios se ha demostrado que el procedimiento de Penman-Monteith es mucho más consistente y preciso que otros. Esta ecuación incluye la mayor parte de los factores que influyen en la pérdida de agua de la superficie de los cultivos a diferencia de otros

procedimientos, por lo tanto, las estimaciones obtenidas se esperan mas precisas.

En el pasado no se habia utilizado en aplicaciones prácticas dada la complejidad de los calculos y la necesidad de definir valores normalizados para el cultivo de referencia. El pasto, como cultivo de referencia, se ha utilizado para estimaciones diarias, sin embargo, algunos otros métodos derivados de ecuaciones empiricas dan resultados diarios similares e inclusive mejores ; pero con las capacidades de los microprocesadores, la mayor parte de las limitaciones han sido superadas y gran parte de las variables físicas se pueden medir o estimar de manera operacional.

$$ET_o = \frac{\Delta(Rn - G)}{\lambda(\Delta + \gamma^*)} + \frac{\gamma^* Mw(e_s - e_d)}{R K r_v(\Delta + \gamma^*)}$$

Donde:

ET<sub>o</sub> = Evapotranspiración de referencia, (kg. m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> o mm s<sup>-1</sup>)

Rn = Radiación neta (kw m<sup>-2</sup>)

G = Flujo térmico del suelo (kw m<sup>-2</sup>)

Mw = Masa molecular del agua (0.018 kg. Mol<sup>-1</sup>)

R = Constante universal de los gases (8.3 \* 10<sup>-3</sup> KJ k<sup>-1</sup>)

K = Temperatura, Kelvin (273 °K)

e<sub>s</sub>-e<sub>d</sub> = Déficit de presión de vapor del aire (KPa)

λ = Calor latente de vaporización del agua (2450 KJ kg.<sup>-1</sup>)

r<sub>v</sub> = Resistencia al flujo de vapor de la cubierta vegetal (s m<sup>-1</sup>)

Δ = Pendiente de la función de presión de vapor a saturación (Pa °C<sup>-1</sup>)

γ<sup>\*</sup> = Constante psicrométrica aparente, (Pa °C<sup>-1</sup>)

### **Consideraciones Adicionales.**

Debido a la interdependencia de las variables que componen la ecuación, es muy importante utilizar correctamente las unidades en las que se vayan a expresarse estas variables. Asimismo, es preciso resaltar que, los resultados obtenidos con este modelo se han comparado con la Evapotranspiración potencial medida en lisímetro, encontrando una alta correlación. Una de las desventajas de su aplicación es la falta de registros de algunos factores que en ella intervienen y que comúnmente solo se encuentran en estaciones de primera categoría, según González y Coras (1996). Por otro lado, es importante considerar que para la aplicación de este método debe disponerse de datos climatológicos como: Radiación solar ( $R_s$ ), Temperatura ( $T$ ), Velocidad del viento ( $U_2$ ) y la Humedad relativa (HR) o la temperatura apunto de rocío.

### **Descripción de Variables y Métodos de Cálculos.**

Para comprender este modelo es necesario realizar una breve descripción sobre las variables y las unidades que se utilizan en la ecuación de Penman, así mismo se muestra el calculo de las variables cuando no se dispone de mediciones directas.

### **Radiación extraterrestre ( $R_a$ ).**

Los valores promedios de la  $R_a$  para cada mes del año y a diferente latitud han sido reportados en (FAO – 24).

“ $a_1$ ” y “ $b_1$ ” son coeficientes experimentales que dependen de la región climatologica y puede consultarse en la tabla reportada por Jensen (1974) ; Doorembos y Pruitt (1977) ; Wrigth (1989) ; Jensen et al (1990).

**Tabla 2.1 .** Coeficientes experimentales para la ecuación (rb)

<b>Region</b>	<b>(a<sub>1</sub>)</b>	<b>(b<sub>1</sub>)</b>
Davis, california	1.35	-0.35
Sur de Idaho	1.22	-0.18
Sugerida para regiones aridas	1.2	-0.2
Sugerida para regiones humedas	1.0	0
Sugerida para regiones semi-humedas	1.1	-0.1

### Radiación Solar (Rs)

La Radiación Solar puede ser estimada al aplicar cualquiera de las siguientes relaciones :

$$R_s = (0.35 + 0.61 S) R_{so}$$

$$R_s = (0.23 + 0.48) R_a$$

En donde :

$R_s$  = Radiación solar en  $\text{cal cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  para las dos ecuaciones.

$R_{so}$  = Radiación solar en  $\text{cal cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  a cielo despejado (sin nubes)

$S$  = Fracción de luz de sol existente a a posible luz solar (1 – nubosidad)

$R_a$  = Radiación extraterrestre en  $\text{Cal/ cm}^{-2} / \text{dia}^{-1}$

La  $R_b$  puede ser calculada aplicando la ecuación :

$$R_b = \left( a \frac{R_s}{R_{so}} + b \right) R_{bo}$$

Donde :

$R_{bo}$  = Radiación termica de onda larga en un dia despejado sin nubes en  $\text{Cal/cm}^{-2} / \text{dia}^{-1}$ .

**Rbo** a su vez debera estimarse con la siguiente ecuación :

$$Rbo = \varepsilon^1 \sigma T_k^4$$

Donde :

$\sigma$  = Constante de Stefan Boltzmann

$$\sigma = 11.71 \text{E}^{-8} \text{ Cal cm}^2 \text{ dia K}^{-4}$$

$T_k$  = Es la temperatura en K

$\varepsilon^1$  = Es la emisividad neta cuando se usan solamente altas temperaturas de pantalla, se determina por :

$$\varepsilon^1 = -0.02 + 0.261 * \exp [-7.77 \text{E}^{-4} (273.16 - T_k)^2]$$

### **Radiación neta (Rn)**

La radiación neta Rn es la diferencia entre toda la radiación entrante y saliente, suele ser medida directamente mediante el uso de un radiómetro neto hemisferico, pero rara vez se dispone de estos equipos por lo que la estimación de Rn se hace indispensable para aquellas estaciones que no cuenten con esta instrumentación, los datos de entrada para el calculo de Rn son : la radiación solar (Rs), las horas de insolación (P) (o el grado de nubosidad), la temperatura (T) y la humedad (HR) Jensen et al (1973) presenta la siguiente ecuación para determinar la Rn :

$$Rn = (1 - \alpha)Rs - Rb$$

Donde :

$(1 - \alpha) Rs$  = Es la radiación neta de onda corta recibida por el campo de cultivo expresado en  $\text{Cal cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$

$\alpha$  = Es el indice de refleccion de la radiación de onda corta (albedo) que cae en el siguiente rango  $(0.20 \leq \alpha \leq 0.25)$

$R_b$  = Es la radiación neta que retorna a la radiación de onda larga que se refleja desde la superficie de la tierra  $\text{Cal. cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$

El albedo se asume como una función de la radiación de onda corta incidente, la radiación de onda corta a cielo descubierto, el mes y el día del mes (Cuenca, 1989 y Allen, 1986) muestran la siguiente expresión para calcular el índice de reflexión ( $\alpha$ ) como :

$$\alpha = 0.29 + 0.06 \text{ Sen } [30 * (M + 0.0333 * N_m + 2.25)]$$

Donde :

$M$  = Mes (1 – 12).

$N_m$  = Día del mes.

La función del seno esta dado en grados, asimismo la ecuación antes escrita es aplicable solo si la radiación de onda corta entrante no excede del total del 70 por ciento de la radiación de onda corta a cielo descubierto.

### **Velocidad Total del Viento, ( $U_2$ )**

El empleo de esta variable en la ecuación de Penman debe expresarse en  $\text{Km día}^{-1}$  y su lectura debe hacerse a 2 m de altura, sin embargo, si la velocidad del viento a la altura antes mencionada se desconoce, pero se conoce la velocidad del viento a una altura diferente se ajusta mediante la ecuación:

$$U_2 = \left[ \frac{2}{z} \right]^{0.2}$$

Donde:

$Z$  = Elevación en metros a la cual  $U$  es medida.

### Presión de Vapor a Saturación (PVs).

La teoría cinética de los gases indica que la evaporación ocurre cuando las moléculas de un líquido (agua por ejemplo) en la interfase líquido – gas, rompen las fuerzas de atracción y escapan a la atmósfera en forma de vapor, por lo tanto se cumple que:

1. Cuando el número de moléculas que escapan del líquido es mayor que el número que regresa se presenta la evaporación.
2. Cuando el número de moléculas que regresan de la atmósfera es mayor que las que escapan del agua se presenta la condensación.
3. Cuando el número de moléculas que escapan del líquido es igual a las que regresan de la atmósfera, existe un equilibrio y el aire se encuentra a saturación.

### Promedio de la Presión de Vapor a Saturación ( $e^0_x$ ).

Synder et al, 1987 presenta la siguiente ecuación para calcular la presión de vapor a saturación. ( $e_s$ )

$$e_s = 6.1078 * \exp \left[ \frac{17.27 * T}{T + 237.3} \right]$$

Donde:

T = Temperatura del aire en °C.

$e_s$  = Presión de vapor a saturación en mb.

Esta ecuación es mas práctica siempre y cuando T se sustituya según sea el caso  $T_{(max)}$ ,  $T_{(min.)}$ , o bien  $T_{(a \text{ punto de rocío})}$

### Deficit de Presión de Vapor a Saturación

La ETp esta en función de la humedad del aire y para el caso de la ecuación de Penman los valores de humedad vienen expresados como deficit en la presión de saturación del vapor ( $e_x^0 - e_z$ ), la diferencia existente entre la presión saturante del vapor agua media ( $e_z^0$ ) y la presión real de vapor de agua media ( $e_x$ ).

( $e_z^0 - e_z$ ) como se presenta en la ecuación de Penman ;

$$(e_z^0 - e_z) = \frac{e_2^0 + e_1^0}{2} - e_2^0 RH_{\max}$$

En donde :

$e_2^0$  = Presión de vapor a saturación a temperatura máxima en mb.

$e_1^0$  = Presión de vapor a saturación a temperatura mínima en mb.

T = Temperatura en °C

HRmax = Máxima humedad relativa durante el periodo. (fracción)

Los terminos  $\Delta/(\Delta+\gamma)$  y  $\gamma/(\Delta+\gamma)$  cuya suma es igual a 1, son dependientes de la temperatura, la presión y del peso de los dos componentes de la ecuación calculados por :

$$\Delta = 33.8639 [0.05904 (0.00738 T_a + 0.807)^7 - 0.042E^5]$$

Que es valido para  $T_a \geq -23^\circ\text{C}$  y ;

$$\gamma = \frac{C_p P}{0.622 L}$$

Donde :

$C_p$  = Calor específico del aire en Cal.  $\text{gr}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

$P$  = Presión atmosférica en mb.

$L$  = Calor latente de vaporización.

Kincaid y Herman (1974) presentan para calcular de una manera más directa estos parámetros la siguiente ecuación :

$$\left( \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \right) = 0.60543 - 0.01728T + 0.0001469T$$

$$\left( \frac{\Delta}{\gamma + \Delta} \right) = 1 - \left( \frac{\gamma}{\gamma + \Delta} \right)$$

En este caso  $T$  es igual a la Temperatura promedio para el periodo en  $^\circ\text{C}$ .

### **Algunos Trabajos Reportados sobre Evapotranspiración**

Martelo M. T. (1989) comparando nueve modelos de ETp con respecto a la evaporación de tanque estándar tipo A mediante el uso de tres índices (Índice Estacional, Relación porcentual, y coeficiente de correlación) los datos utilizados fueron obtenidos de cinco estaciones climatológicas tipo C<sub>1</sub>, para un periodo de 16 años (1968-1983). Los modelos utilizados fueron: Penman, Hargreaves, Linacre, García-López, Thornthwaite, Turc, Radiación, Thornthwaite distribuido y Ev de tanque. El modelo mejor adaptado se determino mediante un procedimiento de jerarquización, concluyó que: El modelo de ETp mejor adaptada fue el Hargreaves, según los criterios de selección utilizados; sin embargo, el investigador recomienda que en trabajos

posteriores se incluyan parámetros edáficos especialmente referidos a sus propiedades físicas.

Hernandez M. F. (2000) señala que al comparar cuatro modelos simulativos de ET<sub>p</sub>, mediante información climática generada por medio de estaciones agroclimáticas, en cuatro localidades de la región productora de papa de Coahuila y Nuevo León (Emiliano Zapata, Jame, Los Lirios y el Tunal), con el propósito de verificar cual modelo se aproxima a seguir la línea de tendencia de la ET<sub>real</sub> en el cultivo de Papa (*Solanun tuberosum* L). observa que las comparaciones hechas a los métodos de: 1) Blaney y Criddle modificada por la FAO – 24 (1977), 2) Hargreaves – Samani (1985), 3) Método Combinado de Penman (1948) y 4) Método de Jensen – Haise.

La comparación estadísticas de los modelos se realizó por medio de un análisis de errores reducidos y aplicando una prueba t-student, indica que el modelo que más se aproxima a la línea de tendencia de la ET real fue el método de Jensen – Haise; sin embargo, es el que representa mayor coeficiente de variación con respecto a los demás.

La orden de precisión de los modelos fue como se indica:

- 1.- El método de Jensen – Haise.
- 2.- Blaney – Criddle modificado por la FAO
- 3.- Método de Penman.
- 4.-Hergreaves – Samani.

Cabe destacar que las variables climáticas que las estaciones registran son: Temperatura, Precipitación, Humedad Relativa, Velocidad y Dirección del viento. De ahí que haya sido necesario estimar las siguientes variables: Radiación Solar (R<sub>s</sub>), Porcentaje de horas luz durante el día (p) y radiación extraterrestre (R<sub>a</sub>).

Tapia V. M. Y Alcantar R.J. (1995) evaluando la ETp en el cultivo de melón en el valle de Apatzingan Michoacán al aplicar la metodología de Penman, Jensen y Haise, Blaney-Criddle y Thornthwaite a los datos climáticos para obtener los valores de ET por fase de desarrollo del cultivo. Concluye de acuerdo a los resultados obtenidos que: 1) el nivel evapotranspirativo del melón se incrementa en forma proporcional con la edad del cultivo, hasta un máximo en la formación del fruto, 2) el método más aplicable en la región para este u otros cultivos, en la estimación de ET es el de Blaney-Criddle.

Consideración adicional: La metodología indirecta utilizada para calcular ET fue comparada contra el método de Dispensor de Neutrones.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### Descripción del Area de Estudio

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo durante el ciclo Invierno–Primavera 2001 en el campo experimental del CIQA, localizado al Noreste de la ciudad de Saltillo, Coahuila; cuyas coordenadas geográficas son: 25° 27' de latitud Norte, 101° 02' de longitud Oeste del meridiano de Greenwich y a una altura de 1610 msnm.

#### **Clima.**

De acuerdo a la clasificación climática de Köeppen y modificada por Enriqueta García (1973) el clima de Saltillo corresponde aun seco estepario, con formula climática **BsoK (x') (e')**

Donde:

**Bso:** Es el mas seco de los Bs.

**K:** Templado con verano cálido, temperatura anual de 12 y 18° C y la del mes mas caluroso de 18° C.

**(x')**: Régimen de lluvias intermedias entre verano e invierno.

**(e')**: Extremoso con oscilaciones entre 7 y 14°C.

En general la temperatura y precipitación pluvial media anual son de 18°C y 365 mm respectivamente, los meses más lluviosos son principalmente de Julio a Septiembre, concentrándose la mayor parte en el mes de Julio. La evaporación promedio mensual es de 178 mm, presentándose las mas altas en

los meses de Mayo y Junio con 236 y 234 mm respectivamente (Callegas, 1988).

### **Características del Suelo.**

Para conocer las propiedades físicas del suelo se efectuó un muestreo de suelo en los estratos de 0 – 20, 20 – 40, 40 – 60 y 60 - 80 cm de profundidad para su análisis, el cual se realizó en el laboratorio de calidad de aguas y rehabilitación de suelos del Departamento de Riego y Drenaje de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, cuyas características se presentan en el siguiente cuadro.

**Cuadro 3.1.** Características Físicas del Suelo.

<b>Estrato</b>	<b>Ce DS/m</b>	<b>Arcilla %</b>	<b>Limo %</b>	<b>Arena %</b>	<b>Textura</b>	<b>CC %</b>	<b>PMP %</b>
0 - 20	1.66	49.20	42.00	8.80	Arcillo Limoso	28.89	16.37
20 - 40	1.54	49.20	42.00	8.80	Arcillo Limoso	30.99	13.20
40 - 60	1.67	43.20	42.00	14.80	Arcillo Limoso	27.53	11.93
60 - 80	3.71	37.20	42.00	14.80	Mig. Arcillo Limoso	27.10	12.02

Basandose en lo anterior, se concluye que el tipo del suelo del sitio experimental es de origen aluvial, textura arcillo – limoso, medianamente ricos en materia orgánica y corresponde a un solonchak de acuerdo a la clasificación FAO – UNESCO.

### **Características del Agua de Riego.**

El análisis químico del agua de riego se realizó en el laboratorio de Calidad de Aguas del Departamento de Riego y Drenaje de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, reportando sus características químicas.

**Cuadro 3.2** Características Químicas del Agua de Riego.

Características	Valor
pH	6.68
CE (μmhos / cm)	2180
Ca <sup>+</sup> (meq / l)	8.2
Mg <sup>++</sup> (meq / l)	11.2
Cl <sup>-</sup> (meq / l)	1.4
SO <sub>4</sub> (meq / l)	15.6
CO <sub>3</sub> (meq / l)	0.8

De acuerdo al análisis de agua que se muestra en el cuadro 3.2 el agua de riego se puede clasificar como “aceptable” para ser usada en la agricultura esto se ha demostrado cuando se ha aplicado en los suelos y cultivos dentro del campo experimental del CIQA ya que no se han detectado problemas de contaminación asociados con su uso. El análisis demostró que su conductividad eléctrica esta por debajo del nivel crítico ( $2180 < 3000 \mu\text{mhos/cm}$ ). En base a trabajos realizados anteriormente se considera un agua C2S1.

### **Material Vegetativo.**

En este trabajo el material vegetativo utilizada fue la semilla de trigo AN - 1185 -95 y ZAR - 98 - 99 proporcionado por el Depto. de Fitomejoramiento de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

### **Diseño Experimental.**

El diseño experimental utilizado fue un Bloques al azar con cuatro repeticiones, los factores de estudio fueron: dos métodos de labranza ( $A_1 =$  labrado y  $A_2 =$  con acolchado orgánico) y aplicación de derivados de algas marinas (factor B) con siete niveles de estudio, dando un total de 56 unidades experimentales.

### Descripción de los Niveles.

Factor A	Factor B
A <sub>1</sub> = Labrado	B <sub>1</sub> = sin aplicación de algaenzimas + 100% fert.
A <sub>2</sub> = Sin labrar	B <sub>2</sub> = algaenzimas 1 l/Ha; foliar + 75% fert.
	B <sub>3</sub> = algaenzimas 1 l/Ha; suelo + 75% fert.
	B <sub>4</sub> = algaenzimas foliar y al suelo + 75% fert.
	B <sub>5</sub> = polvo coloidal adherido a la semilla + 75% fert.
	B <sub>6</sub> = polvo coloidal 0.5 Kg/Ha; foliar + 75% fert.
	B <sub>7</sub> = bagazo de algas adherido a la semilla (0.5 kg/Ha), + 75% fert.

La superficie considerada para establecer el experimento fue de 735.168 m<sup>2</sup>, cada área de la parcela fue de 13.12 m<sup>2</sup> (2.4 X 5.47) por lo que la superficie total del tratamiento fue de 26.25 m<sup>2</sup>.

### Establecimiento del Experimento.

#### Preparación del Terreno

Para llevar a cabo los niveles e labranza del suelo se le aplico un barbecho profundo, se paso la rastra, se nivelo el terreno y posteriormente se realizo el trazo de surcos a una distancia de 80 cm. En los niveles sin labrar no se realizo ninguna labor mecánica, dejando la mitad del rastrojo del cultivo anterior (Maíz) como un acolchado orgánico, sin embargo fue necesario picarlo adecuadamente.

### **Tamaño de la Parcela Experimental.**

La superficie donde se estableció el experimento fue 49 metros de largo y de 26 m de ancho, resultando una superficie total de 1274 metros cuadrados.

### **Siembra.**

El 17 de Enero de 2001 se preparó la semilla para sembrar a una densidad de 140 Kg. por hectárea de semilla de trigo. La siembra se hizo a doble hileras a una separación de 30 cm. entre ellas.

### **Fertilización.**

Para la fertilización se utilizó la siguiente fórmula 120-80-00. El 50 y 100 por ciento de nitrógeno y fósforo respectivamente, se le aplicó al momento de la siembra usando como fuente el fosfatomonoamónico (11-50-00) y nitrato de amonio (30.5-00-00), el otro 50 por ciento del Nitrógeno se hizo al inicio del amacollaje, utilizando como fuente el sulfato de amonio (20.5-00-00) para completar la fórmula de fertilización antes mencionada la cual se le aplicó únicamente a los tratamientos 1. A los tratamientos del 2 - 7 se le aplicó el 75 por ciento de la fórmula inicial la cual queda de la siguiente manera 90-60-00 aplicándola de la misma manera que a los tratamientos 1.

### **Riegos.**

El riego se aplicó de la siguiente manera, con la finalidad de cubrir las necesidades hídricas del cultivo. Basándose en la fórmula de lámina de agua = Volumen aplicado / superficie . se obtuvo una lámina de agua de 7.617 cm. Dando un intervalo de riego de 15 días.

## **Control de Malas Hierbas, Plagas Y Enfermedades.**

Esta actividad de desarrollo durante el ciclo vegetativo del cultivo en toda el área experimental, utilizando azadón, esto con la finalidad de evitar la competencia de nutrientes y posible infestación de plagas y enfermedades en el cultivo. Aunque realmente no hubo presencia de enfermedades pero si hubo presencia de plagas (pulgón), al final de madurez fisiológica del cultivo.

## **Materiales Utilizados en la Investigación**

### **Descripción de la Estación Meteorológica.**

Para estimar la evapotranspiración potencial requerida de acuerdo con el método de Penman-Monteith fue necesario tomar la información climática, generada por estaciones meteorológicas.

Para este caso los datos de climatología se generaron por la estación meteorológica del CIQA, que cuenta con un equipo de la compañía **Campbell Scientific, Inc** compuestas por los siguientes elementos:

- Un **Datalogger** de Campbell Scientific con memoria no – volátil para 62,000 datos. El modelo es CR10X. Recibe y almacena los datos enviados por los sensores.
- **Batería Recargable**, modelo BP12. Proporciona de energía toda la estación meteorológica
- **Panel Solar** de 10 watt con armadura de montaje. El modelo y marca son: MSX10 de Campbell Scientific respectivamente. Alimenta de energía a la batería.
- **Caja de Seguridad**, modelo ENC 16/18, de 16 X 18 pulgadas, con sensor de humedad dentro de la caja (10162) y desecantes (DSC29 20/40).

- **Sensor de Temperatura y Humedad Relativa** de la marca Vaisala, modelo. Transmite la temperatura y la humedad relativa,
- **Pluviómetro** de Campbell Scientific, modelo TE525MM-L (resolución de 0.1 mm). Transmite la caída de lluvia registrada durante el día.
- **Piranómetro** Li-Cor (LI200X-L), Mide y transmite la Radiación Solar.
- **Anemómetro y Veleta** R. M Young, modelo 034A-L. transmiten los datos de velocidad y dirección del viento.
- **Software** programa informático para computadoras. Calcula los promedios y el total de los datos. modelo PC208W.
- **Teclado y Display** (modelo CR10KB) para visualizar los datos almacenados en tiempo real, directamente del datalogger
- **Tripie de aluminio de 3 m.** Modelo Cm10.
- Modulo de **Comunicación por Celular** modelo COM100, incluye: Transceiver celular de Motorola M600, Interface RJIC, Antena Yagi con cable coaxial y conectores, Módem COM200.
- **Barómetro.** Transmite los datos de presión atmosférica diarios.

La estación meteorologica del CIQA es una de las mas completas que existen en el área de influencia de la Ciudad de Saltillo ya que las variables climáticas que esta registra son: Temperatura (aire y suelo), Precipitación, humedad relativa, Velocidad y Dirección del Viento, Radiación Solar.

### **Descripción del Dispensor de Neutrones**

Como acceso para la fuente radioactiva se utilizaron tubos de aluminio. Para realizar la instalación de los tubos de acceso se utilizó una barrena mecánica con diámetro exterior ligeramente más grande.

## Especificaciones

Modelo:	503 DR Hidroprobe.
Función:	Medición de Humedad Sub-superficial.
Rango:	0 a 32 por ciento Vol, 0.32 gm/cc, 20 pcf, 3.84 in/ft.
Precisión:	0.24 por ciento a 24 por ciento Vol a un minuto.
Tiempo de conteo:	1, 4, 16, 32, 64, y 256 segundos.
Temperatura:	Opera de 0 a 70°C.
Vida de la batería:	500 – 1000 ciclos de carga-descarga.
Consumo:	6.5 mA.
Visualización:	8 caracteres alfanuméricos en cristal liquido.
Almacenamiento de Datos:	3072 celulas de: conteos, identificadores, o entradas de valores auxiliares desde teclado.
Salida de Datos:	Puerto serial RS232C a impresora externa, computadora, CRT o conector.
Calibración:	8 programas de tipo lineal.
Unidades:	Selección de usuario: in/ft, pcf, gm/cc, % Vol, cm/30 cm, conteo e índice de conteo.
Fuente de neutrones:	50 mCi Americium-241/Be
Encapsulación:	Doble cápsula sellada, CPN-131
Protección:	Silicón basado en parafina para material radioactivo.
Construcción:	Aluminio con pintura epoxy o una fuerte anodización final.
Medidas:	6.8" W x 7.0" D x 14.0" H

En la figura 3.2 se muestra como se ve físicamente el Dispensor de Neutrones con las especificaciones ante mencionadas.



**Figura. 3.2** Dispensor de Neutrones Utilizado en la Toma de Datos de Contenido de Humedad

### **Calibración**

La calibración del instrumento de medición es usualmente hecha para obtener las lecturas del instrumento para un rango de valores determinados independientemente de los parámetros que van a ser medidos. La relación entre las lecturas y los valores proporcionan la curva de calibración. Cuando la respuesta depende de los valores del parámetro que está siendo medido la calibración del instrumento es un simple procedimiento. Pero cuando la respuesta depende en un grado significativo de otras propiedades del medio, la calibración será mucho más difícil. Para el medidor de neutrones nosotros

usualmente requerimos de una ecuación de calibración de la forma  $\theta = bn + a$ , donde  $\theta$  ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) es el contenido volumétrico de agua libre (agua liberada al secar a  $105^\circ\text{C}$ ),  $n$  es el radio de la razón de conteo en el suelo a la razón de conteo estándar en algunos, usualmente agua,  $b$  es el coeficiente de calibración y  $a$  es la constante de intercepción (Holmes 1956). La relación de conteo depende mucho de  $\theta$ , pero esta es también afectada por otras propiedades del suelo, a saber la densidad aparente del suelo seco, el contenido volumétrico de hidrógeno constitucional, comúnmente expresado como equivalente de agua, y varios otros componentes químicos del suelo y la solución del suelo.

La calibración es complicada debido al hecho de que el aspersor de neutrones responde mas fuertemente a las propiedades del suelo cercano al detector y a la fuente, y esto es virtualmente imposible tener un suelo que sea uniforme con respecto a estas cuatro propiedades.

### **Descripción del Time Domain Reflectometry (TDR)**

En esta investigación se utilizo un TDR modelo CS615 de Campbell Scientific, conectado a un Dataloggers CR10X que cuenta con las siguientes características del equipo que a continuación se describen.

### **Especificaciones Físicas**

Dimensiones:

- Varillas: 30.0 cm de longitud.
- 3.2 mm de diámetro.
- 3.2 cm de separación.

Cabeza: 11.0 cm x 6.3 cm x 2.0 cm

Peso:

Sonda: 280 g

Cable: 35 g m<sup>-1</sup>

#### Eléctrico:

Energía: 70 miliamperes @ 12 VDC cuando esta activa la sonda.  
Menos de 10 microamperes cuando esta en modo espera.

Suministro de voltaje: 9 VDC mínimo, 18 VDC máximo.

Voltaje de activación: Mínimo voltaje para activar la sonda de 1.3 VDC.

### **Especificaciones de Funcionamiento**

**Precisión.** La precisión del equipo es  $\pm 2$  por ciento cuando se utiliza una calibración para un suelo específico, cuando se usan calibraciones generales la precisión depende de la textura del suelo y la composición mineral.

**Resolución.** La resolución de las mediciones del contenido volumétrico del agua depende de la instrucción del datalogger que es empleado. La resolución se mejora cuando el contenido de agua disminuye y el intervalo de ejecución aumenta. Un intervalo de ejecución corto de 0.1 segundos produce una resolución de  $10^{-2} \text{ m}^3\text{m}^{-3}$  a un mismo contenido de agua.

### **Metodología en la Toma de Datos**

La toma de datos de relación de conteo (R) con el dispersor de neutrones se hizo cada lunes y viernes de la semana procurando que fuera aproximadamente la misma hora en todos los días. Además, antes de cada riego se hacía una toma de R para obtener los datos antes de riego, y se trato de levantar datos lo mas pronto posible después de cada riego.

Para la obtención de los datos capturados por la estación meteorológica y los TDR almacenados en los datalogger se hizo directamente en campo con una computadora portátil aproximadamente cada fin de mes.

El valor de la evaporación (Ev) se obtuvo con las lecturas del tornillo micrométrico en el tanque evaporímetro tipo "A" por diferencia de la lectura actual y la del día anterior se obtuvo la evaporación diaria durante todo el ciclo del cultivo.

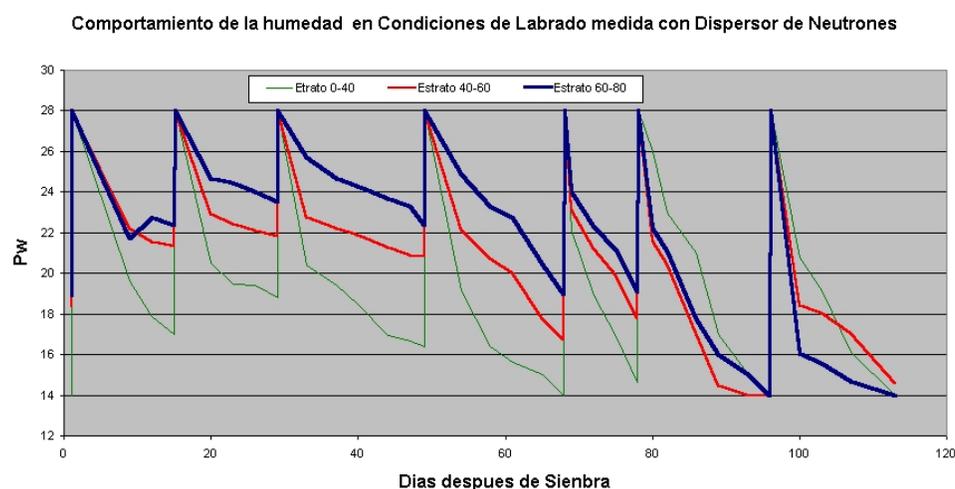
#### IV. RESULTADOS Y DISCUSION

##### **Comportamiento de la Humedad en los Factores de Estudio Obtenida con el Dispersor de Neutrones**

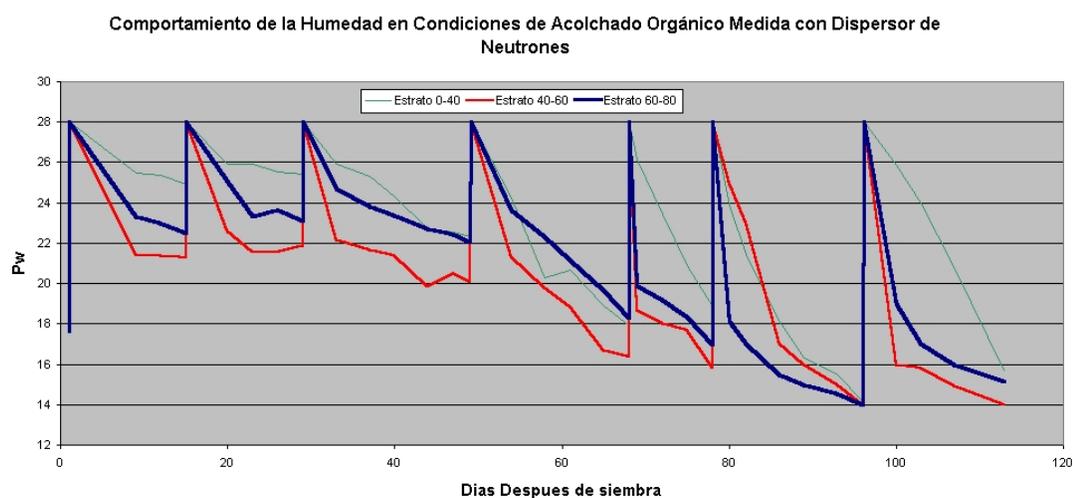
Antes de discutir los resultados obtenidos en relación de contenido de humedad , cabe destacar que a los tratamientos labrados se le aplico un volumen de agua de 1 m<sup>3</sup>, mientras que a los tratamientos sin labrar y con

acolchado orgánico se le aplico  $0.7 \text{ m}^3$ , este criterio se tomo en base a estudios realizados anteriormente en el mismo campo experimental del CIQA, donde indican que en el acolchado orgánico se tiene ahorros de agua hasta de un 30 por ciento.

A continuación se presenta el comportamiento de la humedad en cada uno de los factores de estudio y en cada uno de los estratos (0 –40, 40-60, y 60-80 cm) medida con el dispersor de neutrones.



**Figura 4.1** comportamiento de la humedad en condiciones de labrado



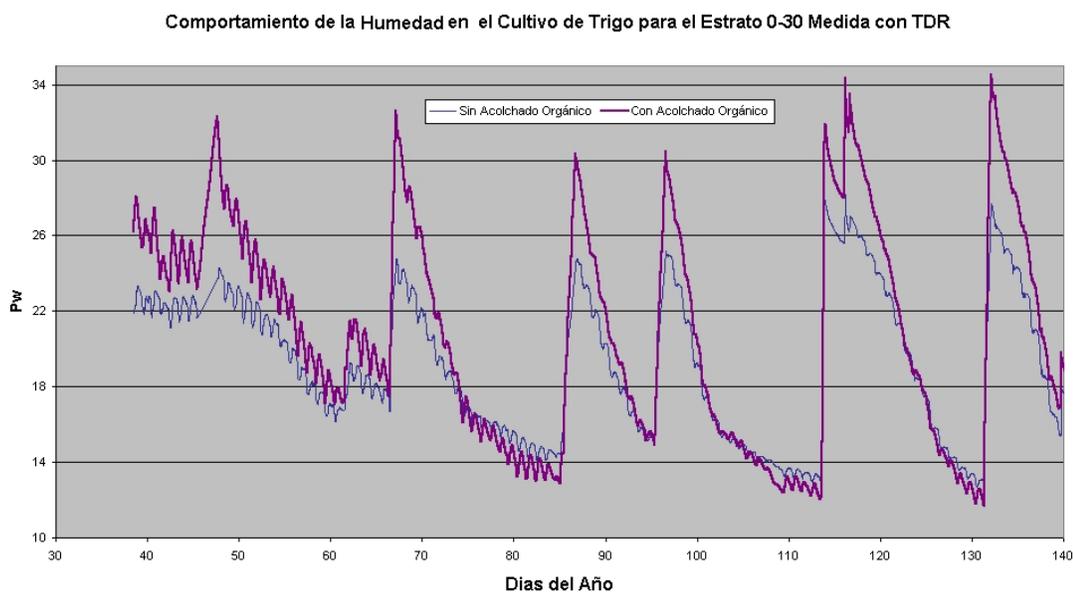
**Figura 4.2** comportamiento de la humedad en condiciones de Acolchado orgánico

Se puede apreciar, que en el estrato 0-40 cm bajo condiciones de acolchado orgánico los contenidos de humedad durante todo el ciclo vegetativo del cultivo son mayores en comparación del mismo estrato en condiciones de labrado. Esto se relaciona al uso de acolchado orgánico debido que éste disminuye la demanda evaporativa en el suelo.

En el estrato 40-60 y 60-80 cm después del 1º y 2º riego de auxilio el contenido de humedad en ambas condiciones son semejantes, pero , después del 3º riego el contenido de humedad en condiciones labrado es mayor que en el de acolchado orgánico; aunque en muy poca proporción. Esto se puede atribuir a que el volumen de agua aplicado al de condiciones de acolchado orgánico es menor que el de labrado. (ver cuadro 4.1,4.2)

### **Comportamiento de la Humedad en los Factores de Estudio obtenida con el TDR**

En el caso de los datos obtenidos en la gráfica con TDR se muestra la misma tendencia (ver Figura 4.3) a la gráfica que se obtuvo con el dispersor de neutrones, sin embargo, esta figura muestra datos muy sobre estimados. Tal como se identifica después de cada riego donde se muestran datos muy altos comparados con la del dispersor de neutrones, una razón por la cual este dato es mucho mayor se debe al tiempo de obtención de los datos; en TDR los datos se obtuvieron cada 30 segundos promediando a cada 30 minutos. Por lo tanto tiene que distinguirse al ser graficados los datos.



**Figura. 4.3** Comportamiento de la humedad Obtenida con TDR en el estrato 0-30 cm

En la Figura y cuadro 4.3, se aprecia mejor el comportamiento del contenido de humedad en el acolchado orgánico debido a que los valores son mucho mas altos que en el labrado; pero después de 10 días aproximadamente el contenido de humedad en el labrado es mayor que en el de acolchado orgánico. Esto se puede explicar, según trabajos anteriores (Pacheco, 2001), que los cultivos con cubiertas vegetales se desarrollan mejor vegetativamente, por lo que esto incrementará el mayor consumo de agua por las plantas y por consiguiente disminuirá en el suelo.

**Cuadro 4.3** Determinación del consumo de agua en el cultivo de trigo con el método del TDR.

Labrado			Sin labrar		
PW <sub>DR</sub>	PW <sub>AR</sub>	LC cm	PW <sub>DR</sub>	PW <sub>AR</sub>	LC cm
24.3	16.1	2.952	32.5	17	5.58
19.2	16.7	0.9	21.8	17.5	1.548
25.1	14.4	3.852	32.6	13	7.056
25	15.3	3.492	30.5	15.2	5.508
25.3	13.31	4.3164	30.8	12	6.768
30	25.8	1.512	31.9	28	1.404
28.2	12.9	5.508	34.6	11.8	8.208
	Total	22.5324		Total	36.072

### **ET real acumulada Estimada con el Dispensor de Neutrones**

Antes de iniciar a discutir los resultados de ET obtenidos en el desarrollo de esta investigación es importante señalar que la ET<sub>real</sub> medida para el cultivo de trigo se determino mediante un balance de humedad con el dispensor

de neutrones, calculando los consumos de agua por medio de la siguiente expresión:

$$Lc = (Pw_{DR} - Pw_{AR}) * Da * Zr / 100$$

Donde:

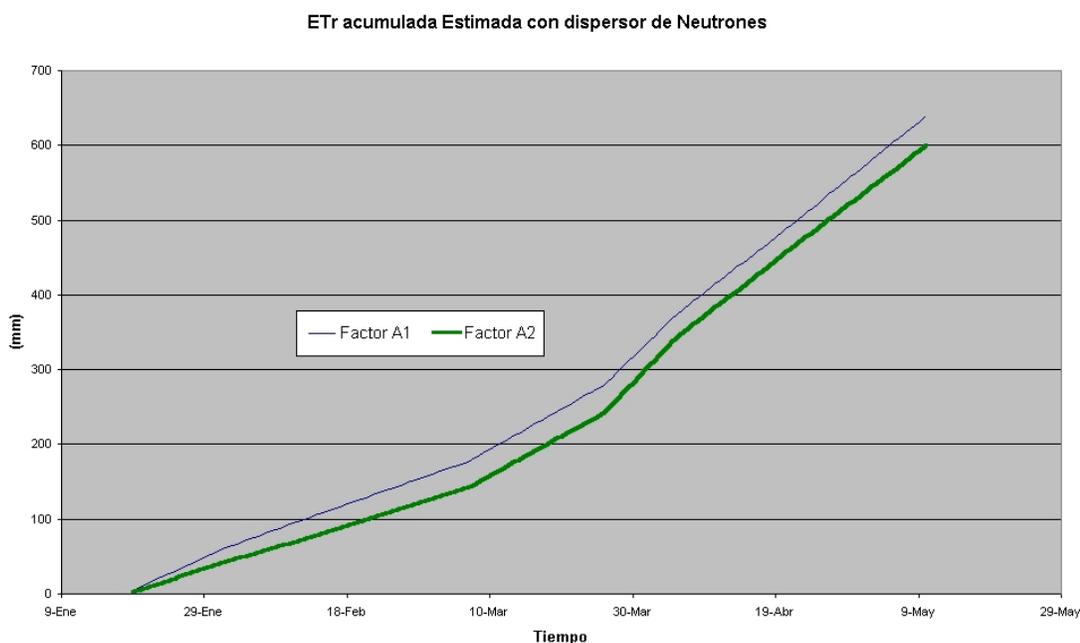
$Pw_{DR}$  = Contenido de humedad en el suelo después de riego, %

$Pw_{AR}$  = Contenido de humedad en el suelo antes de riego, %

$Da$  = Densidad aparente del suelo,  $gr/cm^3$

$Zr$  = Profundidad radicular, cm

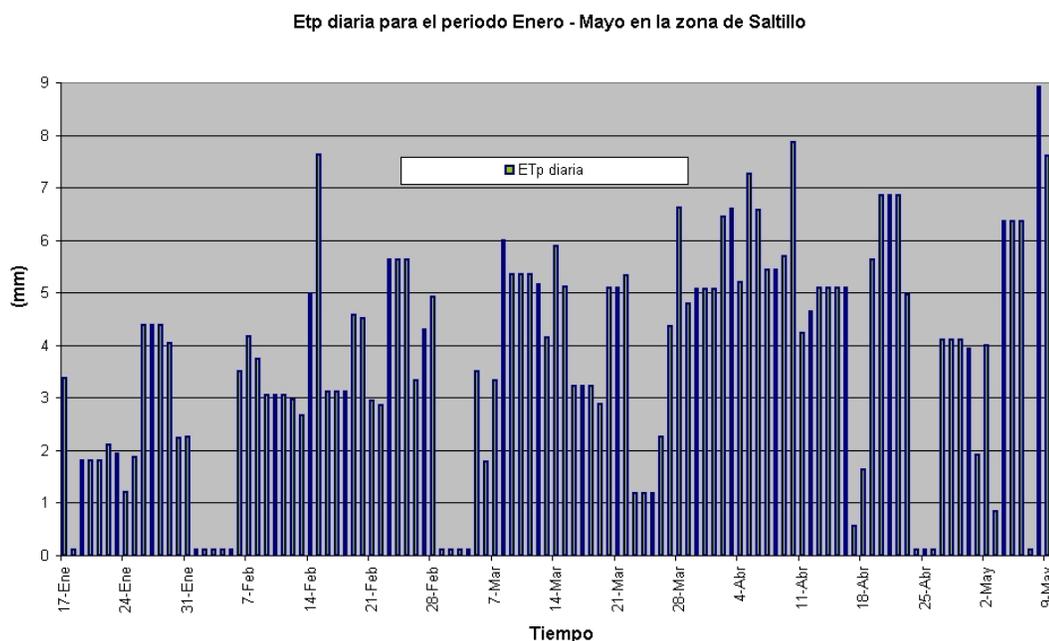
En la Figura 4.4 se presenta la ETreal acumulada durante todo el ciclo para ambas condiciones de estudio, en ella se puede observar claramente que la demanda evapotranspirativa para las condiciones de labrado es mayor en comparación con el de no labrado de hasta 40 mm. Esto se le atribuye al efecto que tiene el acolchado orgánico referente a la evaporación sobre la superficie evaporante y además de la lamina de agua aplicada en cada riego.



**Figura 4.4** ETreal acumulada Estimada con el Dispersor de Neutrones

### ETp diaria obtenida por el Tanque Evaporímetro Tipo “A” para la Zona de Saltillo.

En la figura 4.5, se observa que en los meses de Marzo y Abril son los meses de mayor demanda evapotranspirativa debido a las altas temperaturas que se presentaron en ese periodo y además de la influencia del viento. Aquí se nota claramente que estos dos factores tienen una notable influencia sobre la ET, se puede observar que se encuentran días en los que el valor de la ET es casi nulo, debido a que se presentaron precipitaciones y antes de la lluvia la nubosidad también se hizo presente.

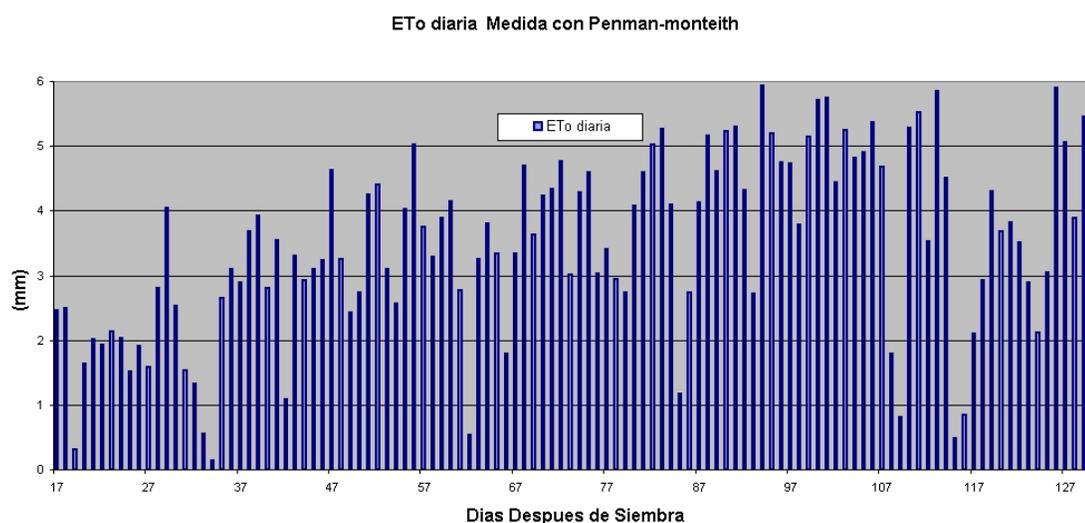


**Figura 4.5** ETp diaria obtenida por el método del Tanque evaporímetro para la Zona de Saltillo

### ETp diaria Obtenida por el Método de Penman- Montieith

Se puede observar, que el mes de mayor demanda evapotranspirativa es en Marzo y Abril, teniendo los mas altos en Abril, debido que en este mes la temperatura llego a alcanzar máximos de hasta 36 ° C y además se observa que las velocidades de viento también se encontraban altos. ( ver figura 4.6)

En esta gráfica se puede observar la gran diferencia que tiene al utilizar equipos automatizados para la toma de datos, aunque quizás tengan la misma tendencia la confiabilidad es diferente.

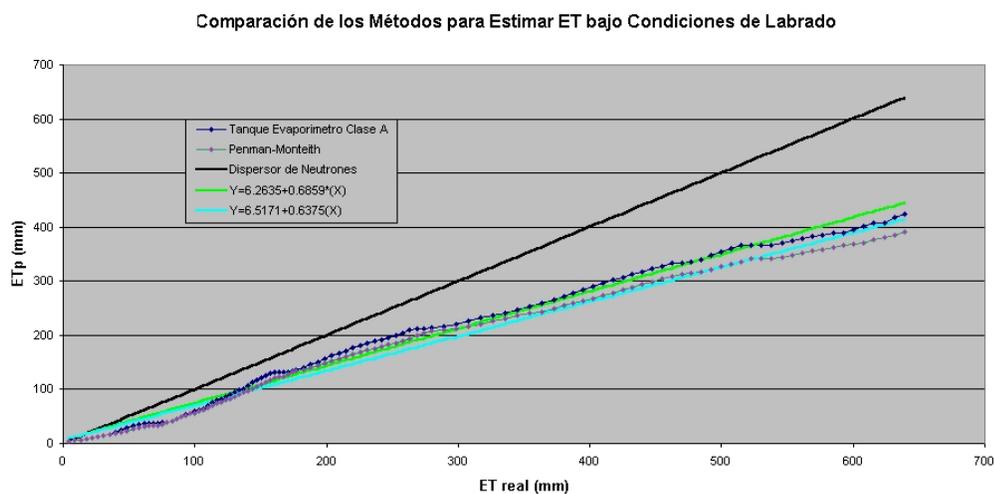


**Figura 4.6** ETp diaria obtenida por el Método de Penman-Montieth, para la zona de Saltillo.

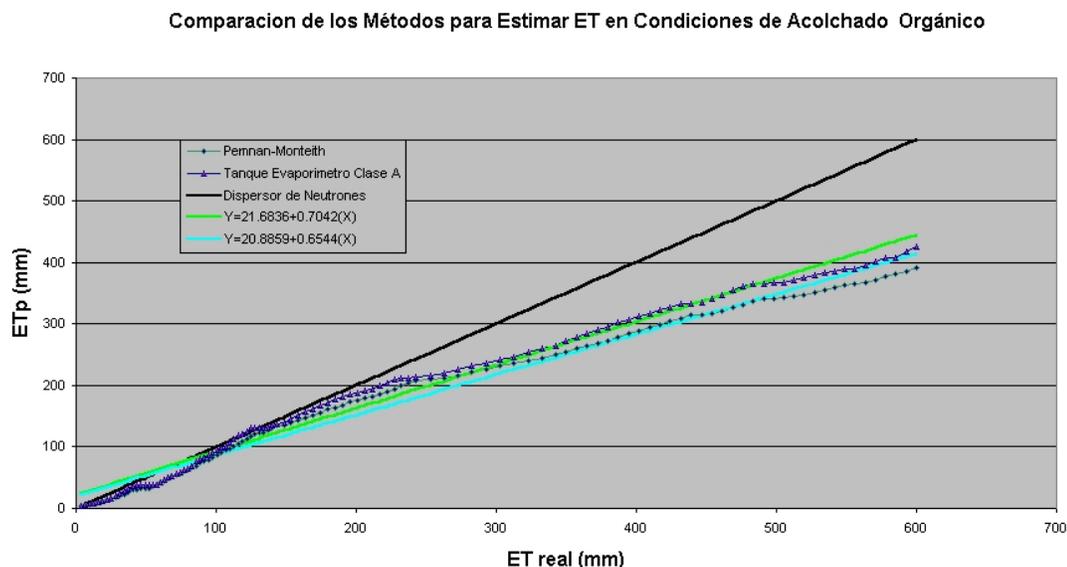
### **Comparacion de los metodos para estimar ET**

La comparación de los metodos usados para estimar ETp corresponde al de Penman-Montieth y al del Tanque evaporímetro tipo "A" esta se realizo con respecto a los datos de ETreal medida con el método del Dispensor de Neutrones en ambas condiciones de suelo, ya que este es el que tomó en cuenta todo el perfil del suelo y en el supuesto de que es la tendencia a seguir. Para ello se muestra las figuras 4.7 y 4.8.

Asimismo se observa que el método de Penman-Monteith y el del tanque evaporímetro subestiman la ET con respecto al del dispersor de neutrones en ambas condiciones, pero en condiciones de labrado el ET<sub>real</sub> medida con el dispersor de neutrones es mayor, por lo tanto la subestimación de los métodos mencionados será mayor. De estos metodos el de Penman-Monteith es el que mas subestima.



**Figura 4.7** Comparación de los métodos para calcular ET<sub>p</sub> en condiciones de labrado.

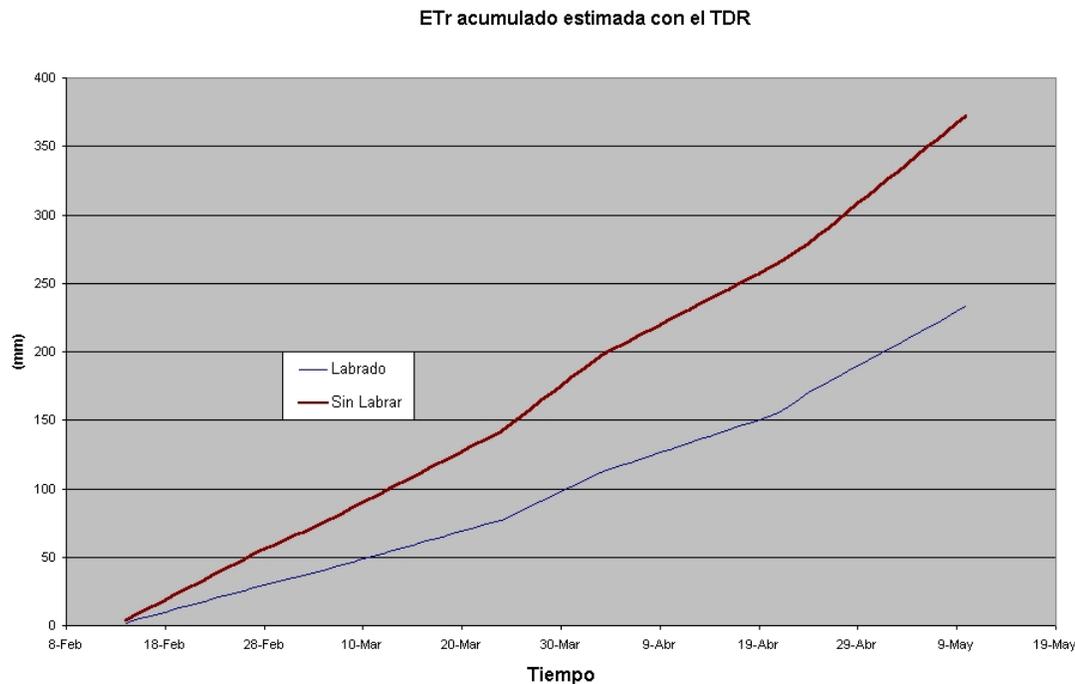


**Figura 4.8** Comparación de los metodos para calcular ETp en condiciones de acolchado orgánico.

Para el primer caso Penman- Montieth y el del Tanque Evaporímetro subestiman la ET en 38.8 por ciento y 33.5 por ciento respectivamente. En la figura 4.8 se nota que el ETreal, baja a un valor de 599.82 mm, lo cual lógicamente tiene que bajar el porcentaje de subestimación, quedando en el orden de 34.8 y 29.1 por ciento respectivamente.

#### **ETreal Estimada con el Método de TDR**

La ETreal estimada por medio de este método únicamente se hará mención de él, debido a que el estrato evaluado por medio de este modelo es únicamente de 0-30 cm y por lo tanto el consumo será menor en comparación al dispensor de neutrones; que evaluó tres estratos (0-40, 40-60 y 60-80cm) el procedimiento para calcular los consumos fue idéntico al del dispensor de neutrones.



**Figura 4.9** ETr acumulada estimada por medio de TDR

En la figura anterior (4.9) se observa la misma tendencia que la obtenida con el dispersor de neutrones, donde las condiciones de labrado es mayor en un 37.3 por ciento más que el de acolchado orgánico, observe que en esta gráfica se ve mayor la diferencia que se tiene, debido a que es el estrato superficial es el que mas contacto tiene con el acolchado orgánico y el efecto que se tiene al usarlo.

## VI. CONCLUSIONES

Una vez realizadas las consideraciones de análisis para la afirmación del planteamiento de la hipótesis se tiene las siguientes conclusiones.

En el presente trabajo las consideraciones de análisis para el consumo de agua y orden de precisión de los métodos aquí usados fue realizado por medio de gráficas, observando las tendencias de cada una.

El uso del acolchado orgánico evita el consumo de agua por evaporación, manteniendo la humedad más estable, aunque en las gráficas de humedad se reporta que en los estratos de 40-60 y 60-80 cm después de un tiempo (10 días aproximadamente) los niveles de humedad se abaten más en el de acolchado orgánico, sin embargo, la lámina aplicada a los tratamientos sin labrar fue menor con respecto al del labrado.

El orden de precisión de los métodos aquí comparados con respecto al dispersor de neutrones se tiene que: el Tanque Evaporímetro tipo "A" es el que más se acercó a la tendencia de la Etrial.

Para trabajos más detallados sobre la exactitud de los diferentes métodos para estimar de ET, se debe tomar como referencia datos obtenidos por medio de lisímetros.

Para poder utilizar el método del TDR con mayor grado de confiabilidad se debe realizar antes una calibración al equipo, de acuerdo a las condiciones físicas del suelo, debido que este proporciona datos sobre estimados.

## **VI. LITERATURA CITADA.**

Aguilar S. A, Alcantar G, J. D. Etchevers B. (Eds). 1990. Memorias XXII Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Comarca Lagunera, México.

- Aguilera C. M, y Martínez E. R. 1996 Relaciones Agua Suelo Planta atmósfera, Departamento de Irrigación, UACH, 4<sup>ta</sup> Edición Chapingo México
- Andrade M.M.A. Estudio del comportamiento de 4 variedad de frijol (*Phaseolus Vulgaris* L) y 4 sistema de labranza bajo condiciones de temporal.
- Bayer A. 1980. Responses of all semid waef hard red spring wheat's to fertilizers nitrogen rates and water supply in north Dakota 1969 – 1974, north Dakota agricultural experiment station, north Dakota state university of agriculture and science tar go. pag 111.
- Cruz G.R. 1991. Evaluación del modelo de palacios Vélez para simular el balance de la humedad del suelo en el cultivo de trigo (*Triticum aestivum*\_L) variedad Seri M-82. U.A.A.A.N, pagina 63.
- Coras M. P. M. 1996. Evapotranspiración y Programación de Riegos. UACH, Chapingo, México
- Espinosa M.M.A. 1994. Respuesta de tres niveles de la labranza en manzano (*Malus Silvestris* L) c.v red delicias de temporal, pagina 84.
- FIRA. 2000. Banco de México. Centro de desarrollo tecnológico “Villa Diego” curso sobre fundamentos básicos del sistema de labranza de conservación, pagina 197.
- Gavande, S. A. 1982. Física de Suelos, Principios y Aplicaciones, 2<sup>da</sup> Edición. Editorial Limusa. México
- Gómez T. B. 1992. Bioactivadores húmicos y acolchado orgánico en el cultivo de manzano (*Pyrus Malus* L) en Arteaga Coahuila, Buenavista Saltillo Coahuila México, pag 161.
- Guzmán C. R. 1997. Efecto de rizobacterias aisladas de malezas sobre trigo (*Triticum aestivum* L) var. Pavón f-76 bajo condiciones controladas. U.A.A.A.N. Buenavista Saltillo Coahuila, pag 76.
- Hernández P.O.J. 1991. Efecto de arreglo topológico entre labranza en el comportamiento del cultivo de trigo de Triticale (X. *Triticosecale Wittmaack*), Buenavista Saltillo Coahuila México, pag 100.
- Hernández M. F 2000. Simulación de la Evapotranspiración Orientada a la Operación de Sistemas de Riego en el Cultivo de papa (*Solanum Tuberosum* L) Tesis de Licenciatura. UAAAN. Buenavista Saltillo.
- IMTA 1997. Manual para Diseño de Zonas de Riego Pequeñas. Morelos, México.

- Martínez R. L. 1987. Efecto de la labranza tradicional y la labranza de conservación para el control de erosión en el cultivo de maíz (*Zea Mays* L) bajo condiciones de temporal, Buenavista Saltillo Coahuila México, pag 87.
- Martínez R. J. G. 1989. efecto de tensión de humedad sobre el rendimiento y partición de fotosintatos en variedades de trigo con diferentes respuestas al déficit hídrico, Buenavista Saltillo Coahuila México.
- Mascagni J. H, Vories F. D, Bacon R. K, Milus E. A, Finney P. L. 1992. Arkansas Agricultural experiment station, bulletin 934, pag 16.
- Mascagni J. H, Sabbe W. E. 1990. Nitrogen fertilization of wheat grown on raised, wide beds, Arkansas Agricultural experiment station, division de agriculture, report series 3.
- Medina L. J. L. 1995. Labranza para cosecha de agua y fertilización en sorgo de temporal, Buenavista Saltillo Coahuila México, pag 46.
- Moya C. A. 1998. Monografía, Buenavista Saltillo Coahuila México, pag 89.
- Pacheco D. J. 2001. Aplicación de Derivados de Algas Marinas y Acolchado Orgánico en el Cultivo de Trigo (*Triticum aestivum* L ) Tesis de Licenciatura. UAAAN. Buenavista Saltillo. México.
- Papendick, R. I. 1987. Tillage and Water Conservation: Experiences in the Pacific Northwest. Soil Use and Manager.
- Robles S. R. 1990. Producción de Granos y Forrajes, Editorial Limusa S. A. de C. V. 5<sup>ta</sup> Edición, México D. F.
- Rojas A. A. 1998. Crecimiento de granos en líneas de trigo macarronero (*Triticum aestivum* L) contrastes en la altura de la planta y su precocidad y su relación en el rendimiento, Buenavista Saltillo Coahuila México.
- Rawson H. M, Klatt A. R 1988. Effect of temperature on the development and yield of wheat and practices to reduce deleterious effects, in pagine 44-62 A. Wheat production constraints in tropical environments Mexico D. F, Cimmyt.
- Rex K. T, Jackson E. B. y Gebert J. R. 1987. Irrigated wheat production response to water and nitrogen fertilizer college of agriculture, agricultural experiment station, the university of Arizona, pag 16.

- Sampat A. G. 1982. Principios y aplicaciones (física de suelo), Limusa, pag 347.
- SARH. 1981 Agenda Técnica Agrícola Municipal, General Cepeda, Coahuila.
- SARH. 1985 Estadístico de la Producción Nacional. Anuario, México.
- SARH. 1991. Manual de conservación del suelo y del agua, colegio de postgraduados Chapingo México, pag 600.
- Sawders A. D. 1990. Technical wheat for the nontraditional warm areas a proceeding the international conference, foz do Iquacu Brazil.
- SEP. 1987. Manuales para la Educación Agropecuaria, Trigo-Cebada-Avena, Area de Producción Vegetal. Editorial Trillas. 6<sup>ta</sup> Reimpresión. México D. F.
- Sixto M. J. M. 1992. Logros y aportaciones de la investigación agrícola en el cultivo de trigo, SARH, INA, pag, 39.
- Tandon J. P. 1984. Wheat improvement programs for the hotter areas of India. In pages 63-67, wheat's for mare tropical environments, a proceedings of the international Symposium.
- Teusher M, Adler R. 1984. El suelo y su fertilidad, Ed. Continental, México. Pag 88-90.
- Tinajero R. F. 1993. Aplicación de algas marinas y estiércol de bovino en el suelo arcilloso, en el cultivo de cilantro (*Coriandrum Sativum*). Buenavista, Saltillo, Coahuila México, pag 190.
- Tisdale S. L. y Nelson W. L. 1982. Fertilidad de suelos y Fertilizantes, 1<sup>ra</sup> Edición, Ed Uthea, México.
- Trava M. J. 1972. Obtención de los Valores de Evaporación en Trigo Mediante la Utilización de Lisímetros. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Westerman R. L. 1987. Wheat and wheat improvement, American society of agronomy inc, crop science society of American inc, soil science society of American inc, publishes Madison, Wisconsin, Usa, Pp 765 (330-332).