

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

DIVISION DE AGRONOMIA



RENDIMIENTO Y CONTENIDO DE NITRÓGENO EN MAIZ  
(*Zea mays* L) HÍBRIDO AN-447, A DIFERENTES CONDICIONES  
DE HUMEDAD DEL SUELO.

Por:

JORGE CHAVEZ MOLINA

*TESIS*

*Presentada Como Requisito Parcial para  
Obtener el Título de:*

INGENIERO AGRONOMO EN PRODUCCION

*Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.*

*Mayo del 2000*

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”  
DIVISION DE AGRONOMIA**

**RENDIMIENTO Y CONTENIDO DE NITRÓGENO EN MAÍZ  
(*Zea mays* L) HÍBRIDO AN-447, A DIFERENTES CONDICIONES  
DE HUMEDAD DEL SUELO.**

Realizado por:

**JORGE CHAVEZ MOLINA**

Tesis

Que se Somete a Consideración del H. Jurado Examinador

como Requisito Parcial para Obtener el Título de:

**INGENIERO AGRONOMO EN PRODUCCION**

**PRESIDENTE**

---

**Dra. Diana Jasso Cantú**

Asesor

Asesor

---

**Dr. Raúl Rodríguez García**

---

**Ing. Carlos Rojas Peña**

**Coordinador de la División de Agronomía**

---

**M.C. Reynaldo Alonso Velasco**

*Buenvista, Saltillo, Coahuila, México.  
Mayo del 2000*

## **DEDICATORIAS**

### **A DIOS NUESTRO SEÑOR**

Por darme lo más hermoso de la vida y la oportunidad de estudiar una parte de ella pero la más digna del hombre.

### **A MIS PADRES**

#### **JUANA MARIA Y JORGE**

Por haber dado la vida, por su gran apoyo moral y económico que me brindaron durante el transcurso de mi carrera profesional; por la confianza que depositaron en mi, por los valores que me han inculcado, por guiarme siempre por el camino de la superación y por todos sus sacrificios que han realizado que no han sido en vano ya que me han otorgado la mejor de las herencias.

Dios los guarde siempre.

Mil gracias.

### **A MIS HERMANOS**

**PERLA YANETH  
ROSARIO ADRIANA  
LUIS GERARDO**

Quienes en todo momento han estado conmigo por la confianza, cariño y por la estimulación para seguir adelante y a quienes les deseo lo mejor de la vida.

**A MIS ABUELOS RESPETO, CARIÑO Y ADMIRACIÓN**

Francisco Molina C.    María Reyes de Molina

Francisco Chávez    Elvira Echavarría de Chávez

**A MIS TIOS Y PRIMOS**

Por su apoyo y confianza de siempre con todo el cariño para ellos gracias.

**Y A TODAS LAS PERSONAS QUE HICIERON POSIBLE ESTE LOGRO**

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A LA DRA. DIANA JASSO CANTÚ**

Por la amistad, gran ayuda, confianza, sugerencias que me brindo durante la elaboración y revisión del presenta trabajo.

### **AL DR. RAÚL RODRIGUEZ GARCIA**

Por la confianza, asesoría y revisión del presente trabajo.

### **AL ING. CARLOS ROJAS PEÑA**

Por la revisión del presente trabajo.

### **AL PERSONAL DEL LABORATORIO DE FITOQUIMICA**

Por colaboración en los estudios de laboratorio gracias a: Patricia, Lupita, Edith y Olga. Por el establecimiento del presente trabajo en campo a Don Francisco, Jorge y Polo. A todos gracias.

### **A MIS COMPAÑEROS DE LA GENERACIÓN LXXXVIII DE PRODUCCIÓN**

Hector, Elios, Martha, Juana, Oscar Cadenas, † Cesar, Alejandro, Raúl, Chema, Chago, Jorge Negrete, José Eladio, Rusbel, Cervando, David, Rigoberto, Misael, Jorge Ruiz, Octavio Méndez, Octavio Moreno, Robin, Baltazar, Angel, Manuel Leguizamo, Sergio, Demetrio, Porfirio y cada una de las personas con las que conviví en mi estancia en la universidad.

**A LA LIC. SANDRA ROXANA LOPEZ B.**

Por la paciencia y tiempo aportados en la explicación diversos paquetes computacionales que fueron de gran utilidad para la culminación presente trabajo.

**A LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO” Y SUS MAESTROS POR HABERME FORMADO COMO PROFESIONISTA.**

## INDICE DE CONTENIDO

	Pags.
I. INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS.....	2
HIPOTESIS.....	2
II. REVISION DE LITERATURA.....	3
Generalidades del Cultivo.....	3
Etapas fenológicas.....	5
Influencia de clima.....	8
Humedad.....	8
Luz, intensidad y duración.....	9
Temperatura.....	10
Unidades calor acumuladas.....	10
Métodos de cuantificación de unidades calor.....	14
Índice de área foliar.....	16
Rendimiento.....	17
Nitrógeno.....	18
Proteína .....	19
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	20
Experimento de campo.....	20
Localización.....	20
Clima.....	20
Suelo.....	20
Material genético.....	21
Tratamientos evaluados.....	23
Establecimiento del Experimento.....	24
Manejo cultivo.....	24
Medición de humedad.....	24
Control de riegos.....	26
Información climática.....	27
Descripción de etapas fenológicas y determinación del índice de área foliar (IAF).....	28
Rendimiento.....	29
Contenido de nitrógeno.....	29
Contenido de proteína.....	30
Obtención de unidades calor (UCA).....	30
IV. RESULTADOS Y DISCUSION.....	32

Información climática.....	32
Unidades calor acumuladas.....	33
Dinámica de la humedad del suelo.....	34
Índice área foliar.....	38
Rendimiento.....	39
Contenido de nitrógeno en hojas y tallo, olote y grano.....	40
Contenido de nitrógeno combinado total.....	43
Contenido de proteína en hojas y tallo, olote y grano.....	44
Contenido de proteína combinada total.....	47
V. CONCLUSIONES.....	48
VI. RESUMEN.....	52
VII. LITERATURA CITADA.....	51
VIII. APENDICE.....	56

## INDICE DE CUADROS

	Pags.
Cuadro 2.1. Descripción de las etapas fenológicas de la planta de maíz según Hanway (1962).....	6
Cuadro 3.1. características agronómicas del maíz híbrido AN-447.....	22
Cuadro 3.2. Calendario de riegos de auxilio aplicados a los tratamientos evaluados durante el ciclo de desarrollo de maíz híbrido AN-447.....	24
Cuadro 4.1. Información climatológica mensual promedio durante el ciclo del cultivo en la estación de Buenavista, Saltillo, Coahuila.....	32
Cuadro 4.2. Unidades calor acumuladas durante el ciclo del cultivo del híbrido de maíz AN-447 y etapas fenológicas observadas (Hanway, 1963).	33
Cuadro 4.3. Comparación de las medias de rendimiento de grano mediante la prueba de la diferencia mínima significativa (DMS).....	40

## INDICE DE FIGURAS

	Pags.
Figura 4.1. Comportamiento de la humedad del suelo y riegos (R) efectuados en el tratamiento 1, durante el cultivo del híbrido de maíz AN-447.....	34
Figura 4.2. Comportamiento de la humedad del suelo y riegos (R) efectuados en el tratamiento 2, durante el cultivo del híbrido de maíz AN-447.....	36
Figura 4.3. Comportamiento de la humedad del suelo y riegos (R) efectuados en el tratamiento 3, durante el cultivo del híbrido de maíz AN-447.....	37
Figura 4.4. Valores de índice de área foliar observados para las tres condiciones de humedad en el suelo, durante el ciclo de cultivo.....	38
Figura 4.5. Concentración de nitrógeno en hojas y tallo, olote y grano del tratamiento 1 durante el ciclo de cultivo.....	40
Figura 4.6. Concentración de nitrógeno en hojas y tallo, olote y grano del tratamiento 2 durante el ciclo de cultivo.....	41
Figura 4.7. Concentración de nitrógeno en hojas y tallo, olote y grano del tratamiento 3 durante el ciclo de cultivo.....	42
Figura 4.8. Concentración de nitrógeno combinado total para los tratamientos durante el ciclo de cultivo.....	43
Figura 4.9. Concentración de proteína en hojas y tallo, olote y grano del tratamiento 1 durante el ciclo de cultivo.....	44
Figura 4.10. Concentración de proteína en hojas y tallo, olote y grano del tratamiento 2 durante el ciclo de cultivo.....	45
Figura 4.11. Concentración de proteína en hojas y tallo, olote y grano del tratamiento 3 durante el ciclo de cultivo.....	46
Figura 4.12. Concentración de proteína combinada total para los tratamientos durante el ciclo de cultivo.....	47



## I. INTRODUCCIÓN

El maíz tiene un amplio rango de adaptabilidad es posible verlo tanto en condiciones tropicales como en condiciones de extrema falta de agua.

Este cultivo es muy importante en México debido a que constituye la base de la dieta de gran parte de la población que lo consume en forma directa. En forma indirecta los productos y subproductos del maíz son utilizados por la población urbana y rural, para el consumo humano, animal, transformación industrial y otros.

Siendo el más difundido en el país con 7.5 millones de has. y 17.866 millones de ton. de producción, sembrado bajo todas las condiciones agroecológicas del país, en su mayor proporción en terrenos temporaleros (80 a 85 %) con un rendimiento promedio de 1.7 y 2.0 Ton./ha., la superficie bajo irrigación es de 1.5 millones de has. con un rendimiento promedio de 4.0 Ton./ha.. A diferencia de la producción mundial donde domina el maíz amarillo en México se produce maíz blanco, con destino principal a la producción de tortilla y alimentos típicos mexicanos.

Los principales estados que participan en la producción nacional son: México, Jalisco, Chiapas, Puebla, Michoacán y Guerrero para el ciclo primavera - verano y Tamaulipas para el ciclo otoño – invierno.

La acumulación de nitrógeno tiene una relación directa con el contenido de proteína y esta a su vez con la calidad proteica desde el punto de vista nutricional. Por lo general el maíz común tiene poco valor alimenticio debido principalmente a su contenido no balanceado de aminoácidos en virtud de su bajo contenido proteína.

**Un mayor conocimiento sobre la aplicación de riego restringido que pudieran proporcionar mejores rendimientos que los que se obtienen actualmente bajo condiciones de temporal aportaría beneficios a los pequeños agricultores de las zonas semiáridas de nuestro país.**

## **OBJETIVOS**

En base a lo anterior en la presente investigación los objetivos específicos son:

- a) Determinar las unidades calor acumuladas para alcanzar las diferentes etapas fenológicas de desarrollo del cultivo de maíz híbrido AN-447 bajo tres condiciones de humedad del suelo..
- b) Estimar el índice de área foliar durante el ciclo de cultivo.
- c) Determinar el rendimiento de grano.
- d) Analizar la concentración de nitrógeno y proteína en la planta, grano y olate.

## **HIPÓTESIS**

**A mayor déficit de la humedad del suelo menor índice de área foliar (IAF), menor rendimiento de grano y menor contenido de nitrógeno planta (combinado) y grano.**

## II.- REVISION DE LITERATURA

### **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 y desde hace poco como combustible.

El maíz es originario con toda seguridad de América Central, reconociéndose específicamente a México como su lugar de origen. Lo anterior se desprende de la evidencia de haber encontrado en el valle de Tehuacán 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" (historia en todas las culturas establecidas en Mesoamérica". FAO. 1993.

### **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 su adaptabilidad a zonas con diferente latitud y altitud (FAO, 1993).

El maíz es considerado como un cereal y la planta es monóica y alógama ya que en la misma planta tiene los dos sexos y estos se encuentran separados. Su ciclo vegetativo es anual con períodos de crecimiento desde 100 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 ultimo de los nudos inferiores surgen las raíces nodales o adventicias, esto después del surgimiento de la espiga.**

Su tallo o culmo está formado por nudos y entrenudos los cuales varían de 8 a 26 nudos, 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 constituidas por: vaina, ligula, nervadura central, limbo con haz, y envés, cuya longitud varia de 30 cm a 1 metro.

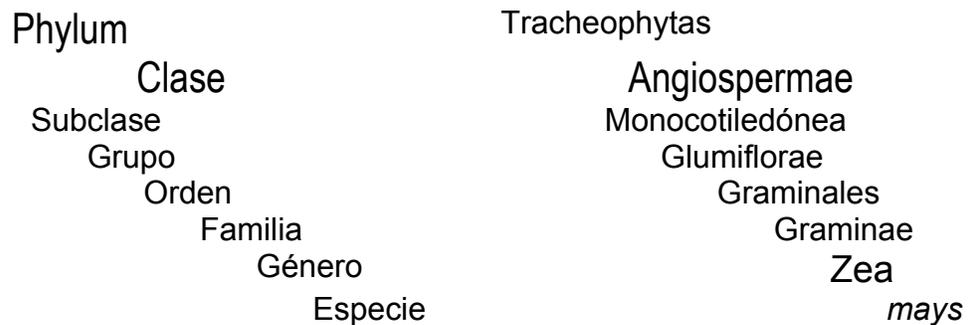
El maíz presenta dos tipos de flores ubicadas en diferentes lugares de la planta:

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 espiguilla 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 Ahlgren, 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 cariopside o cariopsis; cada grano contiene el revestimiento de la semilla, o cubierta seminal. Sus cuatro estructuras físicas fundamentales son: el pericarpio, cascara, 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:



### **Etapas fenológicas del maíz**

El desarrollo de una planta en sus diferentes etapas a sido descrita por varios autores (Tanaka y Yamaguchi, 1988; Denmead y Shaw, 1960), coincidiendo principalmente en dividir el crecimiento en 3 etapas o fases las cuales se describen a continuación:

Etapa o fase vegetativa. En general comprende el desarrollo y crecimiento de la plantula desde la siembra hasta la diferenciación floral, es decir, desde la siembra hasta 8 días 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 o fase 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 o fase de llenado de grano. Este período 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, espatas y raquis). El principal fenómeno que ocurre en esta etapa es la maduración fisiológica de la semilla.

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 etapas fenológicas de la planta de maíz según Hanway (1962).**

ETAPAS	*DDS	DESCRIPCIÓN
0 (VE)	0	Emergencia de la planta del suelo; al emerger la punta del coleóptilo se detiene la elongación del primer entrenudo (mesofilo).
.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 (12)	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 radícula, 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

\* DDS.- Días después de la siembra.

### 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 expuesta durante el ciclo.

Los efectos climáticos más importantes que determinan el buen desarrollo de la planta en la diferentes regiones son: temperatura, luz, humedad y suelo.

**Humedad:** La precipitación es una de las principales fuentes de humedad del suelo, y su importancia radica en regiones donde existe déficit de lluvia, las lluvias están mal distribuidas siendo esto una limitante para los cultivos, este problemas es mayor en regiones donde no tienen riego. Francis (1971), señala que el uso del agua en el cultivo de maíz aumenta hasta la época de floración y cuando la planta tienen su máxima superficie foliar. El consumo de agua se mantiene en un alto nivel hasta 50 mm por semana o más durante el llenado de grano, después la cantidad de agua se reduce para terminar el ciclo reproductivo y llegar a la madurez fisiológica. Un estrés de agua en la época de llenado de grano puede reducir el crecimiento desde un 20 hasta un 50 %.

Neild (1982), observó que se obtienen buenos rendimientos de maíz cuando la precipitación es superior a la media. Las investigaciones de Robins y Domingo (1953), indican que si la humedad del suelo desciende drásticamente en el período de espigamiento, el rendimiento del maíz puede ser afectado hasta un 50 por ciento. Por su parte Russell y Danielson (1956), indican que la falta de humedad en la época de espigamiento, manifiesta los síntomas en las hojas y se afecta la formación de semilla tanto en calidad como en cantidad.

Otras investigaciones demuestran que el período crítico de humedad en maíz, es durante el llenado de grano (45 días después de la fecha de espigamiento). Por su parte Griffiths (1985), indica que el agua interviene en el crecimiento y producción de los cultivos cuyos niveles van desde el punto de marchitez permanente, hasta la capacidad de campo, afectando en ambos casos a los cultivos.

**Luz, intensidad y duración:** La radiación es un proceso físico mediante el cual se transmite 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 fotoperíodo. 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; las plantas no eficientes son aquellas cuya conversión la realizan por la ruta C3. El fotoperíodo 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 fotoperíodo (Francis, 1971).

Francis et al., (1969), al evaluar 40 líneas y dos híbridos de maíz para conocer la reacción a la longitud de día encontró que 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 fotoperíodo.

El estudio realizado por Struik (1983), para conocer el efecto del fotoperíodo en la fenología de la planta, producción y calidad de forraje del maíz, encontró que el fotoperíodo tuvo 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 fotoperíodo 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 fotoperíodo. Francis (1972), no encontró sensibilidad al fotoperíodo cuando se sometió al maíz entre 9 y 16 horas de luz a 21°C.

**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 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).

### **Unidades calor**

Dado que la temperatura es uno de los factores que más afectan el desarrollo y crecimiento de las plantas, su efecto puede ser conocido a través de las unidades calor, grados días o unidades térmicas. Por tal motivo Andrew

et al., (1956), reportó que al comparar el método de acumulación de unidades calor respecto al de días calendario para clasificar híbridos de maíz en base a la madurez fisiológica, no encontró diferencia entre ellos debido principalmente a la poca variación climática entre localidades y también a que asumieron el período de floración y madurez fisiológica como constante.

Sin embargo Mederski et al., (1973), al sembrar híbridos de maíz con intervalos de una semana y dispersos en siete localidades, encontraron que el método de unidades calor, fue superior al de días calendario, al comparar los cocientes de variación obtenidos para días a la floración. Por su parte De Fina y Ravello (1973), al estudiar el ciclo del cultivo encontraron que éste no es constante y varía según la región, localidad, año y fecha de siembra al sumar la temperatura media diaria desde germinación hasta la madurez fisiológica sea la misma, a la que se conoce como constante térmica, pero esto no se cumple ya que influyen otros factores ambientales en el crecimiento y desarrollo de las plantas.

Phillips et al., (1975), señalan que la acumulación de temperatura en grados días, son índices que se han desarrollado para delimitar las etapas fisiológicas de las plantas en el caso del maíz necesita acumular diferentes unidades calor para completar el ciclo productivo según sean precoces o tardíos.

Históricamente el número de días desde siembra a cosecha ha sido usado para clasificar la maduración del maíz híbrido, pero en años recientes la madurez comercial es a menudo determinada por los grados de desarrollo en días (GDD) o unidades calor (UC) (Neild y Newman, 1987), las cuales pueden ser definidas como la diferencia entre la temperatura media diaria y una temperatura base selecta, sometida a ciertas restricciones (Eckert y Hicks, 1986).

Desde 1730 se ha venido empleando la acumulación de calor expresada actualmente como “días-grado” ( $D^{\circ}$ ) para describir el efecto de la temperatura en los procesos biológicos de los organismos (Wang, 1960). El “día-grado” es una estimación numérica del desarrollo de los organismos basado en la relación de la temperatura ambiental y las temperaturas umbrales inferior y superior, definidas como límites en que la tasa de desarrollo es cero (Allen, 1976). Con la gran variedad de métodos de computación, las unidades calor o índices de acumulación de calor han sido llamadas de diferentes maneras como grados desarrollo en unidades, unidades de desarrollo, unidades calor efectivas y grados de desarrollo en días (Schmidlin y Dethier, 1987). También se conoce como constante térmica o constante varietal (Newman *et al.*, (1969). Sin embargo el nombre más común es grados de desarrollo en días, siendo mayormente usado en los Estados Unidos por representar un medio de medición rápido en el desarrollo y maduración.

Villalpando *et al.*, (1991) mencionan a estos índices de acumulación de calor como medios para la posible determinación de la adaptación y zonificación de los cultivos agrícolas, entre los cuales señala a las unidades térmicas, unidades fototérmicas, y a la amplitud térmica. Los primeros usos comerciales de las unidades calor ocurrieron en los 40's en la industria procesadoras de vegetales, en la programación de siembra y cosecha de chícharos (Schmidlin y Dethier, 1987).

Algunas aplicaciones de las unidades calor en la agricultura de acuerdo a Villalpando *et al.*, (1991) y Neild (1986) son las siguientes: a) Zonificación de variedades de cultivo, de acuerdo a las unidades calor disponibles en una región y a las unidades calor requeridas por un cultivo desde siembra hasta la maduración. b) Pronóstico de fases fenológicas de los cultivos, tales como emergencia, floración y madurez. c) Programación de actividades agrícolas tales como fecha de siembra, aplicación de insecticidas para el control de plagas y fechas de cosechas. d) Programación de fechas de siembra de

progenitores de maíz y sorgo en programas de producción de semillas. e) Clasificación de especies y variedades con unidades calor como una media estándar en lugar de días, para evitar las diferencias que se presentan para un mismo cultivar de una región a otra.

Los grados de desarrollo en días (GDD) son menos eficientes para la predicción de maduración si hay demasiada maleza, inadecuada fertilidad y especialmente baja humedad en los suelos (Newman *et al.*, 1969).

Los GDD para el cultivo del maíz según Eckert y Hicks (1986), se basan en dos hechos: primero, una planta debe acumular cierta cantidad de calor en orden a completar su ciclo de vida y segundo, la cantidad total de calor necesario puede ser relativamente constante para un híbrido dado.

Neild y Dreier (1975) al igual que Neild y Newman (1987) coinciden en que el concepto de GDD resulta de las observaciones siguientes: 1) Hay o existe un valor o temperatura base por debajo de la cual las plantas no se desarrollan o se desarrollan muy lentamente. 2) El índice o tasa de desarrollo se incrementa conforme la temperatura aumenta de arriba de esta temperatura base. 3) El crecimiento y desarrollo están más estrechamente relacionados con la acumulación de la temperatura media arriba de un valor base en ausencia de otras condiciones limitantes que solo con el tiempo.

A pesar de las muchas aplicaciones e intensivas investigaciones conducidas por dos siglos, el sistema de unidades calor (UC) ha sido sometido a serias criticas particularmente en los años recientes, siendo sus desventajas las siguientes: 1. Las plantas responden de diferente manera a los mismos factores ambientales durante varias etapas de su ciclo de vida. 2. El umbral de temperatura que se ha empleado en la computación de UC, es considerado como una constante, aplicada a todo ciclo de vida de una planta. 3. Algunos investigadores cuestionan que cuando todos los valores posibles del umbral de

32° a 50° F se probaron en forma sistemática se encontró que ninguno pudo dar alguna mejora en el sistema UC. 4. Otros señalan que las unidades calor requeridas para un proceso determinado es constante solo para un rango dentro del cual existe una proporcionalidad directa en el índice de desarrollo y temperatura. 5. El sistema de UC no toma en cuenta muchos factores que influyen el crecimiento y desarrollo de las plantas, tal como la humedad del suelo, déficit de presión de vapor, entre otros. 6. Finalmente con respecto a los problemas de microclima, la calidad representativa de la temperatura registrada usada para evaluaciones de UC es entre los problemas más complicados por resolver (Wang, 1960).

Una ideal medición de la longitud del tiempo entre la siembra y maduración puede mostrar diferencia entre genotipo, pero puede ser constante entre las diferentes condiciones ambientales. En cambio los GDD calculados de la temperatura diaria favorable para el crecimiento puede ser menos variable que la suma de días para ciertos períodos de crecimiento (Robinson, 1971).

### **Métodos de cuantificación de unidades calor**

Para el cálculo de unidades calor se han propuesto varios métodos como son: el directo, el fisiológico, el exponencial, entre otros teniendo cada uno diferente fundamento científico, sin embargo a través de evaluaciones se ha llegado a la conclusión de que los métodos residual y fisiológico son los que mejores resultados han dado (Villalpando *et al.*, 1991)

En un intento de encontrar mejores caminos para estimar las relativas diferencias de madurez en el maíz, Cross y Zuber (1972) utilizaron varias fórmulas para el cálculo de unidades calor, encontrando que la mejor ecuación para predicción de fechas de floración fue la que usó una temperatura base de 10°C y una óptima de 30°C lo cual concuerda con lo encontrado por Gilmore y Rogers (1958). Estas temperaturas son recomendadas para el cálculo de unidades calor en maíz por Neild y Newman (1987) y Eckert y Hicks, (1986).

En un estudio llevado a cabo por Flores *et al.*, (1985) utilizando cuatro métodos para clasificar la madurez en los cultivos de maíz y frijol, encontraron que los métodos más usados para estimar la acumulación de unidades calor fueron igualmente eficientes para relacionar el desarrollo fenológico con la cuantificación térmica, pues los coeficientes de determinación oscilaron entre 0.95 y 0.99 dependiendo del método y especie evaluada.

Gilmore y Rogers (1958) emplearon 15 diferentes métodos para estimar las "UC" requeridas para la floración en diferentes genotipos de maíz y bajo diferentes fechas de siembra encontrando que las "UC" tendieron a ser constantes a pesar de las fechas de siembra.

Cuatro diferentes métodos de cálculo de UC y el número de días del calendario fueron comparados por Tollennar *et al.*, (1979) desde la siembra a madurez fisiológica en 22 híbridos de maíz, encontrando que los coeficientes de variación para los cuatro métodos fueron menores para los asociados con el número de días calendario a madurez siendo de 5.2, 4.3 y 5.2 por ciento para los métodos, mientras que para los días de calendario fue de 8.0 por ciento, por lo tanto los métodos son más precisos en la medición de la madurez; estos resultados concuerdan con los encontrados por Mederski *et al.*, (1973) y Lana Haber (1952).

### **Índice de área foliar**

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.

El área foliar es uno de los parámetros más importantes en 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 estos se aplican a las hojas frescas (González, 1990).

Francis, et al., 1969 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.

Epstein y Robinson (1965), determinaron el área foliar en papa midiendo el contorno de la hoja con un planímetro correlacionando el área foliar con el peso seco obtuvieron una mayor correlación con la parte de la planta, encontraron también que el área foliar demostraba una relación lineal con respecto al largo y ancho de las hojas mencionan también una cerrada relación entre el área foliar y el largo de la hoja.

Wayne (1984), estimó mediciones longitudinales hechas desde la base del peciolo 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.

## **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 pueden hacer mejoramientos 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 sensible al medio ambiente y son de gran importancia la densidad de población, disponibilidad de agua y suministro de nitrógeno.

Para un alto rendimiento de grano se debe mantener un alto número de granos por unidad de área sembrada combinado 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, Tanaka y Yamaguchi (1981).

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 depende de la mazorca y se determina por el número de hileras y de granos en cada hilera, así mismo, el número de mazorcas que produzca cada planta influirá también en el potencial del y número de granos por planta.

## **Nitrógeno**

Cooke (1992) menciona que las reservas de los nutrimentos dependen mucho de la naturaleza del suelo y de cómo se utiliza. El nitrógeno inorgánico es efímero en los cultivos. Los cultivos en crecimiento lo absorben con rapidez y el que no absorben las plantas es probable que se lixivie o desnitrifique. Las reservas grandes y de larga duración de este elemento en los suelos están combinadas con la materia orgánica.

El nitrógeno en forma de proteína, está presente en el protoplasma celular. Se encuentra en muchos compuestos de importancia fisiológica en el metabolismo, como la clorofila, los nucleotidos, fosfátidos y alcaloides; así como en muchas enzimas, hormonas y vitaminas. Hace las plantas de color verde oscuro y más suculentas; también hace que las células sean más grandes con las paredes celulares más delgadas. Aumenta la proporción de agua y reduce el porcentaje de calcio en los tejidos de la planta, Tamhane, *et al.*, (1964).

El nitrógeno desempeña un papel esencial en la síntesis de materia viva a partir de la sustancia mineral. En el protoplasma de la célula se combina con otros elementos fundamentales para formar proteínas. Es uno de los constituyentes principales de la clorofila, Bartolini (1989).

Llanos (1984) menciona que las concentraciones más altas de nitrógeno se encuentran en las semillas. Los granos contienen aproximadamente un 2 por ciento de materia seca. Los tallos y hojas presentan concentraciones entre 0.6 y 0.8 por ciento. Las variedades híbridas seleccionadas por sus altos

rendimientos de grano y su buena calidad nutritiva, están especializados en la síntesis proteica por lo que representan las concentraciones más elevadas en sus semillas y las bajas en sus órganos vegetativos. Aproximadamente  $\frac{3}{4}$  del nitrógeno extraído del suelo es aprovechado por la planta para la formación de sus órganos reproductores y semillas.

### **Proteína**

Químicamente las proteínas son moléculas grandes de muy alto peso que están compuestas por los elementos: hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y en ocasiones por fósforo y azufre. El contenido de nitrógeno en la proteína mantiene una relación bastante constante en los granos de los diferentes cereales. Así para maíz, sorgo y arroz, esta proporción es de 16 por ciento, razón por la cual para estimar el contenido de proteína total, se multiplica el porcentaje de nitrógeno analizado por el factor 6.25 que proviene de la relación porcentual de 100/16. Poey.(1978).

Las proteínas están formadas por largas cadenas sin ramificaciones y compuestas por subunidades denominadas aminoácidos esenciales o unidades estructurales. Los aminoácidos es la unión de un carbono a un grupo amino y un grupo carboxilo ácido. Muchos de los aminoácidos son del tipo alfa, el resto de la molécula es distinta. Bourges (1982). Los 20 aminoácidos se obtienen por el desdoblamiento de las proteínas estos aminoácidos están mediante enlaces peptídicos con eliminación de una molécula de agua para formar la molécula de proteína. Krause (1970).

Son polímeros de alto peso molecular aproximadamente  $1 \times 10^4$  a  $1 \times 10^6$  Daltones y por su función biológica se les conoce como biopolímeros. Badui (1981).

Por su complejidad y diversidad es difícil clasificar las proteínas, por lo cual se utilizan criterios como: Solubilidad, coagulación, participación de residuos diferentes a los aminoácidos (grupos prostéticos). Braverman (1980)

Badui (1981) las clasifica por su composición, forma, solubilidad y función biológica, como las más importantes por criterio su composición, y clasificándolas en: proteínas incompletas (simples) y completas (conjugadas).

El grano de los cereales contiene un 10 % de proteína del total de sus proteínas que se encuentran en el germen y el otro 80 % se encuentra en el endospermo (Krause, 1970).

En células de endospermo de maíz cultivado in vitro con la presencia de un azúcar depositado en el nucleósido, se secreta hidrolasa dentro del medio de cultivo. Todas las hidrolasas son aparentes glucoproteínas las cuales tienen su papel fundamental en la secreción Riedell et al., (1988).

En estudios realizados sobre la presencia de agregados de maíz húmedo, la naturaleza de las estructuras proteínicas fueron investigada por medio de: aislamiento, analizando sus morfología y su degradación específica. En granos de maíz triturados se mostraron células del endospermo; las cuales son encerradas en una pared de células fibrosas. Se logró observar terrones de agregados de proteínas con pequeños y grandes gránulos. Una pequeña fracción del material fibroso fue encerrado en una matriz proteica Geosens et al., (1988).

### **III.- MATERIALES Y METODOS**

#### **Experimento de campo**

##### **Localización**

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° 20' 20" de latitud norte y 101° 01' 30" de longitud oeste y una altitud media sobre el nivel del mar de 1743 m.

##### **Clima**

En esta localidad el clima predominante, de acuerdo a la clasificación de Köppen modificada por E. García (1973), es el de tipo BWh<sup>o</sup>(x)(e) que equivale a un clima muy seco, semicálido, con invierno fresco, extremoso y verano cálido, lluvias intermedio entre verano e invierno, con una precipitación media anual de alrededor de 443 mm y una evaporación promedio anual de 2167 mm.

##### **Suelo**

El suelo es de origen aluvial, pertenece a la unidad taxonómica faeozem calcaría de acuerdo a CETENAL (1976), la pendiente del terreno es de 0.68 por ciento, la textura es migajón arcilloso con un contenido de materia orgánica de

2.43 por ciento, medianamente ricos en nitrógeno y fósforo, y rico en potasio; el pH es ligeramente ácido (6.33) y una densidad aparente alrededor de 1.17g cm. Las constantes específicas del suelo de capacidad de campo y un punto de marchitez permanente promedio del perfil fueron de 26.59 y 13.54 % Vol. de tal forma que la humedad aprovechable es de 13.05 %Vol.

### **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 son:

**Cuadro 3.1. características agronómicas del maíz híbrido AN-447.**

Tipo de grano	Blanco, semidentado
Forma de mazorca	Cilíndrica
Tamaño de mazorca	Grande
Altura de planta	Promedio de 2.8 mts. (2.5-3.10 mts.)
Altura de mazorca	Promedio de 1.3 mts. (1.2-1.5)
Ciclo vegetativo	Intermedio
Floración	De 75 a 80 días
Días a cosecha(de grano)	De 140 a 150 días
Tipo de hoja:	Semirecta
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)

## **Tratamientos evaluados**

El estudio consistió 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 el índice de área foliar, rendimiento de grano y conocer la concentración de nitrógeno y proteína en la parte aérea de la planta.

Tratamiento 1. En el cual el cultivo se desarrolló bajo condiciones de un 25% de abatimiento de la humedad aprovechable, para lo cual se le aplicaron 7 riegos durante el desarrollo del cultivo, en el cuadro 3.2, se presenta la distribución de los riegos aplicados durante el cultivo y la cantidad de agua aportada al momento del riego.

Tratamiento 2. Se aplicaron 6 riegos durante el desarrollo del cultivo, ya que este tratamiento se realizó con un 50% de abatimiento de la humedad aprovechable, la cantidad de agua aplicada y distribución de los riegos se muestra en el cuadro 3.2.

Tratamiento 3. Se aplicaron 5 riegos debido a que este tratamiento se encontraba a un 75% de abatimiento de la humedad aprovechable, la distribución de riegos y cantidad de agua aportada se presenta en el cuadro 3.2.

A los tres tratamientos se les aplicó un riego de presembrado de 13 cm para llevar a capacidad de campo.

**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>No. DE RIEGOS</b>	<b>*DDS</b>	<b>*Lr. (cm.)</b>
1	9	4.05
2	52	6.0
3	64	8.84
4	78	6.64
5	112	9.768
6	121	7.74
7	131	4.98
Total		<b>48.018</b>
<b>TRATAMIENTO 2</b>		
1	9	4.05
2	53	6.00
3	64	7.728
4	72	6.95
5	114	16.87
6	131	5.55
Total		<b>47.148</b>
<b>TRATAMIENTO 3</b>		
1	9	4.05
2	56	6.00
3	77	14.171
4	112	19.32
5	128	7.95
Total		<b>51.491</b>

\*DDS: Días después de la siembra.

\*Lr: Lamina de riego.

### **Establecimiento del experimento**

Cada tratamiento se estableció en una superficie de 120 m<sup>2</sup> (10 x 12), constando de 13 surcos de 10 m de largo y una separación entre surco de 0.85 m., las parcelas estuvieron separadas por una franja de 2 m.

La preparación del terreno se efectuó durante el 14 de mayo, realizándose un barbecho y dos rastreos. El riego de presiembra se aplicó el 27 de mayo con la finalidad de llevar la parcela a capacidad de campo.

La siembra se realizó el día 4 de junio de 1999, previamente se rastreó el suelo, se sembraron las semillas a una distancia entre semilla de 18-20 cm y una separación entre surcos de 0.85 m. para una densidad de población de 58,800 ptas./ha. Al momento de la siembra se fertilizó con la dosis 60-100-00, siendo la fuente de nitrógeno el sulfato de amonio (20.5-0-0) y la fuente de fósforo el MAP (11-55-0).

### **Manejo del cultivo**

La escarda se realizó el día 13 de julio esta actividad se efectuó con un azadon, con la finalidad de lograr un control de malezas y arrimar un poco de tierra a la base de la planta.

La labor de aporque se efectuó del 16 al 20 de julio, cuando el cultivo se encontraba en la etapa de ocho hojas, previo a esta actividad se realizó la incorporación de la segunda fertilización con al dosis 140-00-40, como fuente de nitrógeno se utilizó sulfato de amonio (20.5-00-00) y como fuente de potasio el sulfato de potasio (00-00-50).

### **Medición de humedad**

Se determinaron las constantes de humedad del suelo por estratos, capacidad de campo por el método de campo y punto de marchitez permanente por ollas de presión.

Para la medición del contenido de humedad del suelo, se utilizó el método del aspersor de neutrones (Troxler-4300).

Primeramente se realizó la calibración del aparato, para esto se instalaron dos tubos de aluminio, enterrándose a una profundidad de 140 cm, en una superficie de un metro cuadrado por tubo, uno de los tubos se encontraba en condiciones de capacidad de campo (punto húmedo), el otro tubo se encontraba en punto de marchitez permanente (punto seco), se tomaron medidas de humedad con el aspersor de neutrones y con el método gravimétrico en estrato de 20 en 20 cm hasta llegar a los 140 cm, con estos puntos se realizó una regresión lineal para calibrar el aparato, de tal manera que permitió detectar las constantes de capacidad de campo y punto de marchitez permanente para el suelo del área experimental.

En el centro de cada una de las parcelas se instaló un tubo de aluminio de dos pulgadas de diámetro (uno por tratamiento), se colocó a una profundidad de 140 cm, la parte superior del tubo se cubrió con una tapadera de plástico para evitar la entrada de agua de lluvia o cualquier otro objeto que perturbara el funcionamiento del aspersor de neutrones, durante el ciclo del cultivo se realizaron mediciones de humedad, los contenidos de humedad base volumen se presentan en los cuadros A 1, A 2 y A 3 del apéndice.

## **Control de riegos**

Los riegos se aplicaron una vez que se presentaron las condiciones de humedad permitidas para los tratamientos, los estratos de 0-20 cm hasta llegar a 140 cm se utilizaron como indicador de riego.

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 llegar un mejor control de la cantidad de agua aportada por los aspersores. Las ecuaciones para determinar cuando y cuanto regar son las siguientes:

$$LR = \frac{(PV_{cc} - PV_x) \cdot Prof.}{100}$$

100

Donde:

Lr = Lámina de riego.

PV<sub>cc</sub> = Contenido de humedad en porcentaje volumen a capacidad de campo.

PV<sub>x</sub> = Contenido de humedad en porcentaje volumen previo al riego.

Prof = Profundidad del suelo o estrato en cm.

Para determinar el contenido de humedad en el suelo se utilizó la ecuación de calibración del dispersor de neutrones:

$$PV_x = 0.935 + 37.1 (RC)$$

RC = Relación de conteo.

## Información climática

Fue proporcionada por la estación del Servicio Meteorológico Nacional ubicado en los terrenos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, considerándose el periodo en que se realizó el experimento de campo (Junio a Noviembre de 1999), se consideraron las siguientes lecturas:

- Humedad relativa.
- Temperatura máxima, mínima y media.
- Insolación (cantidad de horas que alumbró el sol).
- Precipitación pluvial.
- Evaporación.

## **Descripción de etapas fenológicas y determinación del índice de área foliar(IAF).**

Durante el desarrollo del cultivo se realizaron muestreos de planta para determinar el IAF y describir la etapa fenológica del cultivo. En el presente estudio se realizaron 9 muestreos.

En cada muestreo se tomaron 6 plantas en competencia completa. Inicialmente se efectuó la descripción de la etapa fenológica utilizando la metodología de Hanway (1963). Posteriormente se procedió a separar los diferentes órganos (hojas, tallo, flor, elote). El área de cada planta una de las hojas fue obtenida por la siguiente fórmula:

$$AF = A \times L \times 0.75$$

Donde:

A = Ancho de la hoja.

L = Largo de la hoja.

0.75

Una vez conocida el área foliar por planta se sumaron el de las 6 plantas y se dividió entre 1.02 m<sup>2</sup> que es el área ocupada por ellas en el campo, el resultado representa el IAF del cultivo.

$$IAF = \frac{\text{Area foliar de la planta}}{\text{Area de suelo que ocupa la planta}}$$

Posteriormente a la medición del área foliar las plantas completas se introdujeron a la estufa con una temperatura de 60°C durante 48 horas, para luego pesarlas y obtener el peso seco o contenido de materia seca por planta.

## Rendimiento

Para evaluar el rendimiento de grano en los 3 tratamientos, se cosecharon 9 subáreas de 4.25 m<sup>2</sup>, representando cada área una repetición(9), posteriormente se desgranó la mazorca. Se le determino el contenido de humedad y se corrigió el peso a un contenido de humedad en el grano de 15 por ciento.

El rendimiento económico fue ajustado a un 15 % de humedad que es la humedad comercial que se requiere (Martinez, 1994) siguiendo la siguiente ecuación:

$$Ra = \left[ \frac{(Rr)(100 - \%H)}{100 - \%He} \right]$$

Donde:

Rr: es el rendimiento por repetición en Ton/ha

% H: es la humedad de campo de acuerdo al tratamiento y sus repeticiones de campo

% He: es la humedad estándar o comercial (15 %)

## Concentración de nitrógeno

El porcentaje de nitrógeno fue determinado en el laboratorio de Fitoquímica del Departamento de Fitomejoramiento por el método de Kjeldahl.

Para determinar el % de N combinado de la planta se empleo la siguiente ecuación:

$$\%NC = \left[ \frac{\left( \frac{\%NP}{100} * PSP \right) + \left( \frac{\%NO}{100} * PSO \right) + \left( \frac{\%NG}{100} * PSG \right)}{PSP + PSO + PSG} \right] 100$$

**Donde:**

%NC: porcentaje de nitrógeno combinado total en la planta

%NP: porcentaje de nitrógeno en la planta (tallos y hojas)

%NO: Porcentaje de nitrógeno del olote

%NG: porcentaje de nitrógeno en el grano

PSP: peso seco de la planta (tallos y hojas)

PSO: peso seco del olote

PSG: peso seco del grano

## Concentración de proteína

A partir del contenido de nitrógeno se determinó el contenido de proteína multiplicando por un factor de \*6.25.

$$\% \text{ de proteína} = \% \text{ de nitrógeno} * 6.25$$

Para determinar el contenido de proteína combinada se utilizó la siguiente ecuación:

$$\%PC = \left[ \frac{\left( \frac{\%PP}{100} * PSP \right) + \left( \frac{\%PO}{100} * PSO \right) + \left( \frac{\%PG}{100} * PSG \right)}{PSP + PSO + PSG} \right] 100$$

### Donde:

%NC: porcentaje de proteína combinada total en la planta

%NP: porcentaje de proteína en la planta (tallos y hojas)

%NO: porcentaje de proteína del olote

%NG: porcentaje de proteína en el grano

PSP: peso seco de la planta (tallos y hojas)

PSO: peso seco del olote

PSG: peso seco del grano

### Obtención de unidades calor (UCA)

Para determinar las unidades calor acumuladas se tiene que tomar en cuenta las temperaturas medias diarias de la emergencia, hasta la maduración.

Es muy importante tener en cuenta el punto crítico (PC) para el cultivo, el cual presenta la temperatura media de aire a partir del cual empieza el crecimiento de la planta . En el caso del maíz el punto crítico es considerada una temperatura media de 7.2.

Para determinar la unidad calor diaria se observa la diferencia entre la temperatura media diaria (Tm) y el punto crítico (PC).

$$UC = [ Tm - PC ]$$

La temperatura media es obtenida con la siguiente ecuación:

$$Tm = [ \frac{T. \text{Máxima} + T. \text{Mínima}}{2} ]$$

Donde:

T máxima = temperatura máxima diaria (°C).

T mínima = temperatura mínima diaria (°C).

Para las unidades calor acumuladas será una sumatoria de las unidades calor diarias de todo el ciclo fenológica como muestra la ecuación siguiente:

$$UCA = \sum_{i=1}^n (UC)$$

## IV. - RESULTADOS Y DISCUSION

### Información climática observada durante el ciclo de cultivo

**Cuadro 4.1. Información climatológica mensual promedio durante el ciclo del cultivo en la estación de Buenavista, Saltillo, Coahuila.**

Mes	Temperaturas			Agua			Radiación	
	Max.	Min.	Med.	Lluvia (mm)	Evap. (mm)	Hum (%)	Ins. Minutos	Int. calorías
<b>Junio</b>	28.8	15.2	22.0	106.8	153.42	68.0	12322.0	12156.0
<b>Julio</b>	26.9	14.9	20.9	89.4	152.90	69.0	14527.0	13476.0
<b>Agosto</b>	28.7	14.2	21.5	36.4	181.79	60.0	17866.0	13752.0
<b>Septiembre</b>	26.4	13.0	19.7	13.3	135.70	70.0	15712.0	11649.0
<b>Octubre</b>	23.3	8.9	16.1	4.3	127.69	57.0	-	-
<b>Noviembre</b>	21.2	5.9	13.5	0.0	111.09	51.0	-	-

Los eventos meteorológicos observados durante el ciclo del cultivo se muestran en el cuadro anterior. Durante el ciclo de cultivo se puede observar que en cuanto a temperaturas el mes más caliente fue el mes de junio con una temperatura media mensual de 22.0 °C que abarcó desde la siembra a la etapa de tres hojas en tanto que el mes de noviembre fue el mes más frío con una temperatura media mensual de 13.5 °C que comprendió principalmente la etapa de madurez fisiológica. En cuanto a la humedad se puede mencionar que el periodo de lluvias comprendió principalmente los meses de junio y julio (106.8 y 89.4 mm respectivamente) el mes más húmedo fue junio con 106.8 mm de precipitación y con una HR de 68.0 % y el mes más seco fue el mes de noviembre sin precipitación alguna y una HR con un 51.0 %.

## Unidades calor acumuladas

**Cuadro 4.2. Unidades calor acumuladas durante el ciclo del cultivo del híbrido de maíz AN-447 y etapas fenológicas observadas (Hanway,1963),**

DDS	Etapas fenológicas	UCA
19	V 3	270.1
30	V 5	437.5
41	V 7	578.5
52	V 8	728.5
64	V 12	904.6
75	V 14	1073.6
87	V T	1235.3
101	R 2	1418.5
114	R 3	1578.6
128	R 4	1740.7
166	R 6	2012.0

DDS: Días después de la siembra  
UCA: Unidades calor acumuladas

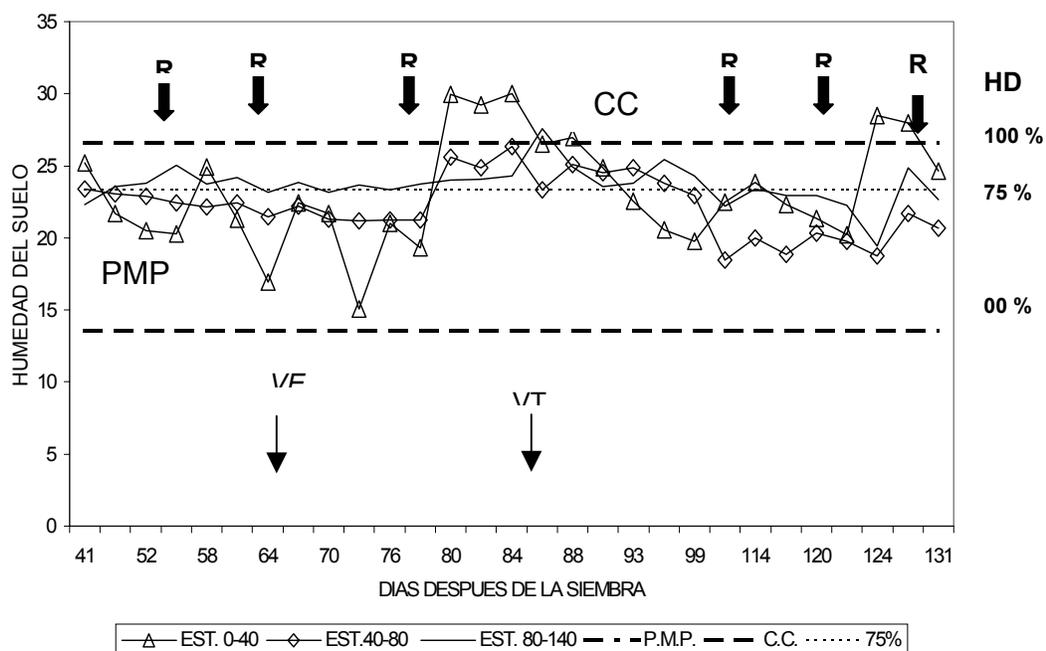
En cuadro 4.2 se presentan las Unidades calor acumuladas (UCA) para alcanzar las diferentes etapas fenológicas durante el ciclo del cultivo que comprendió del 4 de junio al 16 de noviembre 1999. Se puede observar que para alcanzar la etapa V3 acumuló 270.1 U.C., mientras que para la etapa de 14 hojas (V14) se acumularon 1073.6 U.C., en la floración (VT) se acumularon 1235.3 y finalmente en la etapa de madurez fisiológica (R6) se acumularon 2012.0 U.C..

## Dinámica de la humedad en el suelo

Los contenidos de humedad durante el ciclo del cultivo se presentan a continuación:

Al tratamiento 1, se le aplicaron un total de 7 riegos de auxilio, iniciándose a los 9 días después de la siembra ( 1er. Riego de 4.05 que no aparece en la fig. 4.1) y concluyendo a los 131 días después de la siembra, la lamina total fue de 48.018 cm, la distribución de los riegos fue: cuatro riegos en el periodo de la siembra a la floración (VT), uno en el estado lechoso del grano y dos riegos durante el periodo de grano en estado lechoso a inicio de dentado.

**Figura 4.1. Comportamiento de la humedad del suelo y riegos (R) efectuados en el tratamiento 1, durante el desarrollo del cultivo del híbrido de maíz AN-447.**



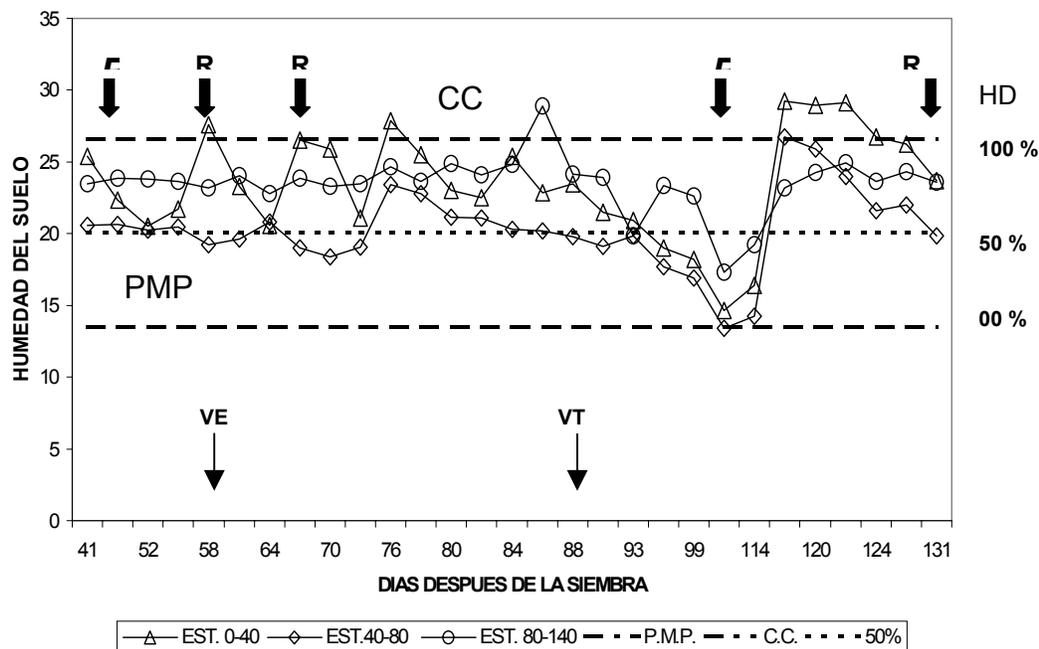
En la fig. 4.1 podemos observar que durante la etapa vegetativa (0-78 DDS) el estrato de 0-40 cm. alcanzó valores de humedad aprovechable inferiores al 75 % de humedad aprovechable no así los estratos 40-80 y 80-140 cm. que mantuvieron el contenido de humedad aprovechable muy cercano al 75 % de humedad aprovechable.

De los 80 a los 91 DDS los tres estratos presentan contenidos de humedad superiores al 75 % de humedad aprovechable.

A partir de los 92 DDS terminando a los 121 DDS los tres estratos presentan valores de humedad inferiores al 75 % de humedad aprovechable.

En el tratamiento dos se aplicaron seis riegos de auxilio, iniciándose a los 9 días después de la siembra y se aplicó el último a los 131, con una lamina total de 47.148 cm, distribuidos cuatro de siembra a floración, uno en estado lechoso (R3) y otro en estado de inicio de dentado (R4), durante las etapas fenológicas de grano dentado (R5) y madurez fisiológica (R6) no se aplicaron riego.

**Figura 4.2. Comportamiento de la humedad del suelo y riegos (R) efectuados en el tratamiento 2, durante el desarrollo del cultivo del híbrido de maíz AN-447.**



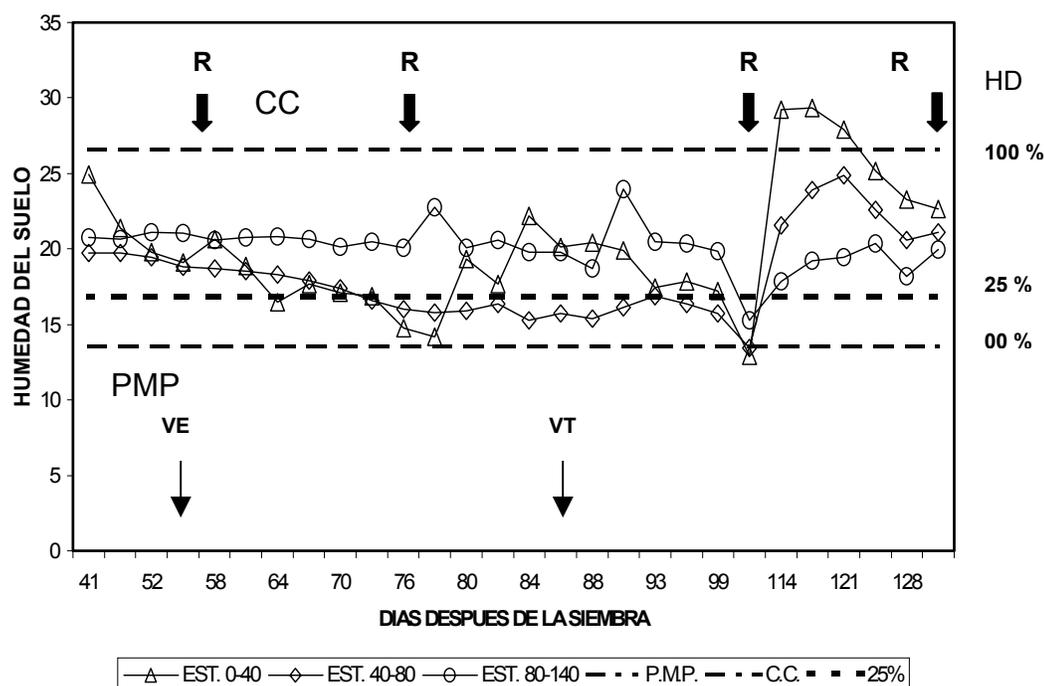
La fig. 4.2 presenta la evolución de la humedad del suelo en el tratamiento 2 durante el desarrollo del cultivo del híbrido de maíz AN-447, pudiéndose observar que durante la etapa vegetativa y la reproductiva (0-91 DDS) los estratos de 0-40 y 40-80 cm. presentan valores de humedad superiores al 50 % de humedad aprovechable y estrato de 80-140 cm. presenta valores cercanos al 50 % de humedad aprovechable.

De los 92 a los 114 DDS se observa un descenso de humedad en los estratos 0-40 y 40-80 ubicándose por debajo del 50 % de humedad aprovechable. El estrato de 80-140 presenta valores superiores y posteriormente cercanos al 50 % de humedad aprovechable.

Finalmente de lo 116 a los 131 DDS en los tres estratos se observan valores de contenidos de humedad aprovechable superiores al 50 %.

Para el tratamiento tres estuvo sometido a mayor déficit de agua alrededor del 75% de abatimiento y al cual se le aplicaron 5 riegos como se observa en la figura 4.3, la distribución de los riegos fue: tres riegos de siembra a floración (VT), uno en la etapa de ampolla y otro en la etapa de inicio de dentado.

**Figura 4.3. Comportamiento de la humedad del suelo y riegos (R) efectuados en el tratamiento 3, durante el desarrollo del cultivo del híbrido AN-447.**



En la fig. 4.3 podemos observar el comportamiento que durante las etapas vegetativa y reproductiva los tres estratos alcanzaron valores de humedad superiores al 25 % de humedad aprovechable.

De los 96 a los 112 DDS se observa que los estratos se ubican con valores inferiores al 25 % de humedad aprovechable.

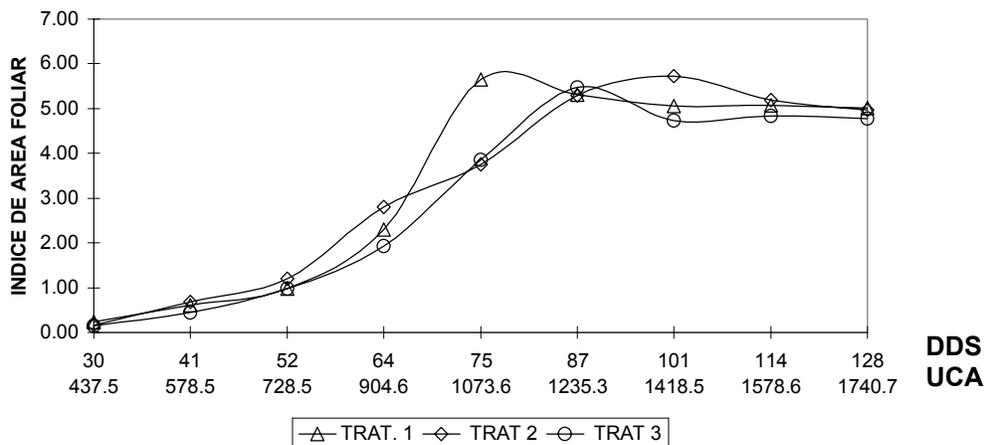
Después de los 114 DDS se observan valores superiores al 25 % de humedad aprovechable en los tres estratos.

El contenido de humedad de los diferentes tratamientos muestra en forma general evidencias sobre el comportamiento de plantas sometidas a estrés hídrico y otras sobre diferentes niveles de sequía, el período de mayor déficit hídrico en el suelo para los tratamientos 2 y 3 fueron las etapas vegetativa e inicio de floración. Es importante señalar que la aportación de agua por parte de las lluvias durante el desarrollo del cultivo fue de 250.2 mm principalmente en los meses de junio, julio y agosto que coincidió con los periodos de siembra a floración (86 DDS) la lluvia no tuvo efectos favorables ya que solo suprimió algunos riegos.

### Indice de área foliar

La evolución de esta variable se presenta en la figura 4.4, en función de los días transcurridos después de la siembra, para las tres condiciones de humedad.

**Figura 4.4. Valores de índice de área foliar observados para las tres condiciones de humedad en el suelo, durante el ciclo de cultivo.**



Observando el comportamiento de los diferentes tratamientos hasta los 30 DDS con 437.5 UCA el valor es de 0.247 para el tratamiento 1 de, 0.16 para el tratamiento 2 de 0.154 para el tratamiento 3. Posterior a esta fecha se observa un acelerado crecimiento en los tres tratamientos, el IAF se incrementa

debido a la generación de nuevas hojas. Al inicio de la floración (87 DDS) con 1235.5 UCA el IAF es 5.31 para el tratamiento 1, para el tratamiento 2 de 5.30 y 5.47 en el tratamiento 3, la tasa promedio de IAF es de 0.061, 0.0609 y 0.0682 m<sup>2</sup> hoja<sup>-1</sup> sup día<sup>-1</sup>.

Es importante señalar que un elevado IAF permitirá aumentar el número de fotosíntatos mediante el incremento de área que pueda elaborarlos, sobre todo en la etapa reproductiva para que estos se transloquen a la mazorca y grano para que esto se refleje en el rendimiento final. Bajo estas condiciones de humedad de manejo establecidos o los resultados finales indican que el mayor índice de área foliar fue para el tratamiento 1 con 5.01, seguido por el tratamiento 2 con 4.97 y al final el tratamiento 3 con 4.77, ambos alcanzados a los 128 días después de la siembra y acumulando 1740.7 UC.

## **Rendimiento**

Sobre las diferentes condiciones de humedad del suelo para cada tratamiento la resultante integradora es el rendimiento económico.

El cuadro 4.3 presenta las medias obtenidas para la variable rendimiento, en el cual se puede observar lo siguiente: el tratamiento 1 presenta más alto rendimiento (9990.5 kg/ha) el cual se desarrollo en suelo con menor déficit hídrico siendo esta condición favorable para el crecimiento de las plantas. En este tratamiento, el mayor rendimiento indica que los procesos fisiológicos como la translocación de fotosíntatos fueron más activos que en los tratamientos 2 y 3 cuyos rendimientos fueron de 8114.89 kg/ha y 6236.98 kg/ha respectivamente. Se establece que de acuerdo a la prueba de la diferencia mínima significativa (DMS), se detectaron diferencias estadísticas entre los tratamientos 1, 2, y 3.

**Cuadro 4.3. Comparación de las medias de rendimiento de grano mediante la prueba de la diferencia mínima significativa (DMS).**

Tratamiento	Medias kg/ha	Orden
T 1	9990.50	A
T 2	8114.89	B
T 3	6236.98	C

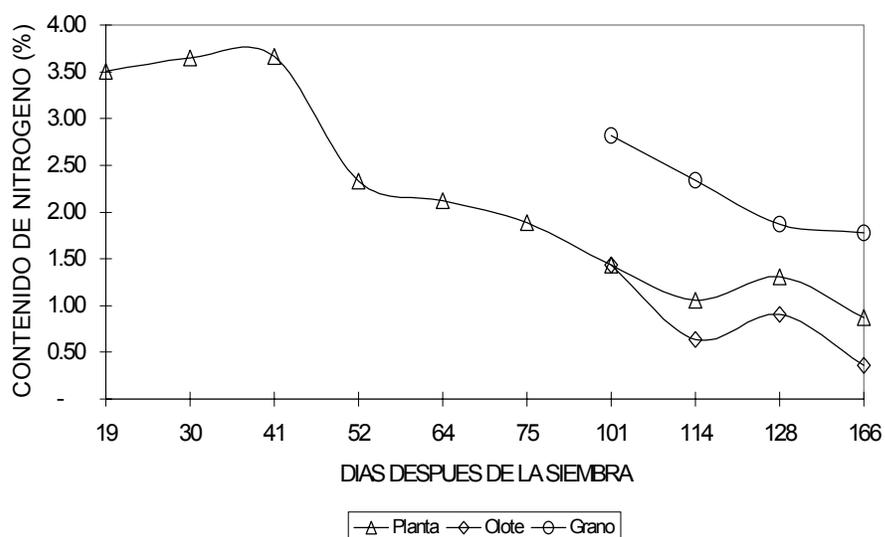
Valor de DMS = 1848.30

Significancia al 0.01 de probabilidad

Coefficiente de variación = 16.54 %

### Concentración de nitrógeno en la hojas y tallo, grano y olote

**Figura 4.5. Concentración de nitrógeno en hojas y tallo, olote y grano del tratamiento 1 durante el cultivo.**

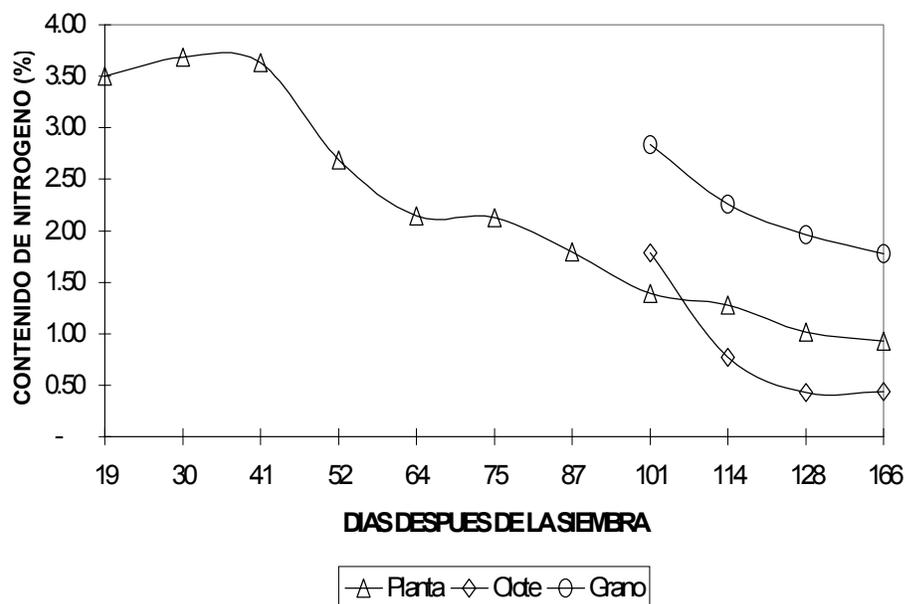


En la figura 4.5 se presentan las concentraciones de nitrógeno tanto en hojas y tallo, olote y grano. A los 19 DDS la concentración fue de 3.50. Mientras que a partir de los 52 DDS se observa un brusco descenso, disminuyendo a 2.33 % y a los 64 DDS el contenido fue de de 2.12 %. A los 101 DDS se empiezan a realizar los muestreos por partes (hojas y tallo, olote y

grano) y las concentraciones fueron las siguientes: hojas y tallo 1.43 %, olote 1.43%, y la concentración en el grano de 2.82 % y a los 128 DDS se obtuvieron las siguientes: 1.31 %, 0.90 % y 1.87 % respectivamente. Por ultimo se realizo el análisis al momento de la cosecha las concentraciones fueron: en hojas y tallo de 0.87%, en olote de 0.36% y en el grano de 1.78 %.

Lo anterior muestra que existe remobilización y translocación de nitrógeno de hojas y tallo al grano.

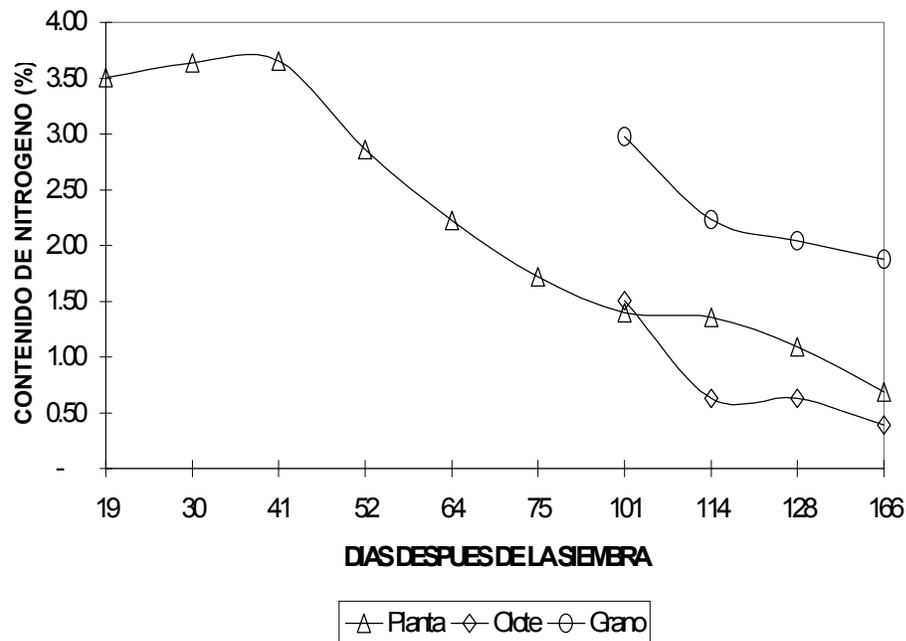
**Figura 4.6. Concentración de nitrógeno en hojas y tallo, olote y grano del tratamiento 2 durante el cultivo.**



En la figura 4.6 se presentan los contenidos de nitrógeno en hojas y tallo, olote y grano para el tratamiento 2 podemos observar que se obtuvieron concentraciones muy similares a las del tratamiento 1 a los 19 DDS sé tenía un valor de 3.50 % de nitrógeno mientras que a los 30 DDS se observa la mayor concentración más alta alcanzada durante el cultivo con un 3.69%. Posteriormente se observa un decremento a los 52 DDS con un 2.69 %. A los 87 DDS se reporta una concentración de 1.79 %. A los 101 se comienza a

analizar las hojas y tallo, olote y grano y las concentraciones observadas fueron las siguientes 1.40 % en hojas y tallo, 1.78 % en el olote y 2.84 % en el grano. Finalmente a lo 166 DDS (cosecha) se observa que las concentraciones fueron de hojas y tallo 0.93 %, en el olote 0.44 %, y una concentración en el grano de 1.78 %.

**Figura 4.7. Concentración de nitrógeno en hojas y tallo, olote y grano del tratamiento 3 durante el cultivo.**

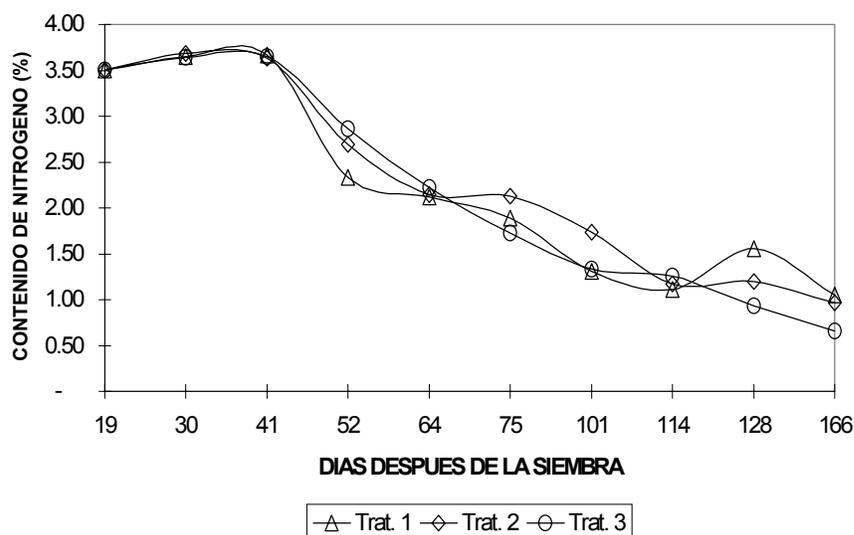


En la fig. 4. se presentan los contenidos de nitrógeno en las hojas y tallo, olote y grano para el tratamiento 3 podemos observar que las concentraciones observadas fueron las siguientes: a los 19 DDS se observó un valor de 3.50 % y a los 41 DDS muestra su valor más alto con un 3.65 %. También se observa un descenso en la concentración de nitrógeno a los 52 DDS con un 2.86 %, a los 75 se tiene una concentración de 1.72. a partir de 101 se realizó el análisis por partes y las concentraciones fueron en las hojas y tallo de 1.40 %, en olote 1.50 %, y en el grano de 2.98 %. Finalmente en la cosecha los contenidos fueron de 0.68 en hojas y tallo, 0.39 en el olote y en el grano de 1.88 %.

Los resultados muestran que el contenido de nitrógeno es superior en el grano que para los tratamientos 1 y 2. El riego aplicado a los 128 DDS pudo haber beneficiado la remobilización de nitrógeno de hojas y tallo hacia el grano.

### Concentración de nitrógeno combinado total

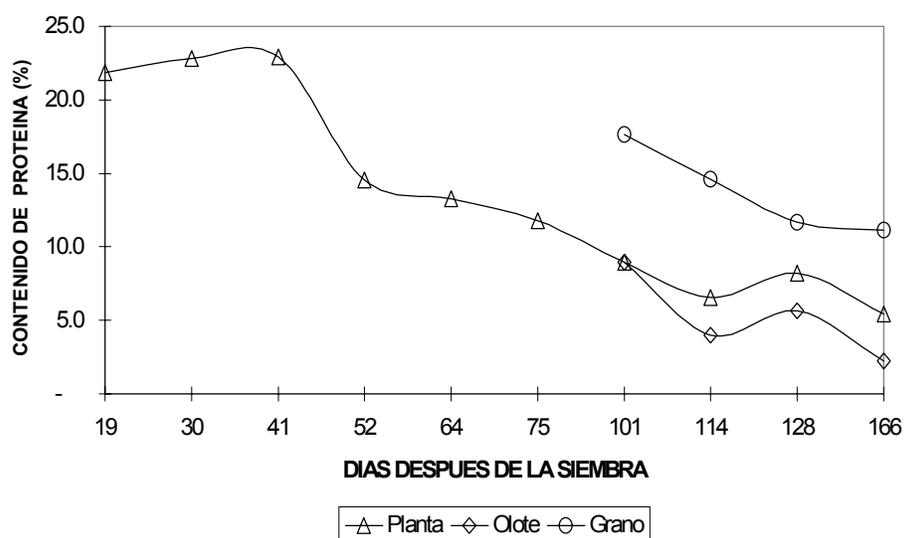
**Figura 4.8. Concentración de nitrógeno combinado total para los tratamientos durante el ciclo del cultivo.**



En la figura 4.8 se muestra el comportamiento de la concentración de nitrógeno combinado total en la parte área de la planta. A los 41 DDS fue de 3.67, 3.63 y 3.65 % para los tratamientos 1, 2 y 3 respectivamente. Posteriormente se observa un decremento, ya que a los 75 DDS la concentración es de 1.89, 2.13 y 1.72 % para los tres tratamientos 1, 2 y 3 respectivamente. Finalmente a los 166 DDS (cosecha) en el tratamiento 1 fue de 1.05 %, para el tratamiento 2 de 0.97 % y finalmente el tratamiento 3 con 0.66 % así que se puede mencionar que el tratamiento 1 fue superior a los otros dos tratamientos en cuanto a la concentración de nitrógeno.

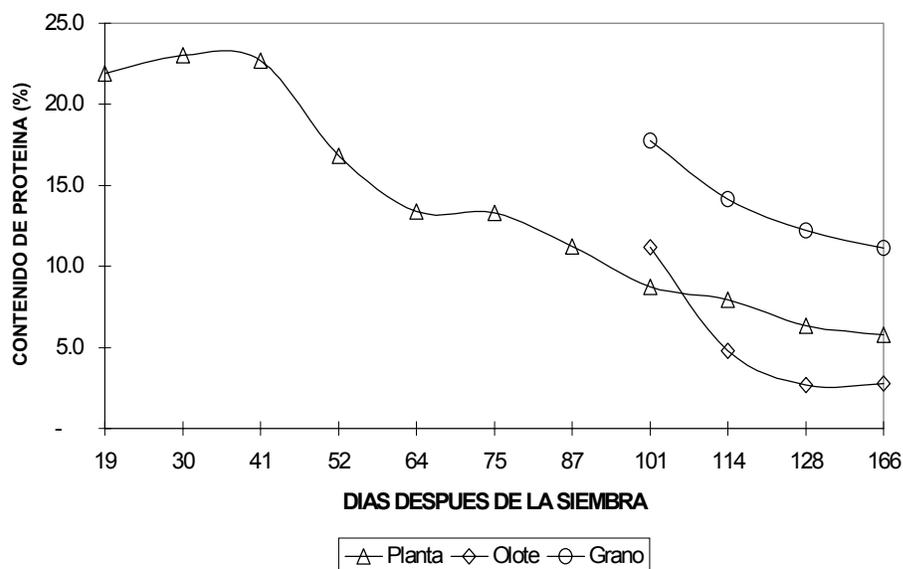
## Concentración de proteína en las hojas y tallo, grano y olote

**Figura 4.9. Concentración de proteína en hojas y tallo, olote y grano del tratamiento 1 durante el cultivo.**



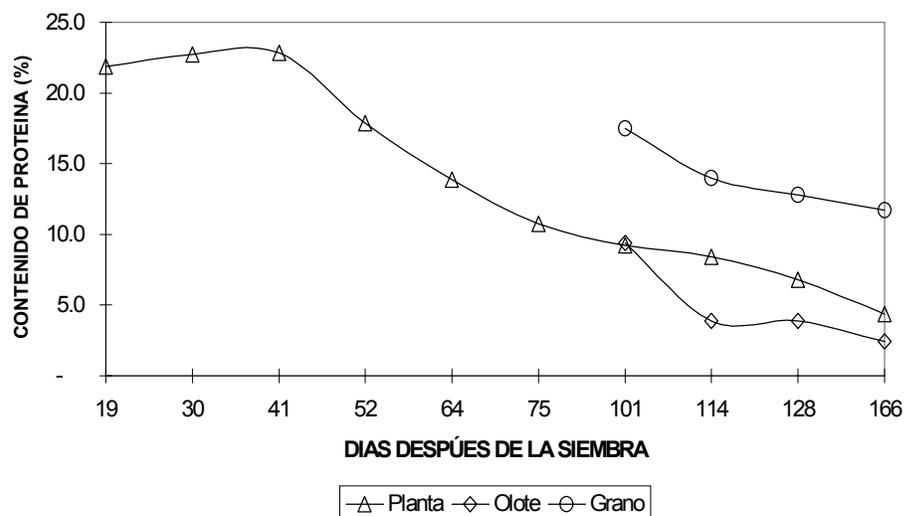
En la figura 4.9 se muestra el comportamiento de la concentración de proteína del cultivo tanto en las hojas y tallo, olote y grano. En la etapa de tres hojas (19 DDS) presentó una concentración del 21.9 % a partir de la etapa de siete hojas (41 DDS) la concentración pasa de 22.9 % a 14.6 % en la etapa de ocho hojas (52 DDS). En la etapa de catorce hojas (75 DDS) fue de 11.8 % la concentración a partir en la etapa de R2 (101 DDS) en hojas y tallo, olote grano fue de 8.9, 8.9 y 17.6 % respectivamente. Finalmente la concentración de las diferentes partes al momento de la cosecha fue de 5.4 % en hojas y tallo, de 2.3 % en olote, de 11.1 % en grano en la cosecha (166 DDS).

**Figura 4.10. Concentración de proteína en hojas y tallo, olote y grano del tratamiento 2 durante el cultivo.**



En la Fig. 4.10 se presentan las concentraciones de proteína evaluadas para el tratamiento 2. Durante la etapa de tres hojas (19 DDS) la concentración fue de 21.9 %, en la etapa de ocho hojas (52 DDS) fue de 16.8 % observándose desde este momento un fuerte decremento en la concentración. A partir de la etapa de R2(101 DDS) la concentración fue de 8.7 %, 11.2 % y 17.8 % para hojas y tallo, olote y grano respectivamente. En la cosecha las concentraciones fueron en hojas y tallo de 5.8 %, en olote de 2.8 y grano de 11.1%.

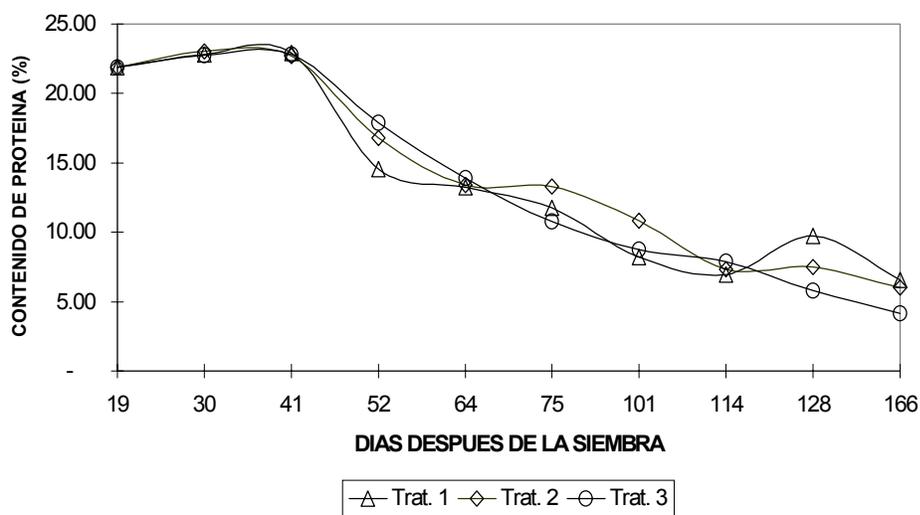
**Figura 4.11. Concentración de proteína en hojas y tallo, olote y grano del tratamiento 3 durante el cultivo.**



La fig. 4.11 presenta las concentraciones de proteína en el tratamiento 3. Durante la etapa de tres hojas (19 DDS) la concentración fue de 21.9 %, en la etapa de ocho hojas (52 DDS) de 17.9 % observándose desde este momento un fuerte decremento en la concentración. A partir de la etapa de R2 (101 DDS) la concentración fue de hojas y tallo, olote y grano que fueron las siguientes: 9.2 %, 9.4 %, 17.5 % respectivamente. En la cosecha se encontraron las siguientes concentraciones en las hojas y tallos (4.4 %), olote (2.4 %) y grano de (11.7 %).

## Concentración de proteína combinada total

**Figura 4.12. Concentración de proteína durante el cultivo bajo las tres condiciones de humedad de suelo.**



En la figura 4.12 se muestra el comportamiento de la concentración de proteínas combinada total en la parte aérea de la planta. A los 41 DDS la concentración fue de 22.9, 21.9 y 21.9 % para los tratamientos 1, 2 y 3 respectivamente. Posteriormente a esta fecha se observa un decremento en la concentración de proteína, a los 75 DDS la acumulación es de 11.8, 13.3 y 10.7 % para los tratamientos 1, 2 Y 3 respectivamente. Finalmente a los 166 DDS se obtiene la concentración final de proteína en la parte aérea de la planta que fue de 6.5 % para el tratamiento 1, de 6.0 en el tratamiento 2 y 4.2 para el tratamiento 3.

## V.- CONCLUSIONES

1. El índice de área foliar no se vio afectado por los diferentes tratamiento de humedad aplicados.
2. En rendimiento de grano se observaron diferencias significativas entre los tratamientos, obteniendo la mayor producción el tratamiento 1 con 9990.50 Kg./ha. Seguido por el tratamiento 2 (8114.89 Kg./ha.) y el tratamiento 3 (6236.98 Kg./ha.).
3. Los contenido de nitrógeno y proteína para el grano en cosecha no presentaron diferencias para los tratamientos de humedad. En cuanto al nitrógeno y proteína combinados total si se observaron diferencias entre tratamientos presentando, la mayor concentración el tratamiento 1.
4. Los resultados del estudio proporcionan mayor información para la utilización comercial de maíz híbrido AN-447 para grano o forraje..

## VI.- RESUMEN

El trabajo experimental se realizó en los terrenos de la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro", en donde se tiene un suelo migajón arcilloso. La siembra se realizó el día 4 de junio de 1999 y el material genético fue el maíz (*Zea mays*) híbrido AN-447 a una densidad de 58,800 ptas./ha, la dosis de fertilización empleada fue la 200-100-40 (N-P-K) fraccionada (al momento de la siembra 60-100-00 y al momento de cultivar a los 42 DDS, 140-00-40).

Se evaluaron tres condiciones de humedad del suelo: tratamiento 1 de menor déficit con un 25 % de abatimiento, al cual se le aplicaron siete riegos, tratamiento 2 con un 50 por ciento de abatimiento en donde se aplicaron seis riegos de auxilio y el tratamiento 3 en donde se aplicó un déficit del 75 por ciento de abatimiento con cinco riegos durante el ciclo del cultivo; cada tratamiento estuvo representado por una parcela de 120 m<sup>2</sup>. Las mediciones de humedad se realizaron con el dispersor de neutrones Troxler-4300.

Las variables evaluadas fueron el índice de área foliar (IAF), rendimiento de grano, contenido de nitrógeno y proteína en hojas y tallo, olote y grano, así como los valores combinados.

En cuanto al índice de área foliar se observó que el tratamiento 1 llegó a su valor más alto primero (75 DDS), seguido por el tratamiento 3 (87 DDS) y 2

(101 DDS), en rendimiento también el tratamiento más sobresaliente fue 1, seguido por el tratamiento 2 y 3.

Para las variables de contenido de nitrógeno y proteína combinados se puede mencionar el tratamiento 1 finalizó con mayor contenido, seguido por los tratamientos 2 y 3.

## VII.- LITERATURA CITADA

- Allen J.C. 1976. A modified sine wave method for calculating degree days, in *Environ Entomol*, 5: 388-396.
- Andrew, R.H, F.P. Ferwerda and A.M. Strommen. 1956. Maturation and yield of corns influenced by climate and production technique. *Netherlands Agronomy Journal*, 48:231-236.
- Bartolini, C. 1989. *La Fertilidad de los Suelos*. Agrogúas Mundi-Prensa. Madrid.
- Badui, d. g. 1981. *Química de los Suelos*. 1ª Edición. Ed. Alalambra Mexicana. UNAM. México. Pág. 41 - 59, 78 - 82, 107 - 117.
- Bourges, H. 1982. *Nutrición y Alimentos su Problemática En México*. 1ª edición. Continental, S. A. De C. V. México. Pág. 24 - 33.
- Braverman, J.,B.,S. 1980. *Introducción a la Bioquímica De Los Alimentos*. 1ª Edición. El Manual Moderno, S.A. Pág. 5 - 11, 78 - 79, 113 - 129.
- Comisión Nacional Estudios del Territorio Nacional (CETENAL). 1976. Saltillo, carta edafologica 644C33. Escala 1:50000. México.
- Cooke, G. W. 1992. *Fertilización para Rendimientos Máximos*. 5ta Reimp. Ed. CECSA. México.
- Crofts, C.F., D.L. Jackson, D.M. Martín and J.C. Patrick. 1971. *Los vegetales y sus cosechas. Fundamentos de Agricultura Moderna*. 2ª Edición Aedos, Barcelona, España.
- Cross, H. Z. And M.S. Zuber. 1972. Prediction of flowering dates in maize based on different methods of estimating thermal units. *Agronomy Journal*, 64:351-355.
- De fina, A.L. Y A. C. Ravello. 1973. *Climatología Y Fenología Agrícola*. Editorial Universitaria, Buenos Aires, Argentina. P. 201-209.

- 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. *Agronomy Journal*, 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.
- Eckert, D.J. and D.R Hicks. 1986. Maturity rating systems for corn cooperative extension service. Iowa State University.
- Epsteins, E, and R.R. Robinson 1965. A rapid method of determining leaf area of potato plants. *Agronomy Journal*, 57:515-516.
- F.A.O. 1993. El maíz en la nutrición humana. Organización de Naciones Unidas Unidad para la Agricultura y Alimentación. Roma. P 1-13.
- Flores, M.J., J.L. Chan, C., y A. Bravo L. 1985. Fenología de maíz y frijol en el altiplano de Zacatecas 11. Unidades calor (UC) y desarrollo fenológico. *Revista Fitotecnia*. Num. 7.
- Francis, C.A., C.O. Grogan and D.W. Speerling. 1969. Identification of photoperiod insensitive strains of maize. *Crop. Science*, 9:675-677.
- Francis, C.A. 1971. Influencia del medio ambiente en el crecimiento y desarrollo del maíz. 9 p.
- Francis, C.A. 1972. Photoperiod sensitivity and adaptation in maize. L. Population differing in genotype and density and growth under illuminance stress . *Ecol. Plant*, 14:13-26.
- Garcia, E. De M. 1974. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen, primera edición.
- Goosens, J., Derez, F., Bahr., K.H. 1988. Presence of starch/protein aggregates in the endosperm in the endosperm of corn.res. & De velopment, B-1800 vilvoorde Belgium. *Journal Article* 40(9), 327 - 33.
- Gerakis, P., A. D. Papacosta- Tasa-Pavlov. 1979. Growth dynamies of Zea mays J. Populations differing in genotype and density and growth under illuminance stress. *Ecol. Plant.*, 14:13-26.

- Gilmore; Jr., E.C. and J.S. Rogers. 1958. Heat units as a method of measuring in corn. In *Agronomy Journal*, 50:611-615.
- Gonzales, 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.
- Griffits, J.F. 1985. *Climatología Aplicada*. Trad. Flores G. Editorial publicaciones Culturales S.A. de C.V. México, D.F. 154 p.
- Hanway, J. 1963. Growth stages of corn (*Zea mays* L.). *Agronomy Journal*, 55:487-615.
- Hanway J.J. 1971. How a corn plant develops. Special report. No. 48. Iowa State University of Science and Technology.
- Holt, R.F. and D.R. Timmons. 1968. Influence of precipitation, soil water and plant population interaction on corn grain yields. USA. *Agronomy Journal*, 60:379.
- Krause, M. V. 1970. *Nutrición y diética en clínica*. 4<sup>a</sup> Edición. Interamericana S.A. México, D.F. Pág. 39 - 45, 53 - 56, 65 - 68. 70, 77.
- Lana, E.F. and E.S. Haber. 1952. Seasonal variability as indicated by accumulative degree hours with sweet corn *American Society for Horticultural Science*, 388-392.
- Llanos, M. C. 1984. *El Maíz su Cultivo y su Aprovechamiento*. 1ra. Edición, Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Mederski, H.J., M.E. Miller, and C.R. Weaver. 1973. Accumulated heat units for classifying corn hybrid maturity. *Agronomy Journal*, 65:743-747.
- Montgomery, E.G. 1911. Correlation studies in corn. *Ned agric. . Exp. Est. Red.* 24:108-159.
- Neild, R.E. and A.F. Dreier. 1975. Growing degree days. Cooperative exstension service. Institute of agriculture and natural resources. University of Nebraska Lincoln.
- Neild, R.E. 1982. Temperature and reinfall influences on phenology and yield on grain sorghum and maizes: comparison. USA. *Agric, Meteorol.*, 27:79-88.
- Neild, R.E. 1986. Growing degree day requeriments and free risk as a guide to selecting and planting corn hybrids. Cooperative extension service institute of agriculture and resources. University of Nebraska, Lincoln.

- Neild, R.E. and J.E. Newman. 1987. Growing season characteristics and requirements in the corn belt, climate and weather. USA Iowa State University. 1-8 p.
- Newman, J.E., B.O. Blair, R.F. Dale, L.H. Smith, W.L. Stirm and L.A. Schaal. 1969. Growing degree days: a new system of ratings crop maturities could help you predict harvest dates more accurately. *Crop Soil*, vol. 20-21 pp. 9-12.
- Ortiz Soloria C. 1987. *Elementos De Agrometeorología Cuantitativa*. 3ª ed. Dep. de suelos. Universidad Autónoma de Chapingo, México.
- Phillips, R.H., R.J. Fulford and F.C. Crofts. 1975. Relationships between the production of forage maize and accumulated temperature, Ontario heat units and solar radiations. *Canada agric, Meteorol.* 14:385-397.
- Poey, D., F. R. 1978. El mejoramiento integral de maíz; valor nutritivo y rendimiento; hipótesis y métodos. SARH. C.P. Chapingo. México.
- Riedell, W. E.; Miernyk, J.A. 1988. Glucoprotein in maize endosperm cells. The nucleoside diphosphate- sugar: dolichol-phosphate glycosyltransferases. *Seed Biosynthesis res. Unit, ARS, USDA, N. Reg. Cent. Peonia, IL 61604 USA. Plant Physiology.* 87(2) 420 - 426.
- Rodríguez V., J.G. mejoramiento genético de maíz en zonas áridas. Seminario no publicado UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 14pp.
- Robinson, R.G. 1971. Sunflower phenology-year, variety, and date of planting effects on day and growing degree-day summations. *Crop Science*, 20: 679-682.
- Robins, J., S. and C.E. Domingo. 1953. Some effects of severe soil moisture deficit at specific growth stages in corn. *USA. Agronomy Journal* 45:618-621pp.
- Rojas, G.M. 1972. *Fisiología vegetal aplicada*. Segunda edición. Ed. McGrawhill. México. 120 p.
- Romo, J.R. y R. Arteaga. 1989. *Meteorología Agrícola*. Departamento de Irrigación, UACH. Chapingo, México. Pp. 109-153, 221-258.
- Russell, W.A. and R.E. Danielson. 1956. Time and depth patterns of water use by corn. *USA. Agronomy Journal* 48:163-165 pp.

- Russell, M.P., W.W. Wilhelm., R.A. Olson, and J.F. Power. 1984. growth analysis based on degree days. *Crop science*. Vol. 24:28-32 pp.
- Schmidilin, T.W. and B.E. Dethier. 1987. Conversion among three methods for calculating heat units for corn. *Applied Agricultural Research*, 2 No. 5 pp. 311-314.
- Struik, P.C. 1983. The effects of switches in photoperiod and crop morphology, production pattern and quality of forage maize (*zea mays*). Under field conditions. Wageningen. 1-25 pp.
- Tamhane R. V., D.P. Motiramani, Y.P. Bali y R. L. Donahue. 1964. *Suelos su Química en Zonas Tropicales*. Ed. Diana. México.
- 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.
- Tollennar, M y R.B Daynard, and R.B. Humter. 1979. Effect of temperature on rate of leaf appearance and flowering date in maize. *Crop Science*, 19:363-366.
- Torres Ruiz, Edmundo. 1986. *Agrometeorología*. 3ª impresión. Editorial Diana S.A. México, D.F.
- 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.
- Wang, J.Y. 1960. A critique of the heat unit approach to plant response studies. *Ecology*, 4:785-790.
- Wayne, J.M. Laurin. 1984. Non destructive leaf area measurement of i pomoea patatas. *C.V. Centennial. Hort. Science*. 19(7): 58.
- Yoshida, S. 1972. Physiological aspects of grain yield. *Ann. Rev. Plant physiol*, 23:437-464.

# **VIII.- APENDICE**

**Cuadro A 1. Contenido de humedad en base volumen (%) para el tratamiento 1, en los diferentes estratos de profundidad del suelo, durante el ciclo de cultivo.**

*DDS	ESTRATO (cm)		
	0-40	40-80	80-140
41	25.18	23.42	22.34
48	21.67	23.02	23.58
52	20.52	22.90	23.78
54	20.30	22.44	25.04
58	24.91	22.17	23.74
62	21.31	22.44	24.19
64	16.91	21.47	23.15
68	22.44	22.19	23.83
70	21.68	21.31	23.18
72	15.05	21.20	23.68
76	21.02	21.23	23.34
78	19.32	21.24	23.72
80	29.98	25.59	24.01
82	29.21	24.86	24.09
84	30.03	26.32	24.30
86	26.48	23.33	27.55
88	26.93	25.09	24.93
91	24.84	24.52	23.58
93	22.52	24.85	23.78
96	20.55	23.79	25.40
99	19.78	22.91	24.27
112	22.49	18.44	22.18
114	23.83	20.00	23.41
116	22.34	18.86	22.95
120	21.33	20.32	22.95
121	20.23	19.76	22.27
124	28.49	18.75	19.45
128	27.95	21.67	24.87
131	24.64	20.68	22.68

\*DDS: días despues de la siembra.

**Cuadro A 2. Contenido de humedad en base volumen (%) para el tratamiento 2, en los diferentes estratos de profundidad del suelo, durante el ciclo de cultivo.**

DDS	ESTRATO (cm)		
	0-40	40-80	80-140
41	25.38	20.59	23.47
48	22.36	20.64	23.84
52	20.52	20.23	23.79
54	21.70	20.45	23.65
58	27.61	19.22	23.17
62	23.31	19.64	24.02
64	20.56	20.80	22.77
68	26.54	19.02	23.86
70	25.88	18.40	23.28
72	21.12	19.03	23.48
76	27.86	23.41	24.63
78	25.51	22.79	23.64
80	22.99	21.14	24.88
82	22.50	21.12	24.09
84	25.37	20.29	24.85
86	22.83	20.18	28.92
88	23.47	19.80	24.12
91	21.50	19.12	23.94
93	20.90	19.85	19.84
96	19.01	17.70	23.34
99	18.22	16.93	22.64
112	14.66	13.42	17.32
114	16.41	14.22	19.25
116	29.25	26.76	23.18
120	28.94	25.92	24.28
121	29.11	23.98	24.92
124	26.75	21.62	23.62
128	26.24	21.98	24.33
131	23.71	19.83	23.55

**Cuadro A 3. Contenido de humedad en base volumen (%) para el tratamiento 3, en los diferentes estratos de profundidad del suelo, durante el ciclo de cultivo.**

DDS	ESTRATO (cm)		
	0-40	40-80	80-140
41	24.91	19.71	20.77
48	21.40	19.71	20.62
52	19.78	19.47	21.13
54	19.12	18.83	21.06
58	20.64	18.71	20.61
62	18.85	18.56	20.78
64	16.49	18.33	20.84
68	17.67	17.90	20.65
70	17.09	17.38	20.14
72	16.85	16.59	20.50
76	14.77	16.04	20.09
78	14.20	15.80	22.75
80	19.35	15.92	20.07
82	17.64	16.36	20.61
84	22.16	15.29	19.81
86	20.14	15.75	19.78
88	20.42	15.39	18.70
91	19.88	16.12	23.94
93	17.43	16.87	20.45
96	17.85	16.37	20.36
99	17.22	15.71	19.83
112	12.92	13.45	15.25
114	29.25	21.56	17.86
120	29.34	23.89	19.19
121	27.90	24.86	19.42
124	25.16	22.57	20.34
128	23.30	20.58	18.20
131	22.63	21.13	19.97

**Cuadro A 4. Información climatológica mensual promedio durante el ciclo del cultivo en la estación de Buenavista, Saltillo, Coahuila.**

Mes	Temperaturas			Agua			Radiación	
	Max.	Min.	Med.	Lluvia (mm)	Evap. (mm)	Hum (%)	Ins. minutos	Int. calorías
<b>Junio</b>	28.8	15.2	22.0	106.8	153.42	68	12322.0	12156.0
<b>Julio</b>	26.9	14.9	20.9	89.4	152.90	69	14527.0	13476.0
<b>Agosto</b>	28.7	14.2	21.5	36.4	181.79	60	17866.0	13752.0
<b>Septiembre</b>	26.4	13.0	19.7	13.3	135.7	70	15712.0	11649.0
<b>Octubre</b>	23.3	8.9	16.1	4.3	127.69	57		
<b>Noviembre</b>	21.2	5.9	13.5	0.0	111.09	51		

**Cuadro A 5. Índice de área foliar medido en 6 plantas en un área de 1.02 m<sup>2</sup>, observado en campo, expresado en m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>, durante el ciclo del cultivo.**

DDS	Índice de área foliar		
	Trat. 1	Trat 2	Trat 3
30	0.24	0.16	0.15
41	0.61	0.68	0.45
52	0.99	1.20	0.98
64	2.30	2.80	1.93
75	5.66	3.75	3.85
87	5.31	5.30	5.47
101	5.05	5.72	4.74
114	5.07	5.19	4.84
128	5.01	4.97	4.77

**Cuadro A 6. Concentración de nitrógeno en las diferentes partes de la planta (hojas y tallo, olote y grano) para el tratamiento 1 durante el ciclo del cultivo del híbrido AN-447, expresado en por ciento.**

<b>DDS</b>	<b>Hojas y tallos</b>	<b>Olote</b>	<b>Grano</b>	<b>*NCT</b>
19	3.50			3.50
30	3.65			3.65
41	3.67			3.67
52	2.33			2.33
64	2.12			2.12
75	1.89			1.89
101	1.43	1.43	2.82	1.31
114	1.05	0.64	2.34	1.11
128	1.31	0.90	1.87	1.55
166	0.87	0.36	1.78	1.05

\* NCT: Nitrógeno combinado total

**Cuadro A 7. Concentración de nitrógeno en las diferentes partes de la planta (hojas y tallo, olote y grano) para el tratamiento 2 durante el ciclo del cultivo del híbrido AN-447, expresado en por ciento.**

<b>DDS</b>	<b>Hojas y tallo</b>	<b>Olote</b>	<b>Grano</b>	<b>NCT</b>
19	3.50			3.50
30	3.69			3.69
41	3.63			3.63
52	2.69			2.69
64	2.14			2.14
75	2.13			2.13
87	1.79			1.79
101	1.40	1.7868	2.84	1.73
114	1.27	0.7688	2.26	1.17
128	1.02	0.4322	1.96	1.20
166	0.93	0.4414	1.78	0.97

**Cuadro A 8. Concentración de nitrógeno en las diferentes partes de la planta (hojas y tallo, olote y grano) para el tratamiento 3 durante el ciclo del cultivo del híbrido AN-447, expresado en por ciento.**

<b>DDS</b>	<b>Hojas y tallo</b>	<b>Olote</b>	<b>Grano</b>	<b>NCT</b>
19	3.50			3.50
30	3.64			3.64
41	3.65			3.65
52	2.86			2.86
64	2.22			2.22
75	1.72			1.72
101	1.40	1.50	2.98	1.33
114	1.35	0.63	2.24	1.26
128	1.09	0.63	2.04	0.93
166	0.68	0.39	1.88	0.66

**Cuadro A 9. Concentración de proteína en hojas y tallo, olote, grano y proteína combinada para el tratamiento 1 durante el ciclo del cultivo del híbrido AN-447 , expresado en %.**

<b>DDS</b>	<b>Hojas y tallo</b>	<b>Olote</b>	<b>Grano</b>	<b>*PCT</b>
19	21.9			21.9
30	22.8			22.8
41	22.9			22.9
52	14.6			14.6
64	13.3			13.3
75	11.8			11.8
101	8.9	8.9	17.6	8.2
114	6.6	11.2	14.6	7.3
128	8.2	5.7	11.7	9.72
166	5.4	2.3	11.1	6.5

\* PCT: Proteína combinada total

**Cuadro A 10. Concentración de proteína en hojas y tallo, olote, grano y proteína combinada para el tratamiento 2 durante el ciclo del cultivo del híbrido AN-447 , expresado en %.**

<b>DDS</b>	<b>Hojas y tallo</b>	<b>Olote</b>	<b>Grano</b>	<b>PCT</b>
19	21.9			21.9
30	23.0			23.0
41	22.7			22.7
52	16.8			16.8
64	13.4			13.4
75	13.3			13.3
87	11.2			11.2
101	8.7	11.2	17.8	10.8
114	8.0	4.8	14.2	7.3
128	6.4	2.7	12.2	7.5
166	5.8	2.8	11.1	6.0

**Cuadro A 11. Concentración de proteína en hojas y tallo, olote, grano y proteína combinada para el tratamiento 3 durante el ciclo del cultivo del híbrido AN-447, expresado en %.**

DDS	Hojas y tallo	Olote	Grano	PCT
19	21.9			21.88
30	22.7			22.73
41	22.8			22.82
52	17.9			17.88
64	13.9			13.88
75	10.8			10.76
101	9.2	9.4	17.5	8.8
114	8.5	3.9	14.0	7.9
128	6.8	3.9	12.8	5.8
166	4.4	2.4	11.7	4.2

**Cuadro A 12. Análisis de varianza para la variable rendimiento de grano del híbrido de maíz AN-447.**

FV	GL	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	2	31700288.000000	17.5941	0.000
BLOQUES	8	2166368.000000	1.2024	0.357
ERROR	16	1801760.000000		
TOTAL	26			

C.V. = 16.54 %