

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

DIVISION DE AGRONOMIA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



**Acumulación de Nitrógeno y Contenido de Proteína en Maíz
(Zea mays L.) Bajo Diferentes Condiciones de Humedad de
Suelo**

Por

JESUS ARIEL JASSO ROSAS

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para

Obtener el Título de:

Ingeniero Agrónomo Fitotecnista

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Junio de 1999

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"
DIVISION DE AGRONOMIA

Acumulación de Nitrógeno y contenido de proteína en Maíz (Zea mays L.) Bajo
Diferentes Condiciones de Humedad de Suelo

Por

JESUS ARIEL JASSO ROSAS

TESIS

QUE SOMETE A LA CONSIDERACION DEL H. JURADO EXAMINADOR
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO
AGRONOMO FITOTECNISTA

APROBADA

PRESIDENTE DEL JURADO

DRA. DIANA JASSO CANTU

VOCAL

VOCAL

DR. RAUL RODRIGUEZ GARCIA

ING. ORLANDO TELLEZ OBREGON

COORDINADOR DE LA DIVISION DE AGRONOMIA

M.C. REYNALDO ALONSO VELASCO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MEXICO

JUNIO DE 1999

DEDICATORIA

A mis Padres:

Jesús Ariel Jasso Cantú.

Gracias Papá por regalarme la vida y por haber trabajado siempre para darnos lo mejor, que Dios te brinde la Gloria

e

Irma Enereida Rosas de Jasso.

Gracias mamacita por brindarme la existencia, por tu amor, dedicación, trabajo y tu apoyo eterno que me ha motivado para seguir adelante.

A mis Querida Esposa:

María Araceli Reyna de Jasso.

Gracias Chely por tu amor, comprensión y fuerza que me alienta a vivir y por darme la alegría de mi esencia.... mis hijos.

A mis Hijos:

Karla Verónica
Jesús Ariel
Víctor Alan
Irma Araceli

A mis Hermanos:

Irma Laura
y
Perla Claudia

A Chía con mi eterno cariño y recuerdo.

A G R A D E C I M I E N T O S

A mi "Alma Mater". Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por su nobleza como Institución forjadora de Profesionales para apoyo al Agro Mexicano.

A la Dra. Diana Jasso Cantú, por brindarme la oportunidad de realizar el presente trabajo y por su asesoría constante en la presente investigación.

Al Dr. Raúl Rodríguez García, por su gran apoyo en la asesoría y revisión de la presente investigación

Al Ing. Orlando Téllez Obregón, por su asesoría y sugerencia en el presente trabajo.

INDICE DE CONTENIDO

	Pág.
INDICE DE FIGURAS.....	V
INDICE DE CUADROS.....	Vi
INTRODUCCION	1
REVISION DE LITERATURA.....	4
MATERIALES Y METODOS.....	16
Experimento de Campo.....	16
Localización.....	16
Clima.....	16
Suelo.....	17
Material Genético.....	17
Tratamientos Evaluados.....	17
Establecimiento del Experimento.....	19
Manejo del Cultivo.....	20
Medición de la Humedad.....	21
Control de riesgos.....	23
Información Climática.....	24
RESULTADOS Y DISCUSION.....	26
Condición Climática durante del desarrollo del cultivo....	26
Humedad del Suelo.....	27
Acumulación de nitrógeno en el tallo.....	30
Acumulación de Nitrógeno en la hoja.....	32
Acumulación de Nitrógeno Total.....	33

Rendimiento de grano.....	35
Acumulación de Nitrógeno en el grano.....	36
Contenido de proteína.....	37
CONCLUSIONES.....	41
RESUMEN.....	42
BIBLIOGRAFIA.....	44
APENDICE	47

INDICE DE FIGURAS

	Pag
4.1. . Contenido de humedad en el suelo en un perfil de 0 a 120 cm durante el ciclo de cultivo para los tratamientos ETM-REF, T2 y T3, UAAAN 1998.....	29
4.2. Acumulación de nitrógeno en el tallo , durante el desarrollo del cultivo, en los tres tratamientos. UAAAN 1998.....	30
4.3. Acumulación de nitrógeno en hoja, durante el desarrollo del cultivo, en los tres tratamientos. UAAAN 1998.....	32
4.4. Acumulación de nitrógeno en la parte aérea de la planta, en la tres condiciones de humedad de suelo, ETM-REF, T2 y T3, durante el desarrollo del cultivo. UAAAN 1998.....	34
4.5. Acumulación de nitrógeno en el grano, en la etapa final del cultivo, en los tres tratamientos. UAAAN 1998.....	37
4.6. Contenido de Proteína en porcentaje, durante el desarrollo del cultivo, en el tratamiento ETM-REF. UAAAN. 1998.....	38
4.7. Contenido de Proteína en porcentaje, durante el desarrollo del cultivo , en el tratamiento 2. UAAAN. 1998.....	39
4.8. Contenido de Proteína en porcentaje, durante el desarrollo del cultivo, en el tratamiento 3. UAAAN. 1998.....	40

INDICE DE CUADRO

	Pag
4.1 Información climatológica mensual promedio de 1998 de la Estación de Buenavista, Saltillo, Coah. UAAAN.....	26
4.2. Comparación de las medias de rendimiento de grano mediante la prueba de la diferencia mínima significativa (DMS). UAAAN 1998.....	35

I. INTRODUCCION

El crecimiento excesivo de la población y la reducida producción de alimentos indudablemente va a imposibilitar a los países en vías de desarrollo a la autosuficiencia de granos básicos. El maíz es históricamente el alimento básico de la población mexicana con un consumo percapita de 220 kg/ha.

Según datos estadísticos, se cultiva una superficie de 7.5 millones de hectáreas, comprendiendo los dos ciclos agrícolas, de los cuales el 90 por ciento de la producción es el ciclo Primavera-Verano y el resto es de Otoño-Invierno. De la superficie antes mencionada se considera que un 15 por ciento corresponde al cultivo bajo riego o sea 1.125 millones de has., en ésta área la producción nacional promedio oscila entre 2.7 y 3.2 ton/ha.

Los principales estados que participan en la producción nacional son: México, Jalisco, Chiapas, Puebla, Michoacan y Guerrero para el ciclo Primavera-Verano y Tamaulipas par el ciclo de otoño-Invierno. Todos los tipos de maíz que se producen en México tienen composición bioquímica similar, por lo que su valor alimenticio prácticamente no representa variaciones en la clase de materiales. El alto contenido de carbohidratos, la abundante producción a un costo razonable, su relativa calidad de imperecedero y la facilidad de almacenamiento, hacen que el maíz sea particularmente adecuado par usos industriales.

La calidad proteica del maíz es de primera importancia 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 y en virtud de su bajo contenido de proteína.

En un programa de mejoramiento de cualquier cultivo, no solo en el maíz, se manejan cantidades muy grandes de germoplasma. Para seleccionar adecuadamente el material de calidad proteínica superior, el fitomejorador necesita de los servicios de un laboratorio. La incorporación del gen opaco-2 ó harinoso-2 a los maíces normales de características agronómicas deseadas implica la identificación rápida de los linajes de calidad superior en el material segregante. El programa de mejoramiento requiere que los fitomejoradores y los bioquímicos trabajen en equipo.

En los últimos veinte años México a tenido que importar fuertes cantidades de maíz para abastecer la demanda nacional lo cual indica que deben de elevarse los rendimientos de éste cereal.

1.1 OBJETIVO

1. Determinar la acumulación de nitrógeno y proteína durante el ciclo del cultivo del maíz AN-447, bajo tres condiciones diferentes de humedad en el suelo.

II. REVISION DE LITERATURA

Papadakis (1977), indíca que la importancia del nitrógeno en la planta queda suficientemente probada, puesto que sabemos participa en la composición de las más importantes sustancias orgánicas; tales como clorofila, aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, etc. Como estas sustancias sirven de base para la mayoría de los procesos que rigen el desarrollo, crecimiento y multiplicación de las plantas; resulta evidente la importancia del nitrógeno en las funciones más características de la vida vegetal. Agrega que un suministro adecuado de nitrógeno a la planta produce un rápido crecimiento, un color verde intenso de las hojas, mejora la cantidad y aumenta el contenido de proteínas del producto.

Collings (1950), opina que cuando el nitrógeno no está presente en cantidades suficientes en el suelo para que el desarrollo de las plantas sea óptimo, los granos de los cereales no tienen el tamaño normal, y son menos pesados. Menciona que en general todas las plantas parecen presentar los mismos síntomas de deficiencia de este elemento; las hojas usualmente las puntas de las más viejas toman un color verde claro para después pasar a amarillento, secarse y finalmente caer. La clorosis de las hojas indica tanto una deficiencia en el metabolismo del nitrógeno como del hierro.

Zuber, citado por Fernández (1976), reporta que la proteína cruda en el maíz fue significativamente alterada por las aplicaciones de nitrógeno, encontró que 6.27 kg de maíz contienen aproximadamente 315 gramos de proteína y que 120 kg de nitrógeno por hectárea se incrementa el contenido de 7.25 a 8.83% en el grano; en el rastrojo el aumento fue de 2.07 a 4.68%, concluye diciendo que la aplicación adecuada de fertilizante nitrogenado combinado con otros elementos puede ofrecer la posibilidad de aumentar el valor alimenticio del maíz.

Genter, citado por Martínez (1981), indica que con una fertilización de 60 kg de nitrógeno por hectárea el contenido de proteínas fue mayor para la menor densidad de siembra, pero fue igual tanto para la densidad mínima como para la óptima cuando se aplicaron 180 kg/ha de nitrógeno, sin embargo, los rendimientos en grano y el contenido total de proteína aumentaron en relación directa con las dosis de fertilizantes.

Tisdale y Nelson (1970), mencionan que las plantas absorben la mayor parte de su nitrógeno en forma de NH_4^+ y de NO_3^- . Las cantidades de estos

dos iones que pueden asimilar las plantas dependen en gran parte de las cantidades suministradas como fertilizantes nitrogenados comerciales y de las liberadas de las reservas de nitrógeno del suelo contenido en compuestos orgánicos.

Tovar *et al.* (1982) realizaron un estudio en campo donde se evaluaron 4 tamaños de microcuencas, cuyas áreas de captación fueron 76, 92, 124 y 188 cm, utilizando como cultivo una variedad de maíz criollo de la región de Texcoco y el híbrido H-30, para diferentes fechas de corte (30, 60 90 y 120 días). Se analizó el contenido de Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K), en raíz, tallo, espiga y grano. Se encontró que no existen diferencias entre áreas de captación, solo entre fechas de cortes para cada órgano analizado. A partir del primer corte hubo una disminución en el contenido de N de 36.3, 62.9 y 60.5 por ciento; para P de 55.2, 72.2 y 50.6 por ciento en raíz, tallo y espiga respectivamente. Mientras que el potasio (K) disminuyó 21.8 a 12.1 por ciento en tallo y hoja a partir del primer corte. Los resultados obtenidos se discuten en base aquella respuesta del contenido de nutrimentos a través del ciclo de desarrollo de la planta.

La máxima cantidad y el por ciento de acumulación de nutrientes en maíz bajo riego debe ser conocida por los agricultores para evitar las pérdidas económicas en aplicaciones excesivas de agua o de fertilizante.

Karlen *et al.* (1987) en un estudio realizado en maíz bajo riego durante 3 años consecutivos para determinar la acumulación de materia seca, nitrógeno

(N), fósforo (P) y potasio (K) de la parte aérea de la planta, reporta los siguiente resultados. La acumulación de N, P y K fue de 228, y 258 kg/ha en 1980;

Para 1981 fue de 264, 37.1 y 372 kg/ha y en 1982 se reportan 225, 37, y 335 kg/ha. La baja acumulación de fósforo en los últimos años, donde además fueron bajos los rendimientos en grano, se debe aparentemente a la acumulación de materia seca, N, P, y K, siendo de 650, 10, 1.6, y 28 kg/ha/día. Los porcentajes de acumulación durante los estados de crecimiento, vegetativo y reproductivo, enfatiza que las prácticas culturales, nutrientes y manejo de agua deben ser coordinados para proporcionar un mínimo estrés por el medio ambiente, para una alta producción de maíz.

Karlen *et al.* (1988) llevaron a cabo una investigación en Adelphia. N. J. para determinar la acumulación de materia seca y nutrientes en maíz. Las muestras se colectaron en las siguientes etapas: cuando tenían 4, 8, 12 hojas completas, espigamiento, aparición de estígmata, inicio de llenado de grano, estado masoso y madurez fisiológica. A la madurez fisiológica, la acumulación total de materia seca, y contenido de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, y Zn fue de 31800, 386, 70, 370, 59, 44, 40, 0.13, 0.14, 1.9, 0.9 y 0.8 kg/ha respectivamente. Si bien el contenido de nutrientes en la planta no fue el óptimo, el balance de nutrientes fue muy bueno.

Benne *et al.* (1964) establece que la acumulación de nutrientes durante el período de crecimiento en una planta generalmente sigue patrones similares a la acumulación de materia seca, dado que la cantidad que ingresa a la planta

durante su estadio inicial es relativamente pequeña e incrementa conforme la planta se desarrolla. Algunos elementos como el N y P son asimilados en las primeras etapas, mientras que el ingreso del potasio (K) se completa hasta el llenado del grano (Hanway 1977)

Rivera, P.F. (1986) efectuó un experimento para determinar los requerimientos hídricos, bajo diferentes densidades de población y dosis de fertilización nitrogenada en la variedad de maíz V-455. Los resultados fueron los siguientes. El riego óptimo económico es el de 50 cm, con el máximo rendimiento, máximo beneficio neto y máxima Tasa Marginal de Retorno (TMR), la variedad V-455 incrementó su porcentaje de proteína con los altos niveles de nitrógeno aplicado al suelo. El porcentaje de proteínas óptimo fue de 9.27 con un rendimiento máximo 6516 kg. de grano por hectárea, después de este porcentaje el rendimiento tiende a disminuir y el TMR, que es de 614 por ciento se obtuvo con una densidad de población de 50, 000 plantas/ha. , por lo que éste es el nivel óptimo económico.

Aldrich y Leng (1974) indican que un ensilaje de maíz de calidad debe poseer:

- Energía elevada y abundancia de grano, lo que significa que fue cortado lo suficientemente tarde como para alcanzar casi el máximo de rendimiento.
- Buena palatabilidad, lo que se obtiene cortando el cultivo en el momento adecuado y ensilado correctamente.

- Buena calidad de conservación, sin hongos. El hongo se evita cosechando antes que el cultivo esté demasiado seco, se le pica para dejarlo tan corto como para obtener una buena compactación.
- El contenido de nitrato no debe ser tan elevado que llegue a constituir un problema.

Pendersen (1983) mencionó algunos factores que afectan la calidad del ensilaje, concluye el porcentaje de materia seca al tiempo de ensilar, concentración de ácido láctico, contenido de amonio y disponibilidad de carbohidratos fermentables. La descomposición de proteínas en amoníaco se considera perjudicial para la calidad del ensilaje porque se reduce la palatabilidad.

Robles (1981) cita que el valor nutritivo de cualquier alimento depende de su contenido de proteínas, grasas, fibras, carbohidratos fácilmente solubles extracto libre de nitrógeno (E.L.N) sales minerales y vitaminas. Ciertos alimentos están constituidos de tal forma que sólo son adecuados para el mantenimiento de la salud y peso corporal; otros están de tal manera balanceados que son adecuados tanto para el mantenimiento como para la producción; otros más poseen una elevada concentración de un contribuyente particular y solamente deben darse al animal como parte de la ración.

Imshenetskii (1979) determinó la acumulación de materia seca y proteína bruta en plantas de maíz, indica que hay una correlación negativa entre el

incremento de materia seca acumulada por las plantas y el contenido de proteína bruta del grano.

Robles (1978) menciona que se ha demostrado que el forraje verde que se cosecha después de la época oportuna disminuye la proteína bruta y aumenta el contenido de celulosa, lo que determina una reducción gradual del valor nutritivo.

Stephen (1977) indica que para obtener buenos rendimientos por hectárea, la planta se debe cortar después de la formación de las espigas en cuya época la producción de carbohidratos fermentables es alta y la cantidad de proteínas es relativamente baja, quiere decir que en este momento las condiciones son favorables para obtener una rápida producción de ácido láctico que asegura una adecuada preservación.

Karlen *et al.* (1987), realizaron un estudio para determinar las tasas de acumulación de materia seca, nitrógeno, fósforo y potasio en maíz, para lo cual se muestrearon las partes aéreas totales de plantas colectándose seis muestreos en 1980 y 1981 y ocho muestreos en 1982 del experimento de campo, en el cual se evaluaron dos programas de riego, dos densidades de población, dos espaciamientos entre surcos y dos tratamientos de fertilización

En esta investigación se observaron dos períodos máximos diferentes de acumulación de materia seca y nutrientes. El primero ocurrió durante la etapa vegetativa cuando el número potencial de granos está siendo establecido

y el segundo durante el desarrollo reproductivo cuando el rendimiento potencial se ha detenido.

Tocagni (1982) dice que el grano de maíz es un alimento muy concentrado, rico en hidratos de carbono y sustancias grasas; el contenido en proteínas es comparable a la de otros cereales pero carece de uno de los aminoácidos imprescindibles para el crecimiento.

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 a las plantas de color verde oscuro y más succulenta; 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 la 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).

Foth (1987) apunta que la abundancia de nitrógeno promueve un rápido crecimiento con un mayor desarrollo de hojas y tallos de color verde oscuro. Aunque una de las funciones más sobresalientes del nitrógeno es estimular el

crecimiento vegetativo de la parte aérea, ese desarrollo no se puede efectuar sin la presencia de fósforo, potasio y otros elementos esenciales disponibles.

Below y Gentry (1992). Realizaron un estudio en el cual, plantas de maíz presentaron elevada producción de grano cuando se les suministraron mezclas de NO_3^- y NH_4^+ que cuando solamente se les suministro NO_3^- . Este determinó si la mezcla de N debe estar disponible antes o después de la antesis o continuamente para obtener aumento en la producción. Encontraron que la mezcla de N inducido produjo aumentos que fueron asociados con el incremento en el número de grano. La utilidad de la mezcla de N aumento la proporción de la materia seca distribuida a fracciones reproductivas (grano, mazorca). Estos resultados confirman que la mezcla de N aumenta la producción de grano y sugiere que el desarrollo vegetativo es el momento decisivo para suministrar la mezcla de N.

Moll (1994) Realizó un trabajo en el cual tuvo como objetivo comparar aumentos debidos a 14 ciclos de selección recurrente de familias completa y selección recurrente recíproca para rendimiento en maíz y determinar si el aumento del rendimiento del peso de grano estuvo acompañado de incrementos en materia seca total y acumulación de N total. A menos que la adquisición de materia seca total aumente en paralelo con el peso del grano durante la selección, sostenimiento de raíz y funciones de germinación deberán ser restringidas por desviación excesiva de carbohidratos al grano. Las conclusiones fueron también sostenidas por la heterosis para peso de grano,

materia seca total y acumulación de N total, la cual, fue mayor después de la selección recurrente recíproca que después de selección de familia completas..

La selección para incrementar el peso del grano resultará en eficiente adquisición de N solo cuando el peso del grano es sostenido por un adecuado aumento en la producción de fotosintatos.

Santo (1980) señala que las principales componentes del grano entero de maíz son: almidón, proteínas y lípidos y en menor cantidad: fibra cruda, azúcares, minerales y sustancias orgánicas, incluyendo vitaminas.

Todos los almidones son polímeros de glucosa y se encuentran en forma de gránulos. El almidón de maíz contiene tanto almidón como amilopectina. La amilopectina contiene más o menos 40,000 moléculas de glucosa y amilosa alrededor de 1000 unidades de glucosas.

Las proteínas constituyen aproximadamente el 10% del grano entero estas sustancias son clasificadas por la American Physiological Society de acuerdo a su solubilidad en : albúminas, prolaminas, gluteninas.

Lípido: el grano entero de maíz contiene aproximadamente 5%, de aceite, alrededor del 85% de los lípidos se encuentran en el germen, el cual es la fuente comercial de aceite de maíz.

Minerales y Proteínas: el germen contiene alrededor del 80% de los minerales, la composición de vitamina en el grano de maíz es vitamina B.; vitamina B2; Acido nicotínico; Acido pantoténico; Biotina y Vitamina B6.

Altschul (1977) menciona que se han hecho numerosos intentos para cuantificar la disponibilidad entre el abasto de proteínas y las necesidades humanos. A base de los mejores conocimientos médico y nutricionales de que se dispone, la mayoría de los cuantificadores, particularmente los que estudian el problema en países de menor desarrollo, suponen que existen determinadas necesidades fisiológicas, y luego relacionan el abasto de proteína con tal necesidad por consiguiente, sus cálculos y proyecciones reflejan necesidades fisiológicas y el tamaño estimado de la población.

La competencia por proteína se intensificará entre los económicamente fuertes que desean consumir más proteína de origen animal y los débiles que necesitan mantener el nivel actual de su abastecimiento de calorías y proteína por magro que sea.

La mayor oportunidad de corregir el desbalance entre el abastecimiento de proteínas y calorías radica en la adopción de nuevas tecnologías. Tales tecnologías pueden disminuir la competencia entre los ricos y los pobres. Donde hay mejoría generalmente en las condiciones económicas con estas tecnologías se puede mejorar la nutrición general. No basta depender únicamente de la agricultura, es decir una agricultura en balance ecológico con las fuentes renovables de energía desapareció hace cien años. Ahora con una combinación equilibrada de las tecnologías agrícolas e industriales se lograrán mejores resultados que usando cualquiera de las dos independientemente.

Bressani (1977) señala que ha quedado bien establecido que la proteína del maíz es de poca calidad debido a que es deficiente en dos

aminoácidos básicos, lisina y triptófano, y de aminoácidos menores, tales como la isoleucina. Además las cantidades excesivas de leucina reducen en un grado indeterminado la calidad proteica de maíz.

Para mejorar la calidad proteica de las dietas basadas en el maíz, han tratado de equilibrar el balance de aminoácidos, a través de: 1) Suplementación con aminoácidos; 2) manipulación genética; 3) Suplementación con proteína; 4) Mezclas de calidad y alta calidad de proteína.

Dudley *et al.* (1977) reporta que el descubrimiento de que los genes recesivos opaco-2 y los semidominantes harinoso-2, incrementaba notablemente los niveles de lisina y triptófano en las proteínas del endosperma de maíz, ha abierto las puertas para una reducción en la suplementación proteínica en las dietas de animales monogástricos incluyendo el hombre.

En aquellos países donde el maíz es el producto de primera necesidad en la dieta, las implicaciones de estos hallazgos son obvias y han sido señalados repetidamente.

En muchos países el uso principal del maíz es para alimentación de ganado. Por tanto, la ampliación del uso de los híbridos modificados en contenido proteínico depende de su competitividad económica con el maíz dentado normal más harina de frijol soya como suplemento.

III.- MATERIALES Y METODOS

Experimento de Campo

Localización

Esta investigación se llevó acabo en terrenos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada en Buenavista, municipio de Saltillo, Coahuila y cuyas coordenadas geográficas son 25° 21'20" de Latitud Norte y 101° 01'30" de Longitud Oeste y a una altitud media sobre el nivel del mar de 1743 m

Clima

En esta localidad el clima predominante, de acuerdo a la clasificación de Köppen modificada por E. García (1973), es el de tipo BW h° (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 evaporación promedio anual de 2167 mm

Suelo

El suelo es de origen aluvial, pertenece a la unidad taxonómica faeozem calcárea de acuerdo a CENTENAL (1976), La pendiente del terreno es de 0.68 por ciento, la textura es migajón arcilloso con un contenido de materia orgánica del 2.43 por ciento, medianamente ricos en nitrógeno y fósforo, y rico en potasio; el pH es ligeramente ácido(6.33) y la densidad aparente es de alrededor de 1.17 g cm^{-3} . Las constantes específicas del suelo de capacidad de campo y 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. (cuadro N° 1)

Material Genético

El material genético utilizado en el presente estudio fue proporcionado por el Instituto Mexicano del Maíz “Dr Mario E. Castro Gil”, de la UAAAN, siendo el híbrido AN-447, cuyas características agronómicas principales son: altura de planta 2.8 m, altura de mazorca 1.3 m, la floración masculina de 75 a 80 días, de 140 a 150 días a madurez fisiológica, el color de la hoja es verde claro, forma de la mazorca cilíndrica y el tipo de grano es blanco, semidentado.

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, la

acumulación de materia seca y nitrógeno en la parte aérea de la planta y rendimiento de grano. Estos tratamientos fueron:

Tratamiento 1. Tratamientos ETM-REF(Evapotranspiración Máxima del Cultivo-Referencia), en el cual el cultivo se desarrolló bajo condición de menor déficit hídrico en el suelo, con la finalidad de satisfacer las necesidades máximas de consumo de agua por la planta, para lo cual se aplicaron 9 riegos durante el desarrollo del cultivo. En el cuadro 3.1., se presenta la distribución de los riegos durante el ciclo del cultivo y la cantidad de agua aplicada al momento del riego.

Tratamiento 2. Se aplicaron 6 riegos durante el desarrollo, la distribución de riegos durante el ciclo del cultivo y la cantidad aplicada se presentan en el cuadro 3.1.

Tratamiento 3. Se aplicaron 4 riegos durante el ciclo del cultivo, la distribución de riegos y cantidad de agua aportada se presenta en el cuadro 3.1

A los tres tratamientos se le aplicó un riego con lámina igual de 13 cm antes de la siembra. Se aplicaron riegos durante el desarrollo del cultivo cinco riegos en la etapa vegetativa, cuatro riegos en el periodo comprendido en el estado VT (floración), se aplicaron 4 riegos, distribuidos en la etapa vegetativas.

Cuadro 3.1. Calendario de riegos de auxilio aplicado a los tratamientos de evaluados. UAAAN 1998.

Nº Riegos	Tratamiento 1		
	DDS	Etapas (Nomenclatura)	Lámina de riego (mm)
1	17	V5	30.00
2	20	V6	30.00
3	39	V10	32.00
4	58	V14	72.00
5	70	V15	84.50
6	79	VT	43.10
7	91	R1	41.00
8	104	R1	32.00
9	110	R2	20.00
Tratamiento 2			
1	16	V5	20.00
2	20	V6	20
3	46	V12	23
4	59	V14	52.00
5	65	V15	96.7.0
6	77	VT	34.50
Tratamiento 3			
1	16	V5	20
2	35	V8	20.00
3	59	V14	70.00
4	72	V15	80.50

Establecimiento del Experimento

El experimento se estableció en una superficie de 420 m² (35 x 12 m). La labor de barbecho se efectuó el 8 de mayo. El riego de presiembra se realizó el 15 de mayo, aplicándose una lámina de 13 cm.

La siembra se realizó el 22 de mayo de 1998, previamente se rastreó el suelo, se sembraron 10 plantas por metro lineal a una separación de 0.85 m, para posteriormente aclarar. Al momento de la siembra se fertilizó con la dosis 80-104-30, siendo la fuente el sulfato de amonio (20.5-0-0), MAP (11-55-0) y sulfato de potasio (0-0-50).

Cada tratamiento estuvo representado en una parcela de 120 m² (12 x 10), constando de 14 surcos de 10 m de largo, las parcelas estuvieron separadas por una franja de 2.5 m.

Manejo del cultivo

El día 16 de Junio se efectuó el aclareo de plantas, dejando 6 plantas por metro lineal para una población de 70, 200 pl/ha.

La labor de apoque se efectuó el día 3 de Julio, cuando el cultivo se encontraba en la etapa de once hojas (V11), previo a la labor se realizó la segunda incorporación de fertilizante con la dosis 100-0-40, como fuente el sulfato de amonio (20.5-0-0) y el sulfato de potasio (0-0-50).

Medición de la humedad

Se determinaron las constantes de humedad del suelo capacidad de campo y punto de marchitez permanente por estrato mediante el método de las ollas de presión (Cuadro N° 1)

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

Anteriormente se realizó la calibración del aparato, para esto se instalaron dos tubos de aluminio, enterrándose a una profundidad de 120 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 cm hasta llegar a los 120 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. Se obtuvieron dos ecuaciones, una donde representa al primer estrato (0 - 20 cm) y la otra ecuación representa a los demás estratos (20-40, 40-60, 60-80, 80-100, 100-120 cm). La ecuación para el primer estrato fue:

$$\%Vr = 9.35 + 0.76 * (\%Vdis)$$
, con un coeficiente de determinación (r^2) de dicha ecuación fue de 1

La ecuación para los demás estratos fue:

$\%Vr = 1.94 + 0.86 * (\%Vdis)$, con un coeficiente de determinación (r^2) de dicha ecuación fue de 0.9

Donde:

$\%Vr$ = Es el porcentaje de humedad del suelo real (%)

$\%Vasp$ = Es el porcentaje de humedad medido por el aspersor de neutrones (%)

Posterior a esto se instalaron 3 tubos de acceso de aluminio de dos pulgadas de diámetro (uno por tratamiento), se instalaron a una profundidad de 120 cm, la parte superior del tubo se cubrió con una tapadera de plástico para evitar la entrada de agua de lluvias o cualquier objeto que perturbe el funcionamiento del aspersor de neutrones, durante el ciclo del cultivo se realizaron mediciones de humedad en 34 días a intervalos de 4 a 5 días, los valores de contenido de humedad base volumen se presentan en los cuadros 3, 4 y 5.

Control de Riegos

Los riegos se aplicaron una vez que se presentaron las condiciones de humedad permitidas para los tratamientos, los estratos de 0-20cm hasta llegar a 120 cm se utilizaron como indicador de riego. Para determinar la lámina de riego a aplicar se utilizó la siguiente ecuación:

$$LR = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (CC_i - HR_i) P_i}{100}$$

donde:

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

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

CC_i = Contenido de humedad en el porcentaje volumen a capacidad de campo en el estrato i

Hr_i = Contenido de humedad en porcentaje volumen en el momento de muestreo en el estrato i

P_i = Profundidad del estrato i (20 cm)

Los riegos se efectuaron por aspersión cada parcela contaba con 4 aspersores colocados en las esquinas de la parcela, y regaban sectorialmente

en un ángulo de 90°, el alcance de cada aspersor era de 10 m. Se colocaron pluviómetros en el interior de la parcela para llevar un mejor control de la cantidad de agua aportada por los aspersores.

Información Climática

Fué proporcionada por la estación del Servicio Meteorológico Nacional ubicado en terrenos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, considerando el período en que se desarrolló el experimento de campo (Mayo a Octubre de 1998), se consideraron las siguientes lecturas:

- Humedad Relativa.
- Temperatura máxima, mínima y media.
- Velocidad del viento a dos metros de altura.
- Insolación (cantidad de horas que alumbra el sol).
- Precipitación pluvial.
- Evaporación libre del agua (tanque evaporímetro tipo A). Durante el desarrollo del ciclo del cultivo se presentaron tres granizadas en las fechas 29 de junio 28 de julio y 23 de agosto.

Las variables nitrógeno en la parte aérea y rendimiento de grano, el procedimiento para determinar cada una de las variables es el siguiente: Del día 21 DDS hasta el día 158 se realizaron 9 muestreos de plantas a un intervalo promedio de 11 días. En cada muestreo se colectaron 6 plantas por tratamiento

y se identificó la etapa de desarrollo del cultivo (número de hojas y aparición de otros órganos).

Las plantas fueron llevadas al laboratorio donde se separaron por órganos; hojas, tallo y mazorca. Las muestras fueron introducidas en bolsas de papel y colocadas en 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 órgano

Las muestras después de haberse secado fueron molidas en un molino Wiley, homogeneizadas a partir de 1 gr de muestra se determinó por duplicado el contenido de nitrógeno después de mineralización (sin reducción de nitratos) según el método clásico de Kjeldahl. (CETIOM-ANFNOR, 1987).

Contenido de proteína.

Los datos obtenidos del contenido de nitrógeno se multiplicaron por el factor de 6.25 (CETIOM – ANFNOR, 1987; Dintzis *et al.* 1988) establecido para la transformación de este elemento a proteína en lo que concierne a los elementos nutricionales.

Para evaluar el rendimiento de grano, de las parcelas se recolectaron separadamente las mazorcas en 5 superficie de 2 m² cada una, representando cada área una repetición, Posteriormente se desgranó la mazorca, se pesó el grano, se le determinó el contenido de humedad y se corrigió el peso a un contenido de humedad en el grano de 14%.

