

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO  
DIVISION DE INGENIERIA**



**Determinación del índice de área foliar, acumulación de materia seca y rendimiento de grano en maíz (Zea mays L.) en el híbrido AN-447, bajo tres condiciones de humedad del suelo.**

**POR:**

**JOAQUIN SANCHEZ GUTIERREZ**

**TESIS.**

**Presentada como requisito parcial para  
obtener el título de:**

**INGENIERO AGRONOMO EN IRRIGACION**

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

**UNIVERSIDAD AUTONÓMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE INGENIERIA**

**Determinación del índice de área foliar, acumulación de materia seca y rendimiento de grano en maíz (Zea mays L.) en el híbrido AN-447, bajo tres condiciones de humedad del suelo.**

**POR:**

**JOAQUIN SANCHEZ GUTIERREZ**

**TESIS**

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

**APROBADA**

**El presidente del jurado**

---

**DR. Raúl Rodríguez García  
Asesor principal**

---

**DRA. Diana Jasso Cantú  
Asesor**

---

**ING. Carlos Rojas Peña  
Asesor**

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

---

**ING. Jesús R. Valenzuela García.**

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

## DEDICATORIA

### A DIOS NUESTRO SEÑOR:

Que medió la capacidad intelectual y el entusiasmo para obtener lo que ahora he logrado, haciendo de los obstáculos de la vida un gran momento de reflexión sobre los triunfos conquistados y por conquistar.

### CON PROFUNDO AMOR A MIS PADRES:

**Sr. Rosario Sánchez Hernández.**

**Sra. Dolores Gutiérrez López.**

A quien debo la vida quienes me formaron inculcando principios de superación, gracias por pensar en mi antes que en ustedes, por enseñarme que las restricciones materiales son solo una ilusión cuando en verdad se desea alcanzar una meta, ayer un sueño hoy una realidad mi título profesional, por quienes puse todo mi entusiasmo en alcanzar esta meta. Que Dios los guarde siempre.

### A MIS HERMANOS:

Juan.

Lázaro.

Rufina.

Teodoro.

Romana.

Gloria.

José R.

Juvencio.

José Atilano.(+)

Arcelia.

Mercedes.

A quien quiero mucho por esos lazos fraternales que nos unen, y en gratitud por el apoyo y estímulo que siempre me han brindado, quienes de una u otra forma contribuyeron en mi formación como profesionalista.



## AGRADECIMIENTO

Al Dr. Raúl Rodríguez García. Por la revisión, aportaciones y sugerencias para la buena presentación de este trabajo, así como su orientación en todo el trabajo de campo. Y por su valiosa amistad que me ofreció durante mi formación profesional.

A la Dra. Diana Jasso Cantu. Por concederme desinteresadamente gran parte de su valioso tiempo en el asesoramiento y supervisión del presente trabajo; así como su amistad incondicional que siempre me ha demostrado dentro y fuera de la Universidad reconociendo su capacidad profesional y reiterándole mis mas sinceros agradecimientos

Al Ing. Carlos Rojas Peña. Por la revisión de este trabajo, por su amistad y por su valiosa participación como miembro del jurado.

Al Ing. Valentín Vázquez Hernández. Por su apoyo y amistad y ese ejemplo de entrega en el trabajo que me brindo desinteresadamente para la conclusión de este trabajo.

Al Instituto Mexicano del Maíz por facilitarme los materiales genéticos para la realización del Presente trabajo.

A los trabajadores de la Institución. Don. Pedro, Güero, Jorge, A las laboratoristas de Fitoquímica que de alguna u otra forma contribuyeron en la realización de este trabajo.

A todas aquellas personas que de alguna u otra manera contribuyeron en mi formación profesional, en la realización de esta tesis y que involuntariamente han que dado omitidas, pero no olvidadas.

A la **UAAAN**, por abrirme las puertas y darme las herramientas para enfrentarme a la vida, así como la oportunidad de aprender los conocimientos transmitidos por todos sus excelentes maestros investigadores, y con gran cariño y respeto a mi **Alma Terra Mater**.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

	Págs.
<b>DEDICATORIA</b> .....	i
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	iii
<b>ÍNDICE DE CONTENIDO</b> .....	v
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	viii
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	ix
<b>ÍNDICE DE CUADROS DEL APÉNDICE</b> .....	x
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>OBJETIVOS</b> .....	2
<b>HIPOTESIS</b> .....	2
<b>II. REVISION DE LITERATURA</b> .....	3
2.1. Generalidades del Maíz.....	3
2.2. Descripción de la planta.....	3
2.3. Valor nutritivo.....	5
2.4. Tipo de maíz y sus usos.....	6
2.4.1. Dentado.....	6
2.4.2. Duro.....	6
2.4.3. Blanco.....	6
2.4.4. Reventador.....	6
2.4.5. Dulce.....	7
2.5. Fenología.....	7
2.6. Condiciones ecológicas y edáficas.....	11
2.7. Factores climáticos.....	11
2.7.1 Luz, intensidad y duración.....	11
2.7.2. Influencia del clima.....	12
2.7.3. Temperatura.....	13
2.8. Requerimientos de agua del maíz.....	13
2.9. Estrés hídrico.....	15
2.10. Evapotranspiración.....	18
2.11. Materia seca.....	19

2.12. Rendimiento.....	21
2.13. Índice de área foliar.....	23
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>24</b>
3.1. Características del área de estudio.....	24
3.1.1. Localización del sitio experimental.....	24
3.1.2. Clima.....	24
3.1.3. Suelo.....	25
3.1.3.1. Propiedades físicas y químicas del suelo.....	25
3.2. Tratamientos Evaluados.....	26
3.2.1. Distribución de los tratamientos en el campo.....	28
3.2.2. Labores de cultivo.....	28
3.2.3. Control de riegos.....	29
3.3. Diseño Experimental.....	30
3.4. Variables Evaluadas.....	30
3.4.1. Índice de Área Foliar y Materia Seca.....	30
3.4.2. Rendimiento de grano. ....	31
3.5. Materiales.....	31
3.5.1. Material genético.....	32
3.5.2. Cinta métrica.....	32
3.5.3. Palas y azadones.....	33
3.5.4. Estufa y balanza granataría.....	33
3.5.5. Machetes.....	33
3.6. Calibración del dispersor de neutrones.....	33
3.7. Información climática.....	34
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSION.....</b>	<b>35</b>
4.1. Evolución de la humedad del suelo.....	35
4.2. Índice de Área Foliar.....	38
4.3. Acumulación de Materia Seca.....	39
4.3.1. Acumulación de Materia Seca en Tallo.....	39
4.3.2. Acumulación de Materia Seca en Hoja.....	40
4.3.3. Acumulación de Materia Seca en Mazorca.....	41

4.3.4. Acumulación de Materia Seca Total.....	42
4.4. Rendimiento de grano.....	43
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>45</b>
<b>VI. RESUMEN.....</b>	<b>46</b>
<b>VII. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>48</b>
<b>VIII. APÉNDICE.....</b>	<b>55</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Págs.
Fig. 4.1. Evolución del contenido de humedad en el suelo para los tratamientos T1(A), T2(B) y T3(C), considerando de un estrato de 0-80 cm., UAAAN 2000.....	36
Fig. 4.2. Índice de Área Foliar para los tratamientos evaluados en el ciclo de cultivo, en el híbrido de maíz AN-447, UAAAN 2000.....	39
Fig. 4.3. Acumulación de Materia Seca (Kg/Ha) en Tallo para los tres tratamientos en el híbrido de maíz AN-447, UAAAN 2000.....	40
Fig. 4.4. Acumulación de Materia Seca (Kg/Ha) en Hoja para los tres tratamientos en el híbrido de maíz AN-447, UAAAN 2000.....	41
Fig. 4.5. Acumulación de Materia Seca (Kg/Ha) en Mazorca para los tres tratamientos en el híbrido de maíz AN-447, UAAAN 2000.....	42
Fig. 4.6. Acumulación de Materia Seca (Kg/Ha) Total para los tres tratamientos en el híbrido de maíz AN-447, UAAAN 2000.....	43
Fig. 4.7. Rendimiento de Grano en Kg/Ha, para los tratamientos evaluados en el híbrido de maíz AN-447, UAAAN 2000.....	44

**ÍNDICE DE CUADROS**

	Págs.
Cuadro 2.1. Descripción de las etapas fenológicas de la planta de maíz según Hanway (1971).....	10
Cuadro 3.1. Valores de parámetros físico-químicos del suelo donde se estableció el experimento.....	25
Cuadro 3.2. Calendario de riegos de auxilio aplicados a los tratamientos evaluados durante el ciclo de desarrollo de maíz híbrido AN-447.....	27
Cuadro 3.3. Características agronómicas del maíz híbrido AN-447.....	32
Cuadro 4.4. Comparación de las medias de rendimiento de grano mediante la prueba de la Diferencia Mínima Significativa (DMS). UAAAN 2000.....	44

## ÍNDICE DE CUADROS DEL APÉNDICE

	Págs.
Cuadro A1. Información climatológica mensual, promedio de la Estación de Buenavista, Saltillo, Coah. UAAAN 2000.....	56
Cuadro A2. Índice de área foliar (m <sup>2</sup> hoja m <sup>-2</sup> ) de plantas, observados en el campo, del maíz. UAAAN 2000.....	56
Cuadro A3. Contenido de humedad en base volumen para el Tratamiento 1 en el estrato de profundidad del suelo, durante el ciclo de cultivo. UAAAN 2000.....	57
Cuadro A4. Contenido de humedad en base volumen para el Tratamiento 2 en el estrato de profundidad del suelo, durante el ciclo de cultivo. UAAAN 2000.....	58
Cuadro A5. Contenido de humedad en base volumen para el Tratamiento 3 en el estrato de profundidad del suelo, durante el ciclo de cultivo. UAAAN 2000.....	59
Cuadro A6. Acumulación de materia seca (kg ha <sup>-1</sup> ) en tallo en las tres condiciones de humedad del suelo durante el ciclo del cultivo de maíz. UAAAN 2000.....	59
Cuadro A7. Acumulación de materia seca (kg ha <sup>-1</sup> ) en hoja en las tres condiciones de humedad del suelo durante el ciclo del cultivo de maíz. UAAAN 2000.....	60
Cuadro A8. Acumulación de materia seca (kg ha <sup>-1</sup> ) en mazorca en las tres condiciones de humedad del suelo durante el ciclo del cultivo de maíz. UAAAN 2000.....	60
Cuadro A9. Acumulación de materia seca total (kg ha <sup>-1</sup> ) en las tres condiciones de humedad del suelo durante el ciclo del cultivo de maíz. UAAAN 2000.....	61
Cuadro A10. Análisis de varianza para el peso seco en la hoja, para los muestreos realizados durante el ciclo del maíz híbrido AN-447. UAAAN 2000.....	62

Cuadro A11. Análisis de varianza para el peso seco en tallo, para los muestreos realizados durante el ciclo del maíz híbrido AN-447. UAAAN 2000.....	62
Cuadro A12. Análisis de varianza para el peso seco en mazorca, para los muestreos realizados durante el ciclo del maíz híbrido AN-447. UAAAN 2000.....	63

## INTRODUCCIÓN

En México, el maíz es el cultivo más importante, pues en los últimos diez años se sembraron en promedio ocho millones de hectáreas, lo cual representa alrededor de 38 por ciento de la superficie dedicada a la agricultura en el país, con una producción media anual de 12.512 millones de toneladas. De esta superficie, cerca de un millón de hectáreas es explotado bajo condiciones de riego y el resto bajo condiciones de temporal, el rendimiento promedio nacional es de 1.6 toneladas por hectárea. Este cultivo proporciona ocupación al 20 por ciento de la población económicamente activa del país.

Durante la última década, el déficit promedio anual de este grano fue del orden de 2.525 millones de toneladas, las cuales fueron importadas para satisfacer las necesidades internas de consumo; este diferencial de producción es debido principalmente a la presencia de fenómenos meteorológicos adversos que afectan su producción.

En el altiplano Norte de la República Mexicana, que está integrada principalmente por los estados de Coahuila, Durango, San Luis Potosí, Zacatecas y Aguascalientes, la superficie dedicada al maíz en esta región es de aproximadamente 120,000 has. de riego y 750,000 has. de temporal, con un rendimiento promedio de 3.1 y 0.8 toneladas por hectárea respectivamente. Los bajos rendimientos en las áreas de temporal es debido principalmente a la poca disponibilidad de agua, lo que conduce a pérdidas por sequía hasta en 50% del área, FAO (1993).

Con la finalidad de incrementar el rendimiento de este cultivo, las instituciones de investigación están realizando estudios de cómo influyen diferentes factores sobre el rendimiento de este, tales como: agua, nutrientes, variedades, plagas, clima, etc.

El propósito con que se realizó el presente trabajo, es el de estudiar la influencia del contenido de agua en el suelo sobre el índice de área foliar y producción de materia seca en el cultivo a través del ciclo vegetativo así como en los diferentes órganos de la planta, permitiéndonos efectuar un análisis más crítico entre estas variables y el rendimiento de grano.

### **OBJETIVO:**

Determinar la influencia de tres diferentes contenidos de humedad en el suelo sobre el índice de área foliar, la acumulación de materia seca en los diferentes órganos y etapas vegetativas así como también sobre el rendimiento.

### **HIPOTESIS:**

A mayor déficit de la humedad disponible del suelo menor acumulación de materia seca aérea, el rendimiento del grano en la parte aérea de la planta

## **II.-REVISION DE LITERATURA**

### **2.1. Generalidades del maíz.**

De acuerdo con el estudio de la FAO (1993), definen la planta de maíz como un sistema metabólico cuyo producto final son los granos, los que contienen básicamente grandes cantidades de almidón.

El maíz, junto con el trigo y el arroz, es uno de los cereales más importantes del mundo para sustentar la alimentación humana; además se le utiliza para la alimentación de animales, y es materia prima básica con lo que se producen almidón, aceite proteínas, bebidas alcohólicas, edulcorantes alimentación y desde hace poco como combustible.

Se reconoce a México como el lugar de origen del maíz. Lo anterior se desprende de la evidencia de haber encontrado en el valle de Tehuacan existencia de Maíz de unos 7000 años de antigüedad, ya que aún hoy en día se encuentra el “teosintle”, antecesor silvestre del maíz en algunas partes de nuestra república. La palabra “Maíz” en lenguaje indígena significa “lo que sustenta la vida”, FAO (1993).

### **2.2. Descripción de la planta.**

El maíz es una planta extremadamente variable con un gran número de variedades que difieren ampliamente en tamaño y forma (Delorit y Ahlgred, 1987). La planta desarrolla características y diferencias morfológicas en las fases vegetativas y de reproducción como consecuencia, de su evolución, de la selección natural y de la domesticación. Algunos genotipos se han adaptado a zonas ecológicas concretas, desarrollando características particulares, como por ejemplo la sensibilidad con respecto a la duración del día y a la

temperatura, que limitan a su adaptabilidad a zonas con diferente latitud y altitud (FAO,1993)

El maíz es considerado como un cereal y la planta es monoica y alógama ya que en la misma planta tiene los dos sexos y estos se encuentran separado. Su ciclo vegetativo es anual con periodos de crecimiento desde 110 días en variedades precoces hasta 200 días en variedades tardías. El maíz presenta tres tipos de raíces durante su crecimiento; las primeras después de la salida de la radícula son las seminales o embrionarias, después las secundarias o permanentes, por último de los nudos inferiores surgen las raíces nodales o adventicias, esto después del surgimiento de la espiga.

Su tallo o culmo esta formado por nudos y entrenudos los cuáles varían de 8 a 26 nudos y de 7 a 25 entrenudos, a lo largo del entrenudo presenta una depresión o canalito en cuya base nace una yema floral femenina.

Sus hojas son órganos vegetativos, las cuales nacen de los nudos, en distribución alterna, en forma lanceolada, con venaciones paralelinerves, constituida por: vaina, lígula, nervadura central, limbo con haz y envés, cuya longitud varía de 30 cm a 1 metro.

El maíz presenta dos tipos de flores ubicada en diferente lugar de la planta:

Flor estaminada. La cual es la inflorescencia conocida como espiga o flor macho, localizada en la parte superior de la planta, estructurada por un eje central o raquis y ramas laterales; en el raquis se localizan las espiguillas que se agrupan en pares (una sesil y una pedicelada), y cada espigilla presenta tres estambres con sus filamentos y anteras en cuyo interior están los granos de polen.

Las flores pistiladas. Son la inflorescencia cilíndrica conocida como flor hembra, las cuales emergen de las axilas de las hojas, presenta espiguillas que se agrupan en pares de 8 a 30 hileras, en un raquis central u olote. Cada flor está formada por un estigma, estilo y ovario. (Delorit y Ahlgred, 1987).

Por otra parte los granos de maíz se desarrollan mediante la acumulación de los productos de la fotosíntesis, la absorción a través de las raíces y el metabolismo de la planta de maíz en la inflorescencia femenina denominada espiga. El grano de maíz se denomina en botánica carióspside o cariópsis; cada grano contiene el revestimiento de la semilla, o cubierta seminal. Sus cuatro estructuras físicas fundamentales son: el pericarpio, cáscara, o salvado; el germen o embrión; y la piloriza, tejido muerto en que se unen el grano y el corozo (FAO, 1993).

Botánicamente, el maíz (Zea mays L.) pertenece a la siguiente posición taxonómica:



### 2.3. Valor nutritivo.

Todos los tipos de maíz que se producen en México tiene composición química similar, por lo que su valor alimenticio no presenta variaciones en cuanto a clase de materiales, una ración de 100 gr. de maíz blanco suministra 350 calorías, 8.6 gr. de proteína, 69.3 gr. de carbohidratos, 159 mg de calcio, 2.3 mg de hierro, y en pequeñas proporciones, vitaminas B1 y B2.

## **2.4. Tipo de maíz y sus usos.**

Una clasificación común de las diferentes variedades de maíz es la siguiente:

2.4.1. Dentado.- Este es el maíz de mayor importancia comercial. Ocupa casi el 73% de la producción global. Se utiliza para ganado y fabricación de productos industriales como almidón, aceite, alcohol, jarabes de maíz, etc. Consiste de un núcleo harinoso con inclusiones laterales de almidón duro. Debido a que la parte alta del grano contiene colapso (Esto quiere decir cuando el grano no tiene la suficiente humedad y sufre una contracción) durante la maduración, que produce la apariencia dentada característica.

2.4.2. Duro.- Es similar al maíz reventador pero de grano más grande. Este grano es cultivado en lugares en donde se requiere tolerancia al frío o donde las condiciones de germinación y almacenamiento son pobres. Ocupa aproximadamente el 14% de la producción.

2.4.3. Blanco.- Es la variedad favorita para consumo humano. Consiste de granos suaves que son fácilmente molidos o cocinados para preparar alimentos como tortillas, atole, tamales, etc. Ocupa aproximadamente el 12% de la producción global.

2.4.4. Reventador.- Consiste de un grano esférico y pequeño con un núcleo harinoso (suave) y una cubierta cristalina (dura). La humedad atrapada en la parte harinosa se expande cuando se aplica calentamiento y estalla a través de la cubierta dura, creando las palomitas de maíz. Ocupan menos del 1% de la producción mundial.

2.4.5. Dulce.- Tiene un endospermo constituido principalmente de azúcar, con muy poco almidón. La producción anual es de menos del 1% del total, pero tiene un alto valor comercial por su utilidad como vegetal procesado.

## **2.5. Fenología.**

Bolaños y Edmeades, (1993), definen a la fenología del cultivo por los cambios periódicos que éste experimenta durante su desarrollo por efectos del medio ambiente.

Villalpando, (1990), menciona sobre el conocimiento de las etapas fenológicas de los cultivos, es de suma importancia debido a que permite planear la realización de las actividades agrícolas como son los riegos, la aplicación de fertilizantes e insecticidas. Este mismo autor considera que la caracterización de cultivos es importante la definición de los conceptos de fase y etapas fenológicas, por tal razón, se definen a continuación:

Fase fenológica: Representa cada uno de los rasgos o fenómenos periódicos que presentan los vegetales.

Etapas fenológicas: Es el intervalo comprendido entre dos fases sucesivas como por ejemplo, la etapa de floración y amarre del fruto.

Villalpando et al. (1991), menciona que la siembra, emergencia, octava hoja, floración, estado lechoso, estado masoso y madurez fisiológica son las principales fases fenológicas del maíz. Asimismo indica que el monitoreo debe realizarse cuando menos una vez por semana, a la misma hora del día y en 40 plantas seleccionadas, marcadas y en 4 repeticiones.

Azzi (1971), menciona que el registro de las fechas de cada una de las fases fenológicas de la época de siembra a la cosecha son parte primordial para la determinación de los factores agrotécnicos que han influido en el rendimiento de los cultivos.

Denmead y Shaw (1960), describen la fenología del cultivo principalmente en dividir el crecimiento en 3 etapas las cuales se describen a continuación:

**Etapa vegetativa.** En general comprende el desarrollo y crecimiento de la plántula desde la siembra hasta la diferenciación floral, es decir, antes del 50 por ciento de la antesis o a la visible emergencia de espigas. La etapa vegetativa consta de dos ciclos o fases. En la primera se forman las primeras hojas y el desarrollo es ascendente, la producción de materia seca es lenta y finaliza con la diferenciación floral de los órganos de reproducción. En el segundo ciclo termina con la emisión de los estigmas.

**Etapa de floración.** Esta etapa comprende desde la emergencia de los estigmas hasta 5 días después de que el 75 por ciento de las plantas alcanzaron floración o antesis (un período de 17 días) o bien de 8 días antes del 50 por ciento de antesis a 8 días después. Esta etapa se caracteriza por el incremento lento del peso de las hojas y otras partes de la flor. El principal fenómeno de esta etapa es la fecundación de los óvulos a través del estigma.

**Etapa de llenado de grano.** Este período considera a los días transcurridos después de la floración hasta la fecha promedio de madurez fisiológica, (un período de 30 días mas allá de la floración). Este período se caracteriza por un rápido aumento en el peso de los granos y abatimiento del peso en las hojas y demás órganos (culmo, espigas y raquis). El principal fenómeno que ocurre en esta etapa es la maduración fisiológica de la semilla.

Tanaka A. y Yamaguchi J. (1984), establecen que el proceso de crecimiento de las plantas de maíz puede ser dividido en cuatro fase, que son las siguientes:

**a).- Fase vegetativa inicial:** Brotan las hojas y posteriormente se desarrollan en sucesión acrópeta (de abajo hacia arriba). La producción de materia seca es lenta. Esta fase termina al iniciarse ya sea la diferenciación de los órganos reproductivos o la elongación de los entrenudos, o bien en ambos casos.

**b).- Fase vegetativa activa:** Se desarrollan las hojas, el culmo y el primordio de los órganos reproductivos, primeramente ocurre un incremento activo del peso de las hojas y posteriormente del culmo. Esta fase termina con la emisión de los estigmas.

**c).- Fase inicial de llenado de grano:** El peso de las hojas y del culmo continúa incrementándose a una velocidad mayor. Continúa el peso de las espatas y del raquis y el peso de los órganos se incrementa lentamente. A esta fase se le puede considerar como transitoria entre la vegetativa y la de llenado de grano.

**d).- Fase de llenado activo de grano:** Se presenta un rápido incremento en el peso de los órganos, que va acompañado por un ligero abatimiento en el peso de las hojas, culmo, espatas y raquis.

Una descripción más detallada del desarrollo de una planta de maíz es dada por Hanway (1971) la cual se muestra en el cuadro 2.1.

**Cuadro 2.1. Descripción de las fases fenológicas de la planta de maíz según Hanway (1971).**

<b>FASES</b>	<b>ETAPAS</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
0 (VE)	0	Emergencia de la planta del suelo; al emerger la punta del coleóptilo se detiene la elongación del primer entrenudo (mesó filo).
.05 (V2)	7	Dos hojas completamente emergidas.
1.0 (V4)	14	Cuatro hojas completamente emergidas. Meristemo apical ubicado debajo de la superficie del suelo.
1.5 (V6)	21	Seis hojas completamente emergidas. Entrenudo por debajo de la 5ta, 6ta y 7ta hoja, las cuales muestran elongaciones. Punto de crecimiento ligeramente arriba del suelo.
2.0 (V8)	28	Ocho hojas completamente emergidas. Desarrollo rápido de hojas, tallo y espigas. Punto de crecimiento a 5-8 cm del suelo.
2.5 (V10)	35	Décima hoja completamente emergida; crecimiento rápido de espiga; fuerte demanda de agua y nutrientes.
3.0 (V12)	42	Doce hojas completamente emergidas. Se determina el número potencial de óvulos. El tamaño potencial de la mazorca se relaciona con el tiempo entre etapa 3 y la 5. En variedades precoces este período es corto.
3.5 (V14)	49	Hoja número 14 completamente emergida. La espiga esta por alcanzar su tamaño máximo.
4.0 (V16)	56	Hoja 16 completamente emergida. Un estrés en esta etapa retrasara la floración.
5.0 (VT Y/O R1)	66	Floración. Liberación de polen, emergencia de los estigmas. Terminan de emerger hojas y espigas. Termina la elongación de los entrenudos. Los estigmas siguen creciendo hasta que son fecundados sus respectivos óvulos.
6.0 (R2)	78	Grano acuoso (ampolla). coleóptilo, primera hoja y radícala, se han iniciado. 85 % de humedad.
7.0 (R3)	90	Estado lechoso del grano. (80 % de humedad). Estado masoso del grano. Cuatro hojas embrionales presentes. 70 % de humedad.
8.0 (R4)	102	Inicio del estado dentado.
9.0 (R5)	114	Estado dentado 55% de humedad.
10.0 (R6)	126	Madurez fisiológica. La acumulación de materia seca ha cesado al formarse la capa de abscisión o capa negra. Máxima calidad de la semilla. 30-35 % de humedad. Totomoxtle y algunas hojas comúnmente pierden color verde

## **2.6. Condiciones ecológicas y edáficas.**

El maíz tiene capacidad de adaptación a diferentes condiciones ecológicas, se le localiza desde 0 hasta 3000 m.s.n.m. como en diferentes tipos de suelo, es un cultivo de crecimiento rápido que rinde más con temperaturas moderadas (entre 20 y 30°C), y un suministro bastante de agua (entre 800 y 1000 mm.).

## **2.7. Factores Climatológicos.**

Los efectos climáticos más importantes que determinan el buen desarrollo de la planta en las diferentes etapas que se mencionan a continuación.

### **2.7.1. Luz, intensidad y duración.**

La radiación es un proceso físico mediante el cual se trasmite energía, y sin ella sería difícil la vida de las plantas, ya que es necesario para el crecimiento y desarrollo de las mismas. La radiación es generada por el sol en más de un 99 por ciento y se da por medio de la duración e intensidad de la luz (Romo y Arteaga, 1989).

La luz se mide en intensidad de la energía solar y duración del día o fotoperiodo. Respecto a la intensidad existen dos tipos de plantas: eficientes y no eficientes. Las plantas eficientes son aquellas capaces de captar la energía disponible para la fotosíntesis y convertirla en materia seca, utilizando la ruta C4, como es el caso del maíz, sorgo, y las plantas no eficientes cuya conversión la realizan por la ruta C3. El fotoperiodo influye en el desarrollo del maíz no en la velocidad de crecimiento ni en la fotosíntesis, sino en la diferenciación y floración pero existen muchos híbridos que son insensibles al fotoperiodo (Francis, 1971).

Francis et al (1968), al evaluar 40 líneas y dos híbridos de maíz para conocer la reacción a la longitud del día, algunos de estos no pudieron ser clasificados como sensibles o insensibles basándose en la diferenciación y madurez, esto hace suponer que puede incorporarse en el maíz la característica de insensibilidad al fotoperiodo.

El estudio realizado por Struik (1983), para conocer el efecto del fotoperiodo en la fenología de la planta, producción y calidad de forraje del maíz, encontró que el fotoperiodo tuvo poco efecto, sin embargo, detectaron diferencias significativas para el desarrollo vegetativo y reproductivo, pero no en la acumulación de materia seca al considerar toda la planta, así por ejemplo; el fotoperiodo largo incrementa el número de granos por mazorca.

El maíz es considerado una planta de día corto con un amplio rango de adaptación, sin embargo, hay estudios que indican, que algunos materiales son insensibles al fotoperiodo. Francis (1971), no encontró sensibilidad al fotoperiodo cuando se sometió al maíz entre 9 y 16 horas de luz a 21 °C.

Tollenaar y Hunter (1983), encontraron que la iniciación del número de hojas esta influenciado entre la quinta y séptima hoja y el fotoperiodo entre la cuarta y séptima hoja concluyendo que el fotoperiodo y la temperatura afectan el número de hojas, por su parte Griffiths (1985), menciona que la radiación solar es importante en la fotosíntesis y la floración de los cultivos, y que cuando ésta es insuficiente produce más desarrollo foliar y puede llegar a atrofiar el sistema radicular.

### **2.7.2. Influencia del Clima.**

Para introducir cualquier tipo de cultivo en una región determinada se dependerá en gran medida de las condiciones meteorológicas y climáticas a la que se encontrara expuesto durante su ciclo. Los efectos climáticos más

importantes que determinan el buen desarrollo de la planta en las diferentes regiones son: Temperatura, Luz, Humedad y Suelo.

### **2.7.3. Temperatura.**

Uno de los principales factores climáticos limitantes en la producción de cultivos, es la temperatura. Tradicionalmente este elemento climático se ha manejado usando sus valores promedio, ya sea mensual o anual. Debido a que todos los procesos fisiológicos tales como la fotosíntesis la respiración y el crecimiento de las plantas, se llevan a cabo dentro de ciertos límites de temperatura relativamente estrechos, un promedio, ya sea mensual o anual para fines agrícolas, no refleja la variación que se presenta a través del año o durante el ciclo de un cultivo. Para que el uso de la temperatura tenga significado sobre el desarrollo de los cultivos, éste tiene que expresarse en forma de parámetros agroclimáticos, tales como: Unidades Calor, Unidades Frío, etc. La determinación de estos parámetros, es básica en toda la caracterización del tipo agroclimático (Torres 1986; Villalpando 1984).

Conociendo la cantidad y distribución de UC en una región, es posible determinar la adaptación y la probabilidad de éxito, tanto de especies anuales como de especies perennes, además de otras aplicaciones, como la predicción de etapas fenológicas, ya que hay reportes de que una planta para completar su ciclo vegetativo necesita acumular cierto número de grados de temperatura (Villalpando, 1984; Torres 1986).

### **2.8. Requerimientos de Agua del Maíz.**

Palacios (1994), dice para que el cultivo de maíz pueda desarrollarse en forma normal necesita agua en cantidad considerable que puede ser proporcionada por la lluvia en algunos lugares y en otros es necesario complementar sus necesidades mediante el uso del riego.

Para que el cultivo tenga un desarrollo óptimo, no solo requiere de cierta cantidad de agua, si no que su aplicación debe de dosificarse adecuadamente durante el tiempo que dura su ciclo vegetativo, que va desde la siembra hasta su maduración. Si por períodos prolongados el agua escasea, el rendimiento de planta disminuye proporcionalmente al déficit de humedad que sufra, pudiendo llegar a marchitarse y morir prematuramente si la escasez de agua se prolonga. Por otra parte, cuando la cantidad de agua que recibe es excesiva y el sobrante no puede ser fácilmente drenado, también el rendimiento se afectará, pudiendo ser nulo si la humedad afecta el intercambio de oxígeno y por lo tanto se vería afectada la respiración de las raíces.

Para lograr cosechas óptimas, no solamente debe cuidarse de proporcionarse el agua en la cantidad y oportunidad adecuada, otros factores que influyen en el rendimiento también deben ser tomados en consideración, como la selección de semillas más apropiadas, preparación del terreno, fertilización, control de plagas y enfermedades, así como otras actividades que garanticen un buen desarrollo del cultivo.

Aldrich (1974), menciona que el abastecimiento del agua es uno de los factores que limitan el crecimiento y producción de maíz, el cultivo requiere aproximadamente 750 litros de agua por kg. de grano producido ya que las lluvias que registran entre el período de siembra y la madurez del grano, difícilmente alcanza para suministrar los 400 a 610 mm de agua que se necesitan para producir de 6,200 a 10,800 Kg. /ha. en un ciclo de crecimiento de los 100 a 130 días.

La cantidad óptima de lluvia es de 550 mm, la máxima de 1000 mm. Las variedades precoces necesitan menos agua las tardías.

Bear (1969) y Robles (1990), señalan que los requerimientos de humedad, son diferentes, si se consideran variedades precoces (80 días aproximadamente) o variedades tardías (aproximadamente de 140 días). Bajo condiciones de temporal y con variedades adaptadas, se pueden tener buenos rendimientos con más o menos 500 mm de precipitación pluvial distribuidos durante el ciclo vegetativo. Existen regiones con variedades criollas que prosperan con un poco menos de 500 mm pero no con menos de 400 mm. Bajo condiciones de riego, en términos generales se recomienda un riego para siembra y tres riegos de auxilio, cuya suma total en láminas de agua de riego implican alrededor de 20 cm de lámina en presiembra y 10 cm de lámina para cada riego de auxilio, o sea más o menos 50 cm (500 mm) en total. Las variedades precoces requieren menos agua que las variedades tardías.

## **2.9. Estrés Hídrico.**

Robbins y Domingo (1953), mencionan que la etapa de aparición de estigmas en el maíz, es la más sensible al déficit hídrico ya que se disminuye significativamente la acumulación de materia seca y por consecuencia el rendimiento de grano.

Vaadia (1984), señala que el estrés hídrico limita el intercambio de vapor de agua y CO<sub>2</sub>, afectando la producción de materia seca. De ser muy severo el stress hídrico puede ocasionar la muerte de la planta.

Levitt (1972), dice que el estrés hídrico a que esta expuesta una planta en forma natural se llama sequía, pero cuando la planta es estresada artificialmente induciendo pérdidas de agua por evaporación, se habla de desecación. Un estrés que es capaz de inducir la pérdida de agua celular por efecto de la concentración de solutos es llamado stress osmótico.

Rivera (1988), señala que todos los cultivos en general están sujetos a algún grado de estrés hídrico durante su ciclo vegetativo. Aun aquellos cultivos que se desarrollan en suelos húmedos desarrollan déficits moderados de agua en días calurosos. Lo anterior ocurre por el equilibrio hídrico interno y el grado de stress hídrico ambiental dependen de la tasas de absorción de agua y transpiración. No es sorprendente que las tasas de estos procesos controlados por distintas series de factores no estén perfectamente sincronizadas, ya que siempre existe un desfase entre la absorción de agua por las raíces y la transpiración de las plantas, debido a que existe alta resistencia al movimiento del agua a través de la planta.

Kramer y Duke (1974), definen al estrés hídrico como aquellas deficiencias de humedad en el medio de la planta que reducen su crecimiento al modificar los procesos fisiológicos y las condiciones que controlan su crecimiento.

Rodríguez (1985), detectó reducciones hasta de 50 por ciento en el rendimiento de grano, dependiendo principalmente de la intensidad del estrés hídrico, además reporta reducciones hasta un 25 por ciento del rendimiento cuando el estrés se presenta en la etapa de desarrollo vegetativo y de 20 por ciento cuando ocurre en el llenado de grano.

Kaliappa et al. (1976), cita en estudios realizados en la India, la aplicación del riego durante el ciclo vegetativo del maíz al 25, 50 y 75 por ciento de abatimiento de la humedad disponible del suelo o combinando dos niveles de humedad durante la fase de desarrollo vegetativo y la fase de madurez. El riego al 75 por ciento de abatimiento de la humedad disponible durante la fase vegetativa y al 50 por ciento durante la fase de madurez proporcionó los rendimientos más altos de grano, con un consumo de agua de 382 mm.

Gandara (1989), al evaluar el efecto de diferentes niveles de sequía inducida en tres etapas fenológicas del desarrollo sobre el rendimiento de grano en maíz y sus componentes. Los resultados muestran que el componente del rendimiento, que tiene más efecto sobre la producción de grano fue el número de granos por hilera.

Eck (1986), realizó un experimento en maíz para evaluar la influencia del déficit hídrico en dos etapas fenológicas sobre el rendimiento del grano y sus componentes. En unos tratamientos el déficit fue impuesto de dos a cuatro semanas en la etapa vegetativa y en otros en la etapa de llenado de grano. El déficit de agua impuestos durante 41 días después de la siembra, redujo el rendimiento de materia seca de la hoja, tallo y mazorca. El déficit durante el llenado del grano no afecta el rendimiento de materia seca en la hoja y tallo pero sí el de mazorca.

El número de granos no fue afectado por el déficit hídrico en el llenado del grano, a menos que el déficit haya sido impuesto en períodos tempranos, de este modo las disminuciones en el rendimiento del grano son proporcionales en las reducciones de peso del grano. Eck concluye que no obstante que algunas veces la eficiencia en el uso del agua aumentó ligeramente cuando las plantas fueron sujetas a déficit hídrico, los resultados de esta investigación indican que el riego limitado en el maíz es factible en el sudeste de las altas planicies de USA.

Harder et al (1982), mencionan que la sensibilidad del desarrollo del grano de maíz a la ocurrencia del estrés hídrico está relacionado a la etapa fisiológica cuando éste ocurra y es importante en la determinación final del rendimiento de grano. Por lo cual el período en que ocurra la precipitación o el riego, llega a ser un factor económico importante para producción del maíz.

## 2.10. Evapotranspiración.

Gavande (1982), la define como la evaporación del agua del suelo y la transpiración del agua de la superficie de las hojas de las plantas.

El riego nos 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.

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

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 la medición cada hora de la radiación neta por hora, el flujo de calor sensible y el flujo de calor en el suelo, el flujo de evaporación fue determinado como residuo de la ecuación del balance de energía de la superficie.

Blaney (1974), establece que ambos fenómenos, transpiración y evaporación obedecen a las mismas causas físicas. Esto es, obedecen a diferencias de presión de agua entre las hojas o el suelo y la atmósfera.

Para cada grano evaporado, se requiere 540 calorías, el sol es el que provee dicha energía, por lo que a mayor cantidad de irradiación solar, las pérdidas por transpiración o evaporación serán mayores. Si la diferencia de presión de vapor de agua es alta, entonces la evapotranspiración ocurre

con mayor intensidad, pero si es baja entonces se considera un día húmedo y la evapotranspiración es lenta.

Jensen et al (1970), señala que la separación de la evapotranspiración en evaporación del suelo y transpiración del cultivo y sus interacciones son problema importante en la conservación y manejo del agua. En un enfoque empírico para la predicción de la ET, las respuestas del cultivo del sistema del suelo planta atmósfera y el manejo de factores más importantes como el coeficiente para el cultivo en diferentes etapas de crecimiento, las necesidades actuales de agua del cultivo son obtenidas por multiplicación de la ET de referencia por etapa y el coeficiente específico del cultivo.

Ritchie (1973), menciona que en la predicción de tasa de evaporación de los cultivos, es importante considerar la influencia de la condición del agua sobre la tasa de evaporación actual con relación a la tasa potencial. El realizó un experimento para determinar la tasa de evaporación actual de maíz influenciado por el contenido de humedad del suelo y la tasa de evaporación potencial. Encontró que las tasas de evaporación son totalmente independientes del contenido de humedad de suelo para todas las condiciones de evaporación potencial. Durante la estación de crecimiento del cultivo fueron removidos más de 200 mm de lámina de agua del perfil de suelo de 20 cm de profundidad. Mediciones de resistencia a la difusión y potencial hídrico de la hoja indicaron que al menos el 80 % de la humedad aprovechable estuvo disponible para la planta.

### **2.11. Materia Seca.**

Tanaka A y Yamaguchi J. (1984), menciona que la materia seca es la resultante final del proceso fotosintético y la respiración, en la cual parte de los carbohidratos producidos en este proceso son utilizados como material de construcción para la estructura de la planta.

Acock et al (1979), menciona que en la mayoría de los casos la fijación de CO<sub>2</sub> muestra una dependencia hiperbólica de la intersección de la luz.

Acock y Allen (1985), sugirieron que plantas tienen el siguiente orden de prioridad para el uso del carbono: sobre vivencia, reproducción, crecimiento de órganos presentes y almacenamiento de exceso de carbono para uso futuro.

Doorenbos y Kassam (1979), dicen que la planta de maíz tiene una alta eficiencia en el uso del agua en cuanto a la producción de materia seca, y entre los cereales es potencialmente el cultivo de grano de mayor rendimiento.

Rojas (1972), señala que la planta evapora agua como cualquier otro sistema físico, además de las necesidades hídricas que requiere para las demandas metabólicas, debe cubrir las demandas evaporativas a través de la epidermis en la transpiración. En condiciones normales una planta de maíz absorbe durante su ciclo de vida alrededor de 300 kilogramos de agua, de los que utiliza en procesos metabólicos aproximadamente un dos por ciento y transpira el resto.

Frey (1981), menciona que el rendimiento del grano en maíz es la integración de la materia seca en el tiempo. La tasa y maduración del llenado de grano, ha sido sugerida por Frey como el factor el cual debe ser mejorado a través de selección y resulta en el mejoramiento del rendimiento.

Reed et al (1988). Estudiaron en el cultivo del maíz el efecto del sombreado sobre la partición de materia seca, el contenido de nitrógeno, el número y rendimiento de grano. Las plantas de maíz que crecían en el campo fueron sombreadas durante la etapa vegetativa. Las plantas control

no fueron sombreadas. Cuando las plantas fueron sombreadas durante la floración, disminuyó la fotosíntesis y se incrementó el aborto de flores en relación con el tratamiento control, sin embargo, la concentración de nitrógeno fue más alta en los granos restantes. La reducción en el abastecimiento de nitrógeno hacia el jilote debido al sombreado, no fue un factor limitante para determinar el número de granos.

Villalpando (1984), utilizó el método de la FAO para estimar la tasa de acumulación de materia seca en maíz durante el periodo de mayo a septiembre, alcanza una acumulación de 26.5 ton/ha de biomasa seca total en un ciclo de 150 días de siembra a madurez fisiológica; al multiplicar este valor por el índice de cosecha (0.4), se obtiene un rendimiento potencial de 10.6 ton/ha, el cual se obtendrá sin ningún tipo de restricción de suelo, de protección al cultivo, de manejo, de fertilidad o restricciones agroclimáticas.

## **2.12. Rendimiento.**

Poey (1978), menciona que el rendimiento de grano debe interpretarse, de acuerdo a la eficiencia de procesos metabólicos que logren la máxima producción, translocación y acumulación de sólidos en los granos con la menor interacción posible del medio ambiente.

Yoshida (1972), menciona que un alto rendimiento de grano puede obtenerse solamente con una apropiada combinación de variedad, ambiente y prácticas agronómicas; para lo cual es necesario el entendimiento de los procesos fisiológicos involucrados en la producción de granos, tales como crecimiento vegetativo, formación de órganos de almacenaje y llenado de grano; sugiere que se puede hacer mejoramiento para obtener un incremento mayor en el rendimiento de grano bajo una condición dada. Se han utilizado algunos parámetros fisiológicos para medir la eficiencia de producción como el índice de cosecha (IC) que

considera al tejido vegetativo como una fábrica que elabora materia seca que será finalmente acumulada en los granos.

Donald y Hamblin (1976), consideran que el índice de cosecha, así como el rendimiento es sensitivo al medio ambiente y es de gran importancia la densidad de población, disponibilidad de agua y suministro de nitrógeno.

Tanaka y Yamaguchi (1981), citan que para un alto rendimiento de grano se debe mantener un alto número de granos por unidad de área sembrada; combinado con un alto IAF, para lo cual el porcentaje de plantas con mazorcas y número de granos por mazorca deberán ser altos en altas densidades de siembra.

Poey (1978), señala que el número y peso del grano y el número de mazorcas por planta son los componentes del rendimiento más importantes, donde el máximo rendimiento por hectárea dependerá de un peso óptimo de granos que puedan producirse por planta para una densidad de población óptima y factores ambientales; el número de granos en cada hilera, así mismo, el número de mazorcas que produzca cada planta influirá también en el potencial de número de granos por planta.

Fisher y Turner (1978), analizaron la productividad de las plantas en términos de agua total transpirada, la eficiencia con que esta es usada (gramos de materia seca producida por agua transpirada) y el índice de cosecha (relación entre rendimiento económico y la materia seca total), encontraron que el rendimiento bajo condiciones limitantes de humedad estuvo determinado por la transpiración total e índice de cosecha.

### **2.13. Índice de Área Foliar.**

González (1990), menciona que el área foliar es uno de los parámetros más importantes en la evaluación del crecimiento de las plantas, de ahí que la determinación adecuada del mismo sea fundamental para la correcta interpretación de los procesos de desarrollo de un cultivo. Existen diferentes métodos para estimar el área foliar, sin embargo, la mayoría de éstos se aplican a las hojas frescas.

Crofts et al (1971) conciben el índice de área foliar como una medida de frondosidad de la planta mediante la cual se puede conocer la proporción de superficie expuesta a la luz, en la cual podrá ocurrir la fotosíntesis.

Gerakis y Papacosta (1979), al trabajar con maíz y analizar los parámetros de crecimiento en función de la densidad de población, observaron que por unidad de área el peso seco y IAF se incrementaron a medida que la densidad de población, y bajo estas condiciones se obtuvo la máxima tasa de crecimiento del cultivo.

Francis et al (1968), determinaron el área foliar de hojas de maíz, y menciona que el primero que utilizó la ecuación de largo por ancho máximo por 0.75, fue Montgomery en 1911.

Wayne (1984), estimó mediciones longitudinales hechas desde la base del pecíolo hasta el ápice de las hojas; paralelamente el área foliar de la hoja fue medida con un medidor automático y encontró que las mediciones lineales a través de la vena principal de la hoja se correlacionó significativamente con el valor determinado por el medidor del área foliar.

### III.- MATERIALES Y METODOS

#### 3.1. Características del Área de Estudio.

##### 3.1.1. Localización del Sitio Experimental.

La presente investigación se llevó a cabo en terrenos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada en Buenavista, municipio de Saltillo, Coahuila y cuyas coordenadas geográficas son 25° 21'20" de Latitud Norte y 101° 01'30" de Longitud Oeste y a una altitud media sobre el nivel del mar de 1743 m. En el área conocida como Jardín Hidráulico del Departamento de Riego y Drenaje.

##### 3.1.2. Clima.

De acuerdo al sistema de Köppen modificado por E. García (1964), el clima de la región comprendida para Buenavista, Saltillo, Coah., es representado por Bso K(x') (e); donde los términos significan:

Bso.- Es el más seco de los BS, con un coeficiente de P/T (22.9).

K.- Templado con verano cálido, temperatura media anual entre 12 y 18°, la del mes más frío entre -3 y 18°C y la del mes más caliente de 18°C.

x'.- Régimen de lluvia intermedio entre verano e invierno.

La precipitación media anual es de 345 milímetros.

Los meses lluviosos en el año son de junio a septiembre, siendo el más lluvioso el mes de junio.

La evaporación promedio mensual es de 178 milímetros la más intensa, siendo la más intensa entre los meses de mayo y junio con 236 y 234 mm respectivamente.

### 3.1.3. Suelo.

El suelo del terreno experimental es profundo, presentando buena agregación y sin problemas de salinidad.

#### 3.1.3.1. Propiedades Físicas y Químicas del Suelo.

Los análisis físicos y químicos del suelo del sitio experimental, se determinaron por estratos de 20 cm. hasta una profundidad de 120 cm. Los resultados del cuadro 3.1. indican que la textura migajón- arcillo- arenosa hasta una profundidad de 60 cm., al incrementarse esta la textura tiende a ser más arcillosa. Los contenidos de nitrógeno, fósforo y potasio son elevados en los estratos superiores.

Cuadro 3.1. Valores de parámetros físico-químicos del suelo donde se estableció el experimento.

Características	Estratos del perfil (cm)				
	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100
Físico-químicas					
Materia orgánica (%)	2.61	3.12	2.10	2.01	0.81
Nitrógeno Total. (%)	0.13	0.16	0.11	0.10	0.04
Fósforo Aprov. kg/ha	112.50	102.57	81.13	65.70	38.25
Potasio Inter. Kg/ha	216.00	382.50	153.00	49.5	27.00
pH	6.44	6.49	6.40	6.21	6.24
Carbono Total (%)	68.13	65.68	68.13	59.31	61.76
C.E. (ds/m)	1.20	0.81	0.60	0.95	0.83
Da (gr. cm-3)	1.28	1.09	1.10	1.08	1.24
Arena (%)	56.40	57.60	49.60	41.60	41.60
Limo (%)	15.60	16.00	16.00	20.00	18.00
Arcilla (%)	28.00	26.40	34.40	38.40	40.40
CC (%vol)	27.82				
PMP(%vol)	11.21				
Textura	MAA			MA	A

MAA. = Migajon arcilloso-arenoso  
MA... = Migajon –arcilloso  
A..... = Arcilloso

### **3.2. Tratamientos Evaluados.**

El estudio consiste en evaluar tres condiciones de humedad de suelo con la finalidad de someter a la planta a diferentes grados de estrés hídrico durante su ciclo vegetativo, para así evaluar su efecto sobre el índice de área foliar, en la planta, la acumulación de materia seca en la parte aérea de la planta y rendimiento de grano. Estos tratamientos son:

Tratamiento 1. El cultivo se desarrolló bajo condición de menor déficit hídrico en el suelo, (25% Humedad Abatida) con la finalidad de satisfacer las necesidades máximas de consumo de agua por la planta, para lo cual se aplicaron 8 riegos durante el desarrollo del cultivo, la lamina y las fechas de aplicación se presentan en el cuadro 3.2.

Tratamiento 2. Se aplicaron 6 riegos durante el desarrollo del cultivo, el abatimiento de la humedad es de 50% la distribución, lamina y las fechas de aplicación se presentan en el cuadro 3.2.

Tratamiento 3. En este tratamiento el abatimiento es del 75% de la humedad aprovechable en este se aplicaron 4 riegos, la distribución, lámina y fechas de aplicación se presentan en el cuadro 3.2.

A los tres tratamientos se les aplicó un riego de 150mm, siete días antes de la siembra, el día 13 de mayo del 2000.

Cuadro 3.2. Calendario de riegos de auxilio aplicados a los tratamientos evaluados durante el ciclo de desarrollo de maíz híbrido AN-447.

<b>TRATAMIENTO 1.</b>			
<b>N-º RIEGOS.</b>	<b>DDS</b>	<b>ETAPAS</b>	<b>LAMINA DE RIEGO MM.</b>
1	40	V8	90
2	47	V8	30
3	57	V10	96
4	71	V12	80
5	75	VT	52
6	97	R1	144
7	113	R2	96
8	125	R3	22

<b>TRATAMIENTO 2.</b>			
<b>N-º RIEGOS.</b>	<b>DDS</b>	<b>ETAPAS</b>	<b>LAMINA DE RIEGO MM.</b>
1	40	V8	85
2	50	V10	43
3	71	V12	80
4	75	VT	52
5	103	R1	71
6	119	R2	38

<b>TRATAMIENTO 3.</b>			
<b>N-º RIEGOS.</b>	<b>DDS.</b>	<b>ETAPAS.</b>	<b>LAMINA DE RIEGO MM.</b>
1	51	V10	10
2	75	VT	52
3	98	R1	110
4	114	R2	116

### **3.2.1. Distribución de los Tratamientos en el campo.**

Para facilitar la aplicación del riego, cada tratamiento fue representado por una sola parcela ó unidad experimental de 81 m<sup>2</sup> (9m\*9m).

### **3.2.2. Labores de Cultivo.**

El riego de presiembra se realizó el 13 de mayo, aplicándose una lámina de 15 cm. , quince días antes de esta actividad se subsuleo y barbecho el suelo.

La siembra del híbrido AN-447 se efectuó el 22 de mayo del 2000, previamente se rastreó el suelo, se sembraron 15 plantas por metro lineal a una separación de 0.85 m, para posteriormente aclarar, la emergencia fue el día 29 de mayo.

Al momento de la siembra se fertilizó con la dosis 100-100-00, siendo la fuente el sulfato de amonio ( 20.5-0-0) y súper fosfato simple. El día 16 de Junio se efectuó el aclareo de plantas, dejando 5 plantas por metro lineal para una población de 58, 500 pl/ha.

La labor de aporqué se efectuó el día 5 de Julio, cuando el cultivo se encontraba en la etapa de once hojas (V11), previo a la labor se realizó la segunda incorporación de fertilizante con la dosis 100-100-00, como fuente el sulfato de amonio (20.5-0-0) y el súper fosfato simple.

Las labores de deshierbe se hicieron desde el inicio de la emergencia, en esta fase se aplicó paraquat 200 con una dosis de 1.5/ha. , posteriormente el día 26 de junio se aplicó GUSATION M-20 para el control del gusano cogollero, una dosis de 3 ml/ 15 lit. de agua, el día 7 de julio se hicieron contras en las parcelas para evitar el escurrimiento del agua durante el riego y la lluvia, el 12 de julio, nuevamente se aplicó insecticida CIPERMITRINA 2ml x lt, y el 13 de julio se aplicó GUSATION M-20 en dosis de 3 ml/15 lit.

### 3.2.3. Control de Riegos.

La aplicación de los riegos fue una vez que se presentaron las condiciones de humedad permitidas para los tratamientos, los estratos de 0-20 hasta llegar a 130 cm se utilizaron como indicador de riego. Para determinar la lámina de riego a aplicar se utilizó la siguiente ecuación:

$$LR = \frac{\sum_{i=1}^n (HS_{cc_i} - HS_{x_i}) P_i}{100}$$

donde:

Lr = Es la lámina de riego por aplicar ( cm)

i = número de estratos ( 6 de 0 a 120 cm)

HS<sub>cc<sub>i</sub></sub> = Contenido de humedad en porcentaje volumen a capacidad de campo en el estrato i

HS<sub>x<sub>i</sub></sub> = Contenido de humedad en porcentaje volumen en el momento de muestreo en estrato i.

P<sub>i</sub> = Profundidad del estrato i (20 cm).

Los riegos se efectuaron por aspersión, cada parcela contaba con 4 aspersores colocados en las esquinas de la parcela, y regaban sectorialmente en un ángulo de 90°, el alcance de cada aspersor era de 10 m. Se colocaron pluviómetros en el interior de la parcela para llevar un mejor control de la cantidad de agua aportada por los aspersores.

### **3.3. Diseño Experimental.**

Para evaluar estadísticamente las variables, se consideró que los tratamientos estaban bajo un diseño completamente al azar. En el caso del análisis de materia seca una planta cosechada representó una repetición (6 repeticiones por tratamiento). En el análisis del rendimiento de grano un surco representó una repetición (6 surcos por tratamiento).

### **3.4. Variables Evaluadas.**

#### **3.4.1. Índice de Área Foliar y Materia Seca.**

Para determinar el índice de área foliar y la acumulación de materia seca, se realizaron 6 muestreos a partir del día 22 DDS hasta el día 138 DDS. En cada muestro se colectaron 6 plantas por tratamiento y se identificó la etapa de desarrollo del cultivo (numero de hojas y a aparición del órgano).

En cada planta muestreada se midió el ancho máximo (W) y largo (L) de cada hoja y se calculó el área utilizándose la fórmula propuesta por Watson (1952).  $AF = 0.75 L W$ , se sumó el área de las hojas de cada planta y se calculó el índice foliar con la siguiente fórmula.

$$IAF = \frac{\overline{AF}}{AT}$$

Donde:

IAF = Índice de área foliar, ( $\text{cm}^2 / \text{cm}^2$ ).

----  
 AF = Área foliar media para las seis plantas muestreadas, (cm<sup>2</sup>).

AT = Área del terreno que ocupa cada planta (cm<sup>2</sup>).

Las plantas son llevadas al laboratorio donde se separaron los órganos ( hoja, tallo y mazorca). Después se introdujeron a la estufa a una temperatura de 60 °C durante 48 horas, para luego pesarlas y obtener el peso seco o contenido de materia seca referenciada a una hectárea.

### 3.4.2. Rendimiento del grano.

La cosecha se efectuó a las 138 DDS, se cosecharon 6 surcos centrales de 4 mts. de largo en los tres tratamientos 1, 2 y 7 surcos en el tratamiento 3.

Las mazorcas fueron llevadas al laboratorio y se desgranaron y se peso el gran, posteriormente se midió el contenido de humedad en la semilla (%H).

Se calculó el rendimiento por repetición considerando el porcentaje de humedad comercial o estándar:

$$R(\text{ton/ha}) = \frac{(Rr \text{ en ton/ha})(100 - \%H)}{100 - \%He}$$

#### Donde:

Rr = Es el rendimiento por repetición en Ton/ha.

% H = Es la humedad de la semilla al momento de la cosecha.

% He = Es la humedad estándar o comercial (15%).

### 3.5. Materiales.

En la elaboración del trabajo se realizaron diferentes actividades, para las cuales nos sirvió de apoyo el siguiente material:

### 3.5.1 Material genético.

El material genético utilizado en el presente estudio fue proporcionado por el Instituto Mexicano del Maíz “Dr. Mario E. Castro Gil”, de la UAAAN, siendo el híbrido AN-447, cuyas características agronómicas principales se mencionan en el siguiente cuadro:

Cuadro 3.3. Características agronómicas del maíz híbrido AN-447.

Tipo de grano.	Blanco, semidentado.
Forma de mazorca.	Cilíndrica.
Tamaño de mazorca.	Grande.
Altura de mazorca.	Promedio de 2.8 mts. (2.5-3.10 mts.).
	Promedio de 1.3 mts. (1.2-1.5 mts.).
Ciclo vegetativo.	Intermedio.
Floración.	De 75 a 80 días.
Días a cosecha (de grano).	De 140 a 150 días.
Tipo de hoja.	Semierecta.
Color de hoja.	Verde claro.
Acame.	Tolerante resistente.
Cobertura.	Buena.
Resistencia a enfermedades.	Tolerante.
Comportamiento en tipo de suelo.	Arenoso (bueno), limoso (muy bueno), arcilloso (bueno).

### 3.5.2. Cinta métrica.

Utilizadas para medir la altura de plantas en los tratamientos y el espesor de los horizontes del perfil del suelo.

### **3.5.3. Palas y azadones.**

Se utilizaron para realizar la excavación, para muestrear los horizontes del suelo a una profundidad de 1.5 metros, y para realizar el aporqué de las plantas para evitar el escurrimiento en los tratamientos.

### **3.5.4. Estufa y balanza granataria.**

Estos fueron utilizados para secar las muestras de suelo y de materia seca y tomar sus respectivos pesos.

### **3.5.5. Machetes.**

Se utilizaron para cortar las plantas de maíz, y posteriormente hacer sus respectivas mediciones.

## **3.6. Calibración del Dispensor de Neutrones.**

Se realizó la calibración del aparato, para lo cual se instalaron 2 tubos de aluminio a una profundidad de 120 cm, en una superficie de un metro cuadrado por tubo, en uno de los tubos el suelo se encontraba en condiciones de capacidad de humedad de campo (punto húmedo), otro tubo se encontraba en un suelo seco. Se tomaron medidas de humedad con el dispensor de neutrones y por el método gravimétrico por estratos de 20 cm, hasta llegar a los 120 cm, con estos puntos se realizó la regresión para calibrar el aparato. Se obtuvo una ecuaciones, la cual es la siguiente:

$$\% \text{ Vol. Real} = 60.16RC_{\text{esc}} - 16.551$$

$$R^2 = 0.9219$$

**Donde:**

% Vol. Real = Contenido de humedad en el suelo base volumen de suelo en %.

RC = Relación de Conteo Escalonado

RC= Conteo Estándar/ Conteo Medio

\* se sacan medias escalonadas.

### **3.7. Información Climática.**

La Información Climática fue proporcionada por la estación del Servicio Meteorológico Nacional ubicado en terrenos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, considerando el periodo en que se desarrolla el experimento de campo (Mayo a Octubre de 2000), en la que se consideraran las siguientes lecturas:

- Temperatura máxima, mínima y media.
- Precipitación pluvial.
- Evaporación libre del agua (tanque evaporímetro tipo A).
- Humedad Relativa.

## IV. -RESULTADOS Y DISCUSION

Para la presentación y discusión de los resultados obtenidos mediante la presente investigación, el orden a considerar será el análisis de la humedad en el suelo, índice de área foliar, acumulación de materia seca y rendimiento de grano.

### 4.1. Evolución de la humedad del suelo.

En las figuras 4.1 T1(A),T2(B) Y T3(C) se presenta la evolución de la humedad del suelo en los tres tratamientos. Es importante señalar que se tuvo problemas con el medidor de humedad y con la bomba de agua que se utilizaba para regar los tratamientos, los dos aparatos se descompusieron y se alteró la programación de los tratamientos.

Con el medidor de humedad se realizó la primera medición hasta los 32 DDS en ese momento el contenido de humedad en el suelo era bajo para los tres tratamientos, y estos no se diferenciaban debido a que no se había aplicado ningún riego. A los 40 DDS se efectuó el riego en los tratamientos 1 y 2, y en el tratamiento 3 a los 51 DDS. Durante este período llovieron 81 mm.

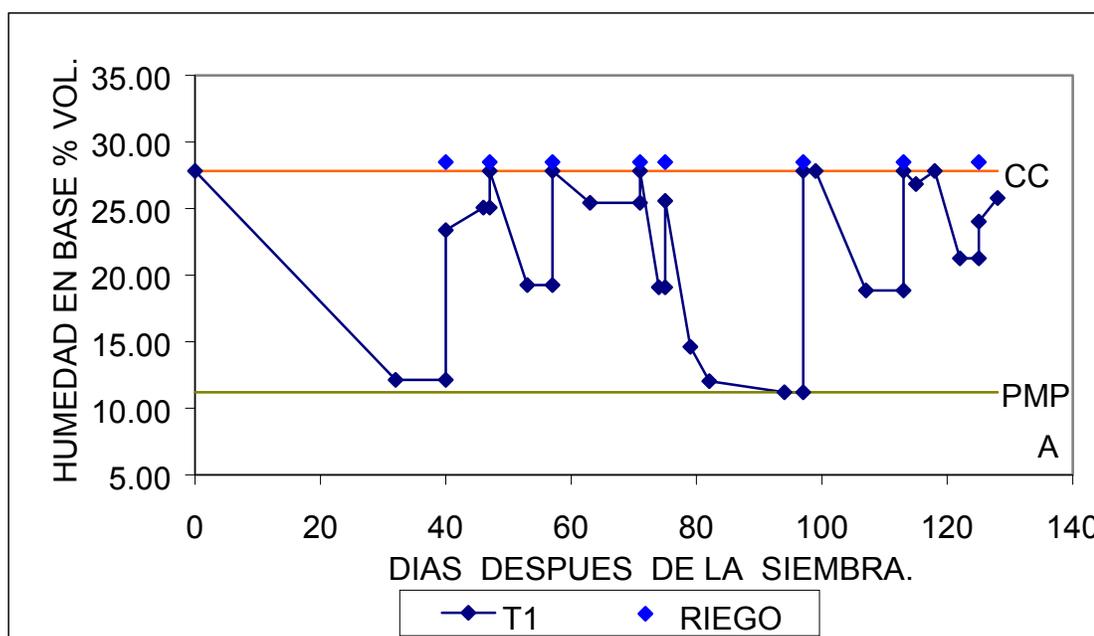
En el período comprendido entre los días 50 y 75 DDS, el contenido de humedad se mantiene alto para el tratamiento 1, debido a la aportación de 4 riegos. En el tratamiento 2 el contenido es menor solo se aplicaron 3 riegos. En el tratamiento 3 es acentuado el déficit de agua en el suelo solamente se aplicaron 2 riegos. Durante este período llovieron 59 mm.

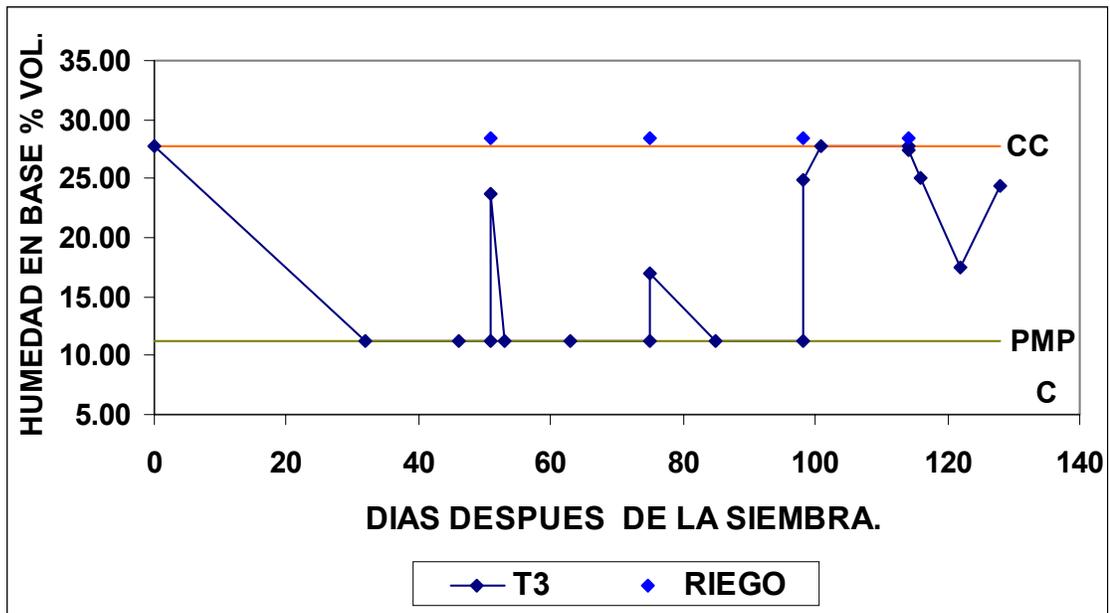
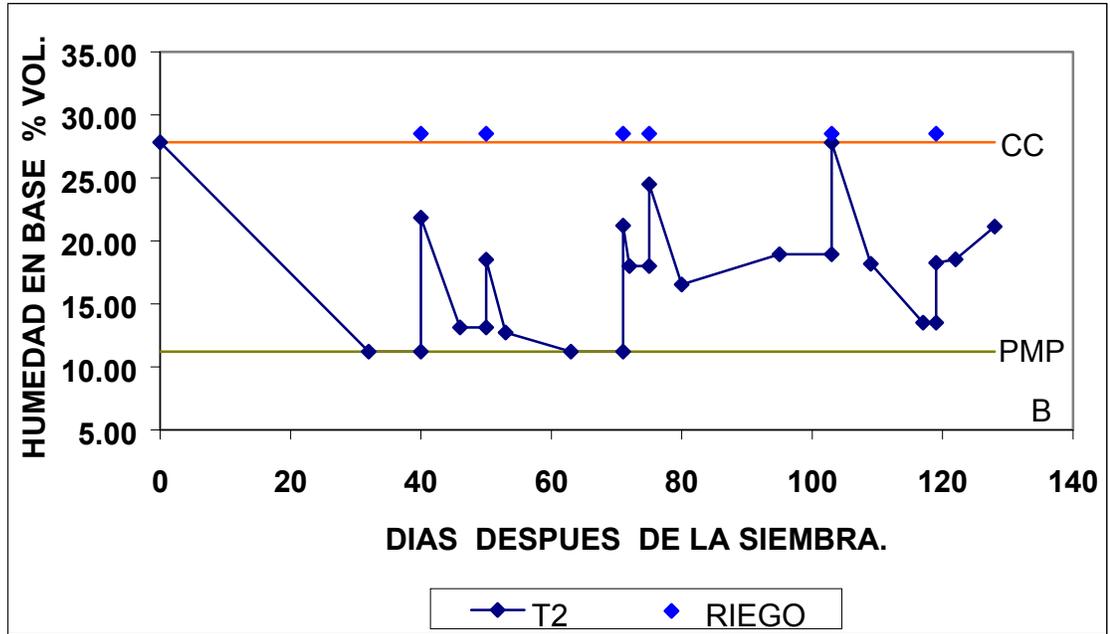
En el período comprendido de los 79 a los 84 DDS en el tratamiento 1 el contenido de humedad descendió fuertemente, esto se debió a que no se pudo aplicar el riego por descompostura de la bomba. En ese período la

plantas habían alcanzado el estado de floración. Este mismo comportamiento se denota en los otros dos tratamientos.

En el período de los 100 a los 128 DDS el contenido de humedad en el tratamiento 1 se mantiene alto debido a la aportación de 3 riegos. En el tratamiento 2 el contenido es menor debido a que se aportó solo 2 riegos, así mismo en el tratamiento 3. Este período comprende la etapa de llenado de grano.

Fig. 4.1. Evolución del contenido de humedad en el suelo para los tratamientos T1(A), T2(B) y T3(C), considerando de un estrato de 0-80 cm.





## 4.2. Índice de Área Foliar.

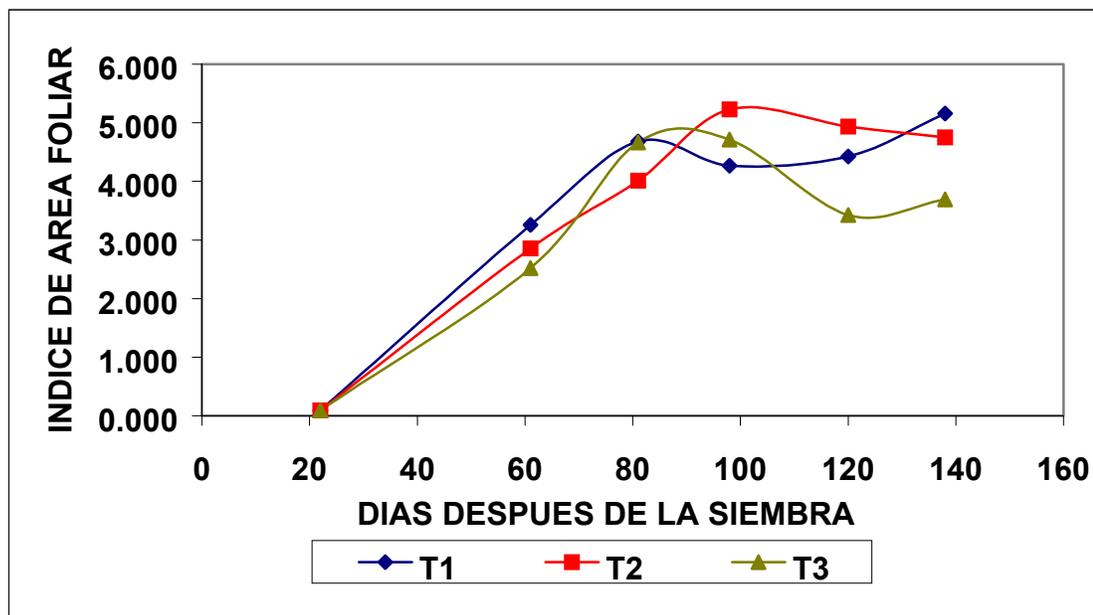
Los valores de índice de área foliar en función de los días transcurridos después de la siembra se presentan en la figura 4.2. A los 22 DDS el valor de IAF en los tres tratamientos es cercano a 0.0905, el cultivo está en la etapa de lento crecimiento, los tres tratamientos no se han diferenciado hasta esa fecha.

Después del día 22 DDS se denota un fuerte incremento en el IAF, debido a la generación de nuevas hojas y a la expansión de las células en estos órganos, es el período de acelerado crecimiento del cultivo. A los 61 DDS el valor de IAF es de 3.2 para el tratamiento 1, de 2.8 para el tratamiento 2 y de 2.5 para el tratamiento 3, la magnitud de estas diferencias no denota el efecto de los tratamientos, para esa fecha el tratamiento 1, había recibidas 3 riegos, el tratamiento 2 recibió 2 riegos y el tratamiento 3 solamente 1 riego. Es muy posible que las lluvias que ocurrieron en este período en una cantidad de 130 mm (Ver en el apéndice el cuadro A1) no hayan permitido que los tratamientos tuvieran una mayor diferenciación.

A los 81 DDS que corresponde a la fase fenológica de floración y fecundación, el IAF fluctúa entre 4.1 para el tratamiento 2 y 4.6 para el tratamiento 1, las diferencias pueden ser consideradas no significativas. En esta fase fenológica el cultivo alcanza su máximo crecimiento vegetativo, inicio el proceso reproductivo (Hanway, 1971).

En el período comprendido de los 80 a los 140 DDS el IAF tiende a mantenerse constante hasta el fin del ciclo en los tratamientos 1 y 2, mientras que en el tratamiento 3 se denota disminución, lo cual se debió a un menor contenido de humedad en el suelo.

Fig. 4.2. Índice de Área Foliar para los tratamientos evaluados en el ciclo de cultivo, en el híbrido de maíz AN-447, UAAAN 2000.



### 4.3. Acumulación de Materia Seca

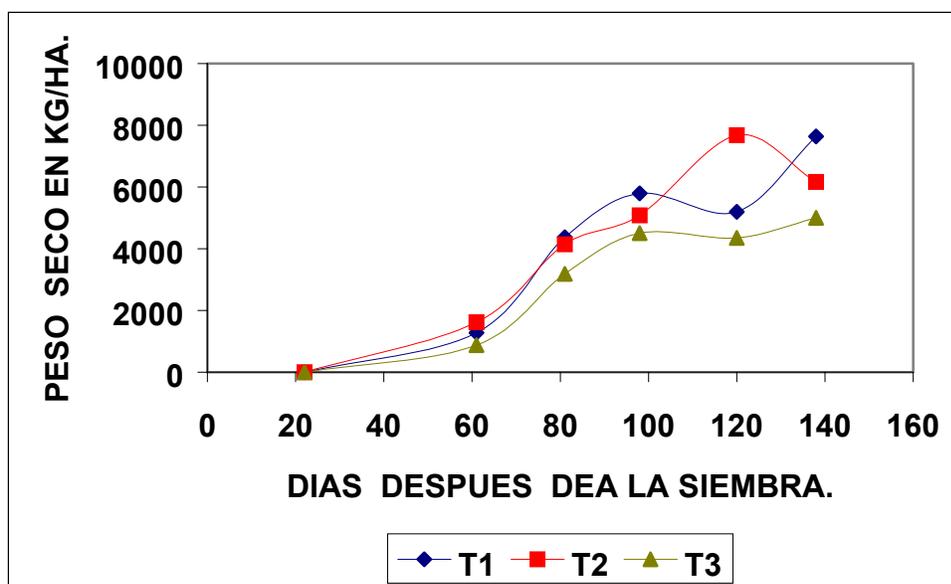
Durante el ciclo del cultivo se realizaron un total de 6 muestreos para determinar el peso seco en kilogramo por hectárea, en las tres parcelas de humedad de suelo evaluadas. En las cuales se obtuvieron los siguientes resultados:

#### 4.3.1. Acumulación de Materia Seca en Tallo.

A los 61 DDS la acumulación de materia seca de los tres tratamientos 1 y 2 fue de 1,276 y 1,613 kg/ha. , siendo estadísticamente iguales y superiores que el tratamiento 3 que tuvo un rendimiento de 0.872 (Ver en el apéndice el cuadro A6). Este comportamiento es debido a que los tratamientos 1 y 2 se desarrollaron bajo un contenido mayor de humedad.

A los 81 DDS y hasta los 138 DDS, siguió el mismo comportamiento el tratamiento 1 y 2 con mayor acumulación de materia seca con respecto al tratamiento 3, debido al contenido de humedad que existe en el suelo.

Fig. 4.3. Acumulación de Materia Seca (Kg/Ha) en Tallo para los tres tratamientos en el híbrido de maíz AN-447, UAAAN 2000.

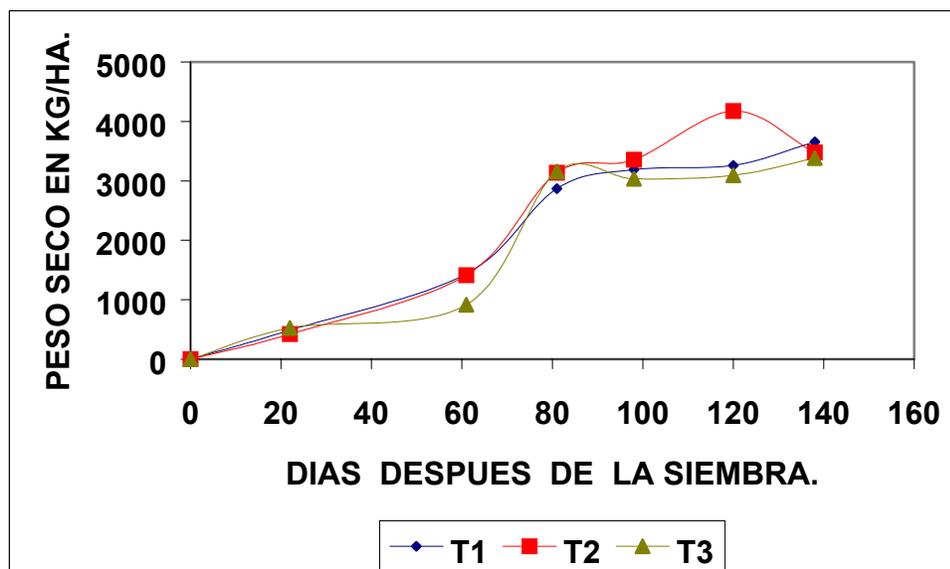


#### 4.3.2. Acumulación de Materia Seca en Hoja.

Como se observa en la Fig. 4.4. y dados los valores presentados en el Cuadro A7 del apéndice, hasta los 61 DDS la acumulación de peso seco son similares en los tratamientos 1 y 2 y superiores al tratamiento 3.

En los muestreos realizados de los 81 DDS hasta los 138 DDS, no se denota diferencias significativas entre los tratamientos.

Fig. 4.4. Acumulación de Materia Seca (Kg/Ha) en Hoja para los tres tratamientos en el híbrido de maíz AN-447, UAAAN 2000.

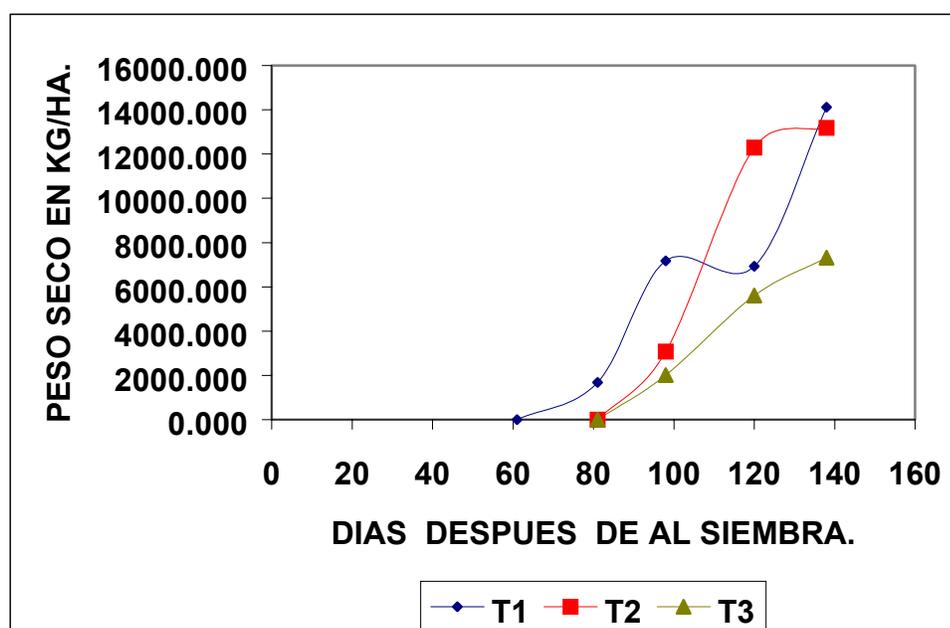


#### 4.3.3. Acumulación de Materia Seca en Mazorca.

El peso seco de la mazorca se comenzó a contabilizar a partir de los 81 DDS, en el Tratamiento 1 y en los otros dos a los 98 DDS y terminado el ciclo se observó diferencias significativas entre el tratamiento 1 y 2, pero sí con respecto al tratamiento 3.

Es importante señalar que las diferencias en rendimiento entre tratamiento, no fueron de al magnitud del déficit hídrico y esto fue debido a la presencia de lluvias durante el ciclo del cultivo y en mayor cantidad durante la etapa de llenado de grano que amortiguó el efecto del déficit hídrico en el suelo.

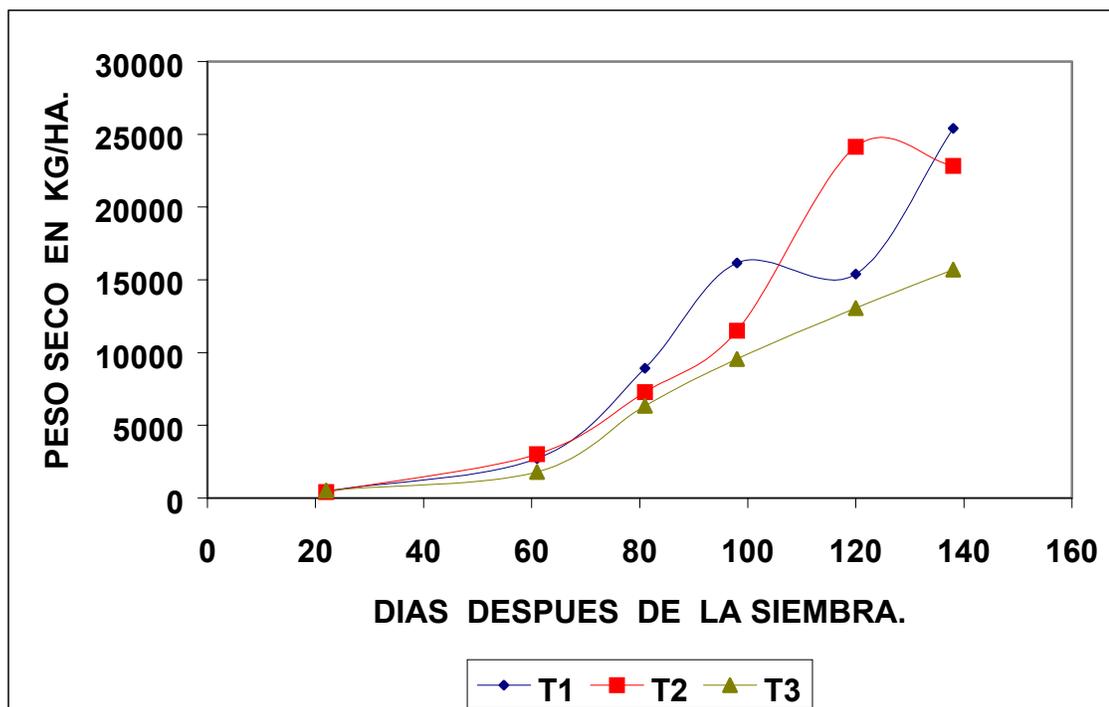
Fig. 4.5. Acumulación de Materia Seca (Kg/Ha) en Mazorca para los tres tratamientos en el híbrido de maíz AN-447, UAAAN 2000.



#### 4.3.4. Acumulación de Materia Seca Total

El peso seco total de la planta en kg/ha, (Fig. 4.6. y Cuadro A9 del Apéndice) nos muestra evidentemente que el tratamiento 1 fue el que acumuló mayor peso seco, a los 138 DDS su peso fue de 25414 kg/ha, seguido del Tratamiento 2 al cual se le aplicaron siete riegos, 22827 kg/ha y por último el Tratamiento 3 con 15698 kg/ha. Lo anterior debido a que el Tratamiento 3, a partir de los 81 DDS estuvo sometido a mayor déficit hídrico que el tratamiento 1 y el Tratamiento 2, el déficit hídrico estuvo más acentuado que en ambos tratamientos (T1 y T2).

Fig. 4.6. Acumulación de Materia Seca (Kg/Ha) Total para los tres tratamientos en el híbrido de maíz AN-447, UAAAN 2000.



#### 4.4. Rendimiento de grano

De Acuerdo a las diferentes condiciones de humedad del suelo para los tratamientos evaluados, la resultante integradora es el rendimiento económico, se establece que de acuerdo a la prueba de las diferencia mínima significativa (DMS) en el cuadro 4.4. se muestra que los tratamientos 1 y 2 son estadísticamente iguales y superiores al tratamiento 3.

Cuadro 4.4. Comparación de las medias de rendimiento de grano mediante la prueba de la Diferencia Mínima Significativa (DMS). UAAAN 2000.

Tratamientos	Medias Kg. ha <sup>-1</sup>	Orden
T1	8,843	A
T2	8,496	A
T3	6,333	B

**Valores de las DMS:**

(1,2) = 1.2032.

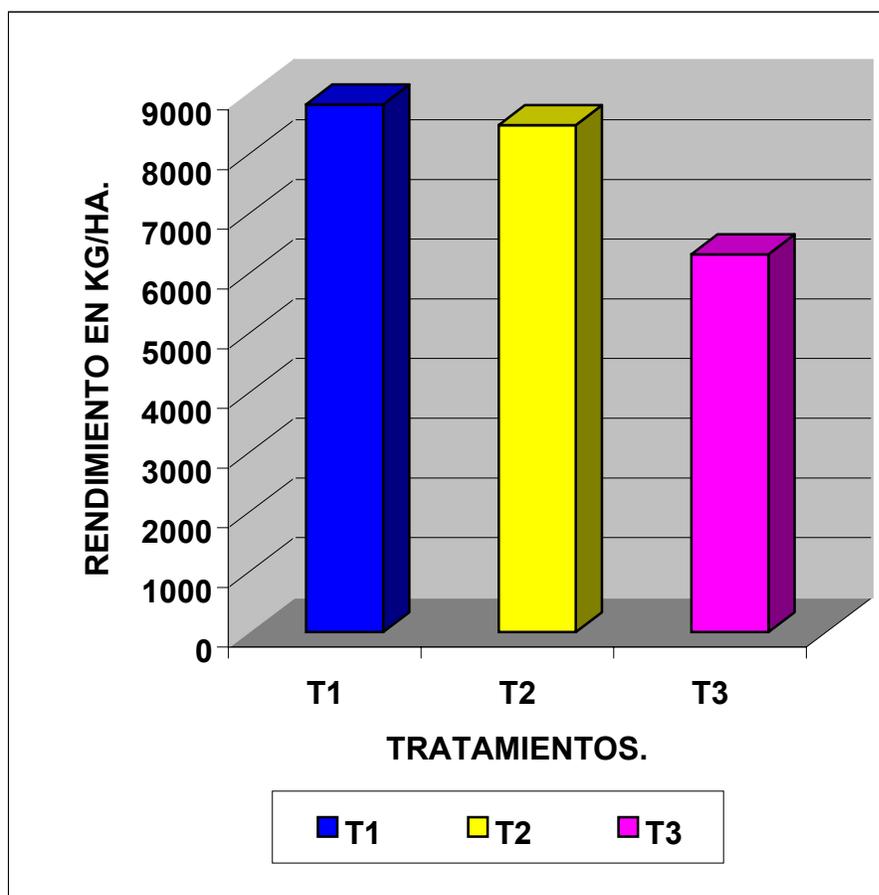
(1,3) = 1.1594

Significancia al 0.05 de Probabilidad

Coefficiente de variación = 12.59%

Es importante señalar que las lluvias que se presentaron durante el ciclo del cultivo (302.9 mm.) amortiguaron los efectos del déficit hídrico en los tratamientos 2 y 3, siendo esta la razón por la que la diferencia en rendimiento no estuvieron tan acentuadas como los niveles de déficit hídrico

Fig. 4.7. Rendimiento de Grano en Kg/Ha, para los tratamientos evaluados en el híbrido de maíz AN-447, UAAAN 2000.



## V. -CONCLUSIONES

Durante el desarrollo del experimento los tratamientos estuvieron sometidos a diferentes contenidos de humedad en el suelo. En el Tratamiento 1 el cultivo estuvo en una condición de menor déficit hídrico durante el ciclo, en cambio el Tratamiento 2 y el tratamiento 3 estuvieron sometidos a un mayor déficit hídrico acentuándose este después de la etapa VI (81 DDS).

El efecto del déficit hídrico, influyó en los valores observados de Índice de Área Foliar, resultando que los tratamiento 1y 2 estadísticamente iguales pero superiores al tratamiento 3.

El efecto de los tratamientos se vio reflejado en la acumulación de materia seca en tallo, hoja y mazorca. El tratamiento 1 alcanzó mayor peso de tallo al día 120 DDS, hoja al día 98 DDS y mazorca al día 138 DDS que el Tratamiento 2 y este a su vez que el Tratamiento 3.

En el Tratamiento 1 (Condición de menor déficit hídrico) el rendimiento fue de 8,843 kg/ha, teniendo diferencia estadística con el Tratamiento 3 (Condición de mayor déficit hídrico) con un rendimiento de 6,333 kg/ha y los dos fueron similares con el Tratamiento 2 (Condición media de déficit hídrico) con 8496 kg/ha de rendimiento.

Cabe señalar que las lluvias presentadas durante el desarrollo del experimento, amortiguaron el efecto del déficit hídrico en los tratamiento. Por tal razón, las diferencias observadas tanto en Índice de Área Foliar, Producción de Materia Seca y Rendimiento de Grano no son muy acentuadas, tal como se expresa en otras investigaciones realizadas por Rodríguez, (1985) donde detectó reducciones en el rendimiento de grano hasta en un 50 por ciento y hasta de un 25 por ciento en rendimiento cuando el estrés se presenta en la etapa vegetativa y de 20 por ciento cuando se presenta en el llenado del grano.

## VI. -RESUMEN

El objetivo de este estudio fue determinar el índice de área foliar, la acumulación de materia seca y rendimiento de grano en maíz bajo tres condiciones de humedad en el suelo.

El trabajo experimental se realizó en terrenos de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, situada entre los paralelos 25° 16' 13" y 25° 21' 28" latitud norte y los meridianos 101° 59' 43" y 101° 00' 25" latitud oeste con respecto al meridiano de Greenwich y a una altitud de 1743 m.s.n.m.

La siembra se efectuó el 22 de mayo de 2000, con el maíz híbrido AN-447, la densidad fue de 58,500 pl/ha, la dosis de fertilizante empleada fue 100-100-00 (N-P-K), distribuida en dos aplicaciones (al momento de la siembra y a los 45 DDS).

Se evaluaron tres condiciones de humedad de suelo:

1) Tratamiento 1 condición de menor déficit hídrico en el suelo se aplicaron 9 riegos con la finalidad de satisfacer las necesidades máximas de agua por el cultivo.

2) Tratamiento 2 en donde se aplicaron seis riegos en dos etapas fenológicas (vegetativa y floración).

3) Tratamiento 3 (Condiciones de mayor déficit hídrico) en el que se aplico cuatro riegos en la etapa vegetativa del cultivo. Cada tratamiento fue ubicado en una parcela de 81 m<sup>2</sup>. Las variables evaluadas fueron Índice de área foliar, acumulación de materia seca en tallo, hoja, mazorca y total, además del rendimiento de grano.

El déficit hídrico, influyó en los valores observados de Índice de Área Foliar, resultando el Tratamiento 1 con mayor IAF, que el tratamiento 2 y este mayor que el Tratamiento 3.

El efecto del déficit hídrico, influyó en los valores observados de Índice de Área Foliar, resultando que los tratamiento 1y 2 estadísticamente iguales pero superiores al tratamiento 3.

A la cosecha se detectaron diferencia estadística en el rendimiento de grano, siendo similares estadísticamente el tratamiento1 con el tratamiento 2 y ambos son diferentes con el tratamiento 3.

El efecto de la lluvia presentada en el desarrollo del experimento amortiguó el efecto del déficit hídrico en los tratamientos establecidos, observándose poca diferencia en las variables evaluadas en el cultivo.

## VII. -BIBLIOGRAFÍA

- Acock Charles and S. Sawyer. 1979. Potential Crop Production. Ann. Bot. (London). Vol. 44:281-300.
- Acock and L. H. Allen Jr. 1985. In. "Direct effects of CO<sub>2</sub> on vegetation." Chapter 4.
- Aldrich, S.R. 1974, Producción Moderna del Maíz. 1a. Edición. Editorial Emisferio Sur, Buenos Aires, Argentina.
- Azzi, G. 1971. Ecología Agraria. Instituto Cubano del Libro. La Habana Cuba. Pp 215-222.
- Bear, E. F. 1969. Los suelos en relación con el crecimiento de los cultivos. Traducción del Inglés por J. Abeijon Veloso. Ediciones Omega, S. A. Barcelona, España.
- Bolaños, J. Y G. O. Edmeades. 1993. La fenología del maíz en síntesis de los resultados experimentales del PRM 1992. Vol. 4 CIMMYT, Guatemala. Pp. 251-256.
- Blaney, N. C. 1974. The Nature and Properties of Soils. Save. Edición. McMillan Publishing, CO. Inc. N. York. Pp. 189-219.
- Crofts, C.F., D.L. Jackson, D.M. Martín and J.C. Patrick. 1971. Los vegetales y sus cosechas. Fundamentos de Agricultura Moderna. 2<sup>a</sup>. Edición Aedos, Barcelona, España.
- Delorit, R.J y Ahlgred H.L. 1987. Biblioteca de Agricultura. Tomo 1 Editorial Continental. México. P 52-57.

- Denmead O.T . y Shaw. R.H 1960. The effects of soil moisture stress at different stages of growth on the development and yield of corn. *Agron. J.* 52: 572-254.
- Donald, C. M. And J. Hamblin. 1976. The biological yield and harvest index of cereals as agronomy and plant breeding criteria. *Adv. Agron.* 28: 361-405.
- Doorembos, S. And AH. Kassam. 1979. Yield Response To Water. FA. *Irrig. Drain . Paper No. 33: 1-193.*
- Eck Harold V. 1986. Effects of water deficits on yield, yield components, and water efficient usage of irrigated corn. *Agronomy Journal.* Vol. 78. Pags. 1035-1040.
- F.A.O. 1993. El Maíz en la Nutrición Humana. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. Pp. 1-13.
- Fisher, R. A. And N. C. Turner. 1978. Plant productivity in the arid and semi-arid zones. *Anna Rev. Plant Physiol.* 29: 227-317.
- Francis, C. A., C. O. Grogan and D. W. Speerling. 1968. Identification of Photoperiod Insensivite Strains of Maize. *Crop. Sei. USA.* 9:675-677.
- Francis, C. A. 1971. Influencia del medio ambiente en el crecimiento y desarrollo del maíz. 9 p
- Frey Nicholas M. 1981. Dry matter accumulation in kernels of maize. *Crop Science.* Vol. 21. Pags. 118-122.

- Gándara, R. E. 1989. Respuesta del maíz (Híbrido AN-430R) a diferentes niveles de sequía inducida, en tres etapas fenológicas del desarrollo. Tesis de Maestría. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, Méx. 86 p.
- García, E. 1964. Modificaciones del sistema de clasificación climática de Koopen. Adaptado a las condiciones climáticas de la República Mexicana. Instituto de Geografía. UNAM. México. 264 p.
- Gavande, S. S. 1982. Física de Suelos, Principios y Aplicaciones. Segunda Edición. Editorial Limusa. México. Pags 131-244.
- Gerakis, P., A. D. Papacosta- Tasa-Pavlov. 1979. Growth dynamics of Zea mays L. Populations differing in genotype and density and growth under illuminance stress. Ecol. Plant., 14:13-26.
- Griffits, J.F. 1985. Climatología Aplicada. Trad. Flores G. Editorial publicaciones Culturales S.A. de C.V. México, D.F. 154 p.
- González Silveira, Salvador H. 1990. Análisis de Crecimiento de Dos Genotipos de Papa (*Solanum tuberosum* L.) Evaluados bajo Diferentes Dosis de Fertilización. Tesis de Licenciatura, UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila.
- Hanway J.J. 1971. How a corn plant develops. Special report. No. 48. Iowa State University of Science and Technology.
- Harder, H. J., R. E. Carlson and R. H. Shaw. 1982. Yield, yield components, and nutrients content of corn grains as influenced by post-silking moisture stress. Agronomy Journal. Vol. 74. Pags. 275-278.

- Jensen, M. E. D. C. N. Robb and C. E. Franzoy. 1970. Sheduling irrigation using climate-crop- soil data. J. Irrigation and Drainage. ASCE. 96: 25-38.
- Kaliappa, R., S. Venkatachalam, K. M. Nachappan, K. V. Selvajaj and S. Rajaran. 1976. Studies on water requeriment of maize. Field Crop Abstracts. Vol. 30(3): 158. London, England.
- Kizer, M. A. R. L. Elliot, and J. F. Stone. 1990. Hourly model calibration whit edoy flux and energy balance data. J. of I. and Drainage Engineering. Vol. 116 (2) Pags. 172-181.
- Kramer , P. J. And Duke J. B. 1974. Relaciones hídricas del suelo y plantas. Una Síntesis Moderna. Traducida del Inglés por L. Tejada. Centro Regional de Ayuda Técnico, AID. McGraw-Hill. Inc. México. Pp 1-7 y 393-443.
- Levitt, J. 1972. Responses of plant to enviromental stress. Academic Presss. New York.
- Palacios. V. E. 1994. Importancia del Riego en los Cultivos. III Curso Inernacional de Sistemas de Riego. Vol. 1: 1-1., Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco Estado de México.
- Poey, D., F. R: 1978. El mejoramiento integral de maíz; valor nutritivo y rendimiento; hipótesis y métodos. SARH. C.P. Chapingo. México.
- Reed, A. J., G. W. Singletary, J. R. Schussler, D. R. Williamson, and A. L. Christy. 1988. Schading effects on dry matter and nitrogen partitioning kernel number, and yield of maize. Crop Science. Vol. 28. Pags. 819-825.

- Ritchie, J. T. 1973. Influence of soil status and meteorological conditions on evaporation for a corn canopy. *Agronomy Journal*. Vol. 65: 893-897.
- Rivera, G. M. 1988. Evaluación de metodologías para la selección de genotipos de maíz tolerantes a sequía. UAAAN. Tesis Maestría. Buenavista, Saltillo, Coahuila.
- Robbinson, J. S. and C. E. Domingo. 1953. Some effects of severe soils moisture deficits at specific growth stages in corn. *Agronomy Journal*. Vol. 45: 618-621.
- Robles, S. R. 1990. Producción de Granos y Forrajes. Edit. Limusa. México. 559 p.
- Rodríguez, G. M. A. 1985. Efecto del stress de humedad sobre el desarrollo, rendimiento y evapotranspiración del maíz (*Zea mays* L.). Tesis de Licenciatura. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Rojas, G. M. 1972. Fisiología vegetal aplicada. 2a. Edición. De. McGraw-Hill. México. 120 p.
- Romo, J.R. y R. Arteaga. 1989. Meteorología Agrícola. Departamento de Irrigación, UACH. Chapingo, México. Pp. 109-153, 221-258.
- Struik, P.C. 1983. The effects of switches in photoperiod and crop morphology, production pattern and quality of forage maize (*zea mays* L.). Under Field conditions. Wageningen. 1-25 p.p
- Tannaka, A.J. y Yamaguchi. 1981. Producción de materia seca, componentes del rendimiento y rendimiento del grano del maíz. Traducido al

español por Dr, Kohashi Shibata. Rama de botánica. Colegio de posgraduados. Chapingo, México. Pp 16-18.

Tannaka, A.J. y Yamaguchi. 1984. Producción de materia seca, componentes del rendimiento y rendimiento del grano del maíz. Traducido al español por Dr, Kohashi Shibata. Rama de botánica. Colegio de posgraduados. Chapingo, México. Pp 16-18.

Tollennar, M. y R.B Daynar, and R.B. Hunter. 1983. A Photoperiod and temperature sensitive period for leaf Appearance and flowering Date in Maize. Crop. Science. 23: 457-460pp.

Torres Ruiz, Edmundo. 1986. Agrometeorología. 3ª impresión. Editorial Diana S.A. México, D.F.

Vaadia, Y. 1984. The impact of plant stress on crop. Yield Arco Plant Cell Research. Institute 6560. Trinity Court, Dublin, California 94568.

Villalpando J. F. I. 1990. Metodología de investigación en agroclimatología. SARH- INIFAP. Guadalajara, Jalisco, México.

Villalpando I. J. F. 1984. Metodología de investigación en agricultura. Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Consejo Directivo de la Investigación Agrícola y Pecuaria y Forestal. Curso de orientación para aspirantes a investigación de INIF e INIA, SARH. México. Mimeografía. 62 p.

Villalpando J. F., Del Real L. I., y Ruiz C. J.A. 1991. Temperatura Y Fenología Agrícola. Apuntes del curso Guadalajara, Jalisco, México.

Wayne, J. M. Laurin. 1984. Non destructive leaf area measurement of pomoea patatas. C. V. Centenial. Hort. Sci. 19 (7): 58.

Yoshida, S. 1972. Physiological aspects of grain yield. Ann. Rev. Plant physiol, 23:437-464.

**APÉNDICE.**

Cuadro A1. Información climatológica mensual, promedio de la Estación de Buenavista, Saltillo, Coah. UAAAN 2000.

Mes	Temperaturas			Agua			Radiación	
	Max.	Min.	Med.	Lluvia (mm)	Evap. (mm)	Hum (%)	Ins. Minutos	Int. calorías
Enero	21.8	5.6	13.7	-	121.97	46.0	16231.0	11278.0
Febrero	23.5	8.0	15.8	2.5	140.72	51.0	19888.0	12045.0
Marzo	25.9	10.3	18.1	9.7	199.34	57.0	17010.0	13114.0
Abril	27.9	12.6	20.2	3.5	216.69	55.0	16455.0	13377.0
Mayo	30.1	16.1	23.1	30.0	221.03	53.0	16081.0	12077.0
Junio	27.3	16	21.7	81.7	146.95	69.0	12890.0	9688.0
Julio	29.3	15.9	22.6	58.7	198.61	53.0	19171.0	14119.0
Agosto	27.1	14.9	21.0	75.2	169.84	64.0	16404.0	12582.0
Septiembre	27.1	12.0	20.0	21.8	160.12	61.0	16182.0	12156.0
Octubre	23.5	10.5	17.0	35.5	101.32	75.0	12822.0	9705.0
Noviembre	21.3	7.9	14.6	41.4	108.95	63.0	11600.0	7705.0
Diciembre	18.9	4.5	11.7	-	98.70	57.0	14242.0	8749.0

Fuente: Departamento de Agrometeorología UAAAN 2000.

Cuadro A2. Índice de área foliar ( $m^2$  hoja  $m^{-2}$ ) de plantas, observados en el campo, del maíz. UAAAN 2000.

<b>DDS</b>	<b>Tratamiento 1</b>	<b>Tratamiento2</b>	<b>Tratamiento 3</b>
	Índice	Índice	Índice
22	0.0905	0.0905	0.0905
61	3.2594	2.8544	2.5190
81	4.6819	4.0144	4.6656
98	4.2700	5.2307	4.7131
120	4.4278	4.9366	3.4286
138	5.1580	4.7492	3.6940

DDS.....= Días después de la siembra

T1 ..... = Parcela que tuvo un déficit hídrico al 25%.

T2.....= Parcela que tuvo un déficit hídrico al 50%.

T3.....= Parcela que tuvo un déficit hídrico al 75%.

Cuadro A3. Contenido de humedad en base volumen para el Tratamiento 1 en el estrato de profundidad del suelo, durante el ciclo de cultivo. UAAAN 2000.

DDS	Estrato del perfil del suelo (cm)
	0 – 80
0	27.82
32	12.12
40	23.37
46	25.08
47	27.82
53	19.25
57	27.82
63	25.44
71	27.82
74	19.08
75	25.58
79	14.62
82	12.04
94	11.21
97	27.82
99	27.82
107	18.86
113	27.82
115	26.84
118	27.82
122	21.26
125	24.01
128	25.79

Cuadro A4. Contenido de humedad en base volumen para el Tratamiento 2 en el estrato de profundidad del suelo, durante el ciclo de cultivo. UAAAN 2000.

DDS	Estrato del perfil del suelo (cm)
	0 – 80
0	27.82
32	11.21
40	21.83
46	13.13
50	18.51
53	12.73
63	11.21
71	21.21
72	18.00
75	24.50
80	16.53
95	18.93
103	27.81
109	18.17
117	13.51
119	18.26
122	18.54
128	21.14

Cuadro A5. Contenido de humedad en base volumen para el Tratamiento 3 en el estrato de profundidad del suelo, durante el ciclo de cultivo. UAAAN 2000.

DDS	Estrato del perfil del suelo (cm)
	0 – 80
0	27.82
32	11.21
46	11.21
51	23.71
53	11.21
63	11.21
75	23.45
85	11.21
98	24.96
101	27.82
114	27.35
116	25.04
122	17.49
128	24.45

Cuadro A6. Acumulación de materia seca ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) en tallo en las tres condiciones de humedad del suelo durante el ciclo del cultivo de maíz. UAAAN 2000.

DDS	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3
	Acumulación	Acumulación	Acumulación
22	-	-	-
61	1276 ab	1614 a	872.5 b
81	4366 a	4144 a	318.7 a
98	5790 a	5078 a	4506 a
120	5197 b	7676 a	4352 b
138	7639 a	6169 ab	4997 b

DDS.....= Días después de la siembra

T1.....= Parcela que tuvo un déficit hídrico al 25%.

T2.....= Parcela que tuvo un déficit hídrico al 50%

T3.....= Parcela que tuvo un déficit hídrico al 75%.

Medidas con la misma literal son estadísticamente iguales al 0.05 % de probabilidad, leídas en forma horizontal.

Cuadro A7. Acumulación de materia seca (kg ha<sup>-1</sup>) en hoja en las tres condiciones de humedad del suelo durante el ciclo del cultivo de maíz. UAAAN 2000.

DDS	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3
	Acumulación	Acumulación	Acumulación
22	488.235 a	423.529 a	523.529 a
61	1435 a	1411 a	915.7 b
81	2868 a	3135 a	3161 a
98	3190 a	3355 a	3037 a
120	3259 b	4174 a	3096 b
138	3658 a	3481 a	3382 a

DDS.....= Días después de la siembra

T1.....= Parcela que tuvo un déficit hídrico al 25%.

T2.....= Parcela que tuvo un déficit hídrico al 50%

T3.....= Parcela que tuvo un déficit hídrico al 75%.

Medidas con la misma literal son estadísticamente iguales al 0.05 % de probabilidad, leídas en forma horizontal.

Cuadro A8. Acumulación de materia seca (kg ha<sup>-1</sup>) en mazorca en las tres condiciones de humedad del suelo durante el ciclo del cultivo de maíz. UAAAN 2000.

DDS	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3
	Acumulación	Acumulación	Acumulación
22	-	-	-
61	-	-	-
81	7168	-	-
98	1677 a	3076 a	2016 a
120	6933 b	12290 a	5605 b
138	14117 a	13177 a	7319 a

DDS.....= Días después de la siembra

T1.....= Parcela que tuvo un déficit hídrico al 25%.

T2.....= Parcela que tuvo un déficit hídrico al 50%

T3.....= Parcela que tuvo un déficit hídrico al 75%.

Medidas con la misma literal son estadísticamente iguales al 0.05 % de probabilidad, leídas en forma horizontal.

Cuadro A9. Acumulación de materia seca total (kg ha<sup>-1</sup>) en las tres condiciones de humedad del suelo durante el ciclo del cultivo de maíz. UAAAN 2000.

DDS	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3
	Acumulación	Acumulación	Acumulación
22	488.24	423.53	523.5
61	2711.8	3024.5	1788
81	8910.8	7279.4	6348
98	16148	11510	9560
120	15389	24140	13053
138	25414	22827	15698

DDS.....= Días después de la siembra

T1.....= Parcela que tuvo un déficit hídrico al 25%.

T2.....= Parcela que tuvo un déficit hídrico al 50%.

T3.....= Parcela que tuvo un déficit hídrico al 75%.

Cuadro A10. Análisis de varianza para el peso seco en la hoja, para los muestreos realizados durante el ciclo del maíz híbrido AN-447. UAAAN 2000.

<b>HOJA.</b>		
<b>DDS</b>	<b>CUADRADO MEDIO.</b>	<b>F</b>
22		
61	0.5157	5.4913 *
81	0.1582	1.2636 ns.
98	0.1514	0.4741 ns.
120	2.0241	5.4656 *
138	0.1169	0.2811 ns.

\* Significativo al 0.05 de probabilidad.

\*\* Significativo al 0.01 de probabilidad.

NS No significativo.

DDS Días después de la siembra.

Cuadro A11. Análisis de varianza para el peso seco en tallo, para los muestreos realizados durante el ciclo del maíz híbrido AN-447. UAAAN 2000.

<b>TALLO.</b>		
<b>DDS</b>	<b>CUADRADO MEDIO.</b>	<b>F</b>
22		
61	0.8262	5.6830 *
81	2.3534	3.4794 ns.
98	2.4839	2.9123 ns.
120	17.9140	13.0069 **
138	10.5161	6.1192 **

\* Significativo al 0.05 de probabilidad.

\*\* Significativo al 0.01 de probabilidad.

NS No significativo.

DDS Días después de la siembra.

Cuadro A12. Análisis de varianza para el peso seco en mazorca, para los muestreos realizados durante el ciclo del maíz híbrido AN-447. UAAAN 2000.

<b>MAZORCA.</b>		
<b>DDS</b>	<b>CUADRADO MEDIO.</b>	<b>F</b>
22		
61		
81		
98	3.1652	3.2101 ns.
120	75.1538	9.1832 **
138	81.4213	3.1039 ns.

\* Significativo al 0.05 de probabilidad.

\*\* Significativo al 0.01 de probabilidad.

NS No significativo.

DDS Días después de la siembra.