

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE AGRONOMIA

SUBDIRECCION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



EFECTO DE PROFIT-G, GALLINAZA Y ESTIERCOL
BOVINO SOBRE LA ACTIVIDAD FOTOSINTETICA
Y EL RENDIMIENTO DE MAIZ (*Zea mays* L.) EN
EL DISTRITO DE RIEGO No. 26 DEL
BAJO RIO SAN JUAN

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCION
AGRICOLA

PRESENTA:

JESUS GERARDO GARCIA OLIVARES

MARIN, N. L.

JUNIO DE 1994

TM

SB191

.M2

G3

c.1



1080062381

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE AGRONOMIA

SUBDIRECCION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



ESECTO DE PROFITO, GALLINAZA Y ESTIERCOL
BOVINO SOBRE LA ACTIVIDAD FOTOSINTETICA
Y EL RENDIMIENTO DE MAIZ (Zea mays L.) EN
EL DISTRITO DE RIEGO No. 26 DEL
BAJO RIO SAN JUAN

Dr. Emilio Olivares Sáenz
CONSEJERO

Dr. Francisco Zavala García
ASESOR

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCION
AGRICOLA

PRESENTA:

JESUS GERARDO GARCIA OLIVARES

MARIN, N. L.

JUNIO DE 1994

MARIN, N. L.

JUNIO DE 1994

11726

4

BIBLIOTECA Agronomía U.A.N.L.

TM
SB 191
• M2
93



045.631
FA1
1994
C.5

EFFECTO DE PROFIT-G, GALLINAZA Y ESTIERCOL BOVINO SOBRE LA
ACTIVIDAD FOTOSINTETICA Y EL RENDIMIENTO DE MAIZ (*Zea mays L.*) EN
EL DISTRITO DE RIEGO NO. 26 DEL BAJO RIO SAN JUAN

T E S I S

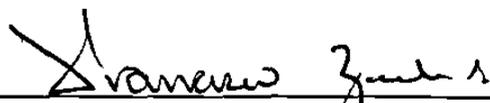
Sometida al comité particular como requisito parcial
para optar al grado de

MAESTRO EN CIENCIAS
ESPECIALISTA EN PRODUCCION AGRICOLA

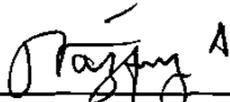
Revisada y aprobada por el comite particular



Dr. Emilio Olivares Sáenz
CONSEJERO



Dr. Francisco Zavala García
ASESOR



Dr. Rigoberto Vázquez Alvarado
ASESOR

MARIN, N. L.

JUNIO DE 1994

BIBLIOTECA Agronomía U.A.N.L.

DEDICATORIA

A mi esposa Ma. Guadalupe por haber permitido culminar esta meta, por su cariño y comprensión.

A mis hijos Jesús Gerardo y Karla Marisol por el tiempo que no compartimos, esperando que se cumplan sus sueños y anhelos y que en el transcurso de su vida alcancen su felicidad.

A mis padres Alejandro y Yolanda (Q.E.P.D.) por darme el ser.

A todos mis compañeros y maestros con los que compartí en este tiempo de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa su agradecimiento al Ph.D. Emilio Olivares Saénz, Consejero principal, por su valiosa colaboración en el desarrollo del presente trabajo y por motivarme en mi superación profesional.

Al Ph.D. Francisco Zavala García por su participación en la evaluación y análisis de las variables fisiológicas y en la revisión del escrito de tesis.

Al Ph.D. Rigoberto Vázquez A. por su asesoría y participación en la revisión de este escrito.

Al CONACYT por el apoyo para la realización de mis estudios de posgrado.

A la Subdirección de Estudios de Posgrado FAUNL, por los apoyos aportados en el desarrollo de los estudios de Maestría.

A la SARH y al PIFSV por otorgarme el apoyo para realizar mis estudios.

A la familia Olivares Salinas por su hospitalidad y amistad.

Al Sr. Emilio Olivares González y al Ing. José Luis Olivares por su incansable apoyo a la investigación agrícola.

BIOGRAFIA

El autor nació en la ciudad de Río Bravo Tamaulipas, el 24 de Enero de 1956.

1974 - 1978 Ingeniero Agrónomo Fitotecnista de la Facultad de Agronomía U.A.N.L., Monterrey, N.L.

1980 - 1991 Laborando en diferentes actividades dentro de la SARH, con los productores de la Zona Norte de Tamaulipas.

1991 - 1993 Estudiante de la Subdirección de Estudios de Posgrado, F.A.U.N.A.L., Marín, N.L. México.

INDICE

| | página |
|---|--------|
| DEDICATORIA..... | iii |
| AGRADECIMIENTOS..... | iv |
| BIOGRAFIA..... | v |
| INDICE..... | vi |
| INDICE DE CUADROS Y FIGURAS..... | x |
| RESUMEN..... | xv |
| SUMMARY..... | xvii |
| 1. INTRODUCCION..... | 1 |
| 2. REVISION DE LITERATURA..... | 4 |
| 2.1. Fertilización en el Norte de Tamaulipas..... | 4 |
| 2.2. Efecto de la Fertilización Nitrogenada Antes de la Siembra..... | 6 |
| 2.3. Uso de Abonos Orgánicos en General..... | 7 |
| 2.3.1. El Estiércol Bovino..... | 8 |
| 2.3.1.1. Efecto del Estiércol Bovino en las Características Físicas y Químicas del Suelo..... | 8 |
| 2.3.1.2. Manejo del Estiércol Bovino..... | 9 |
| 2.3.1.3. Efecto del Estiércol en el Rendimiento de los Cultivos..... | 10 |
| 2.3.1.4. Composición Química del Estiércol Bovino..... | 11 |

| | |
|---|----|
| 2.3.2. Gallinaza..... | 11 |
| 2.3.2.1. Efecto de la Gallinaza en el Rendimiento del Maíz..... | 12 |
| 2.3.2.2. Composición Química de la Gallinaza..... | 13 |
| 2.4. Ácidos Húmicos..... | 14 |
| 2.5. Fotosíntesis..... | 16 |
| 2.5.1. Factores que Afectan la Fotosíntesis..... | 16 |
| 2.5.2. Fotosíntesis y su Relación con el Rendimiento.... | 18 |
| 2.5.3. Fotosíntesis en las diferentes etapas de desarro- llo del maíz..... | 20 |
| 2.5.4. Efecto de los Nutrientes Minerales en la Fotosíntesis..... | 22 |
| 2.5.4.1. Nitrógeno..... | 22 |
| 2.5.4.2. Fósforo..... | 24 |
| 2.5.4.3. Potasio..... | 25 |
| 2.5.4.4. Magnesio..... | 25 |
| 2.5.4.5. Azufre..... | 26 |
| 2.5.4.6. Hierro..... | 26 |
| 2.5.5. Efecto del Estiércol en la Fotosíntesis..... | 26 |
| 2.5.6. Resistencia y Conductancia Estomatal..... | 27 |
| 2.5.6.1. Resistencia Estomatal..... | 27 |
| 2.5.6.2. Movimiento Estomatal..... | 28 |
| 2.6. Diagnóstico de la Nutrición del Maíz con Análisis Foliales..... | 28 |
| 2.6.1. Diagnóstico con Niveles Críticos..... | 28 |
| 2.6.2. DRIS (Diagnosis and Recommendation Integrated System)..... | 29 |

| | |
|---|----|
| 3. MATERIALES Y METODOS..... | 31 |
| 3.1. Localización y Características Agroclimáticas del SitioExperimental..... | 31 |
| 3.2. Diseño Experimental, Tratamientos y Croquis..... | 31 |
| 3.3. Labores de Preparación del Suelo y Material Genético..... | 34 |
| 3.4. Establecimiento del Experimento, Fertilización y Criterios de Selección de Materiales Probados..... | 34 |
| 3.5. Siembra y Emergencia..... | 35 |
| 3.6. Aplicación de Riegos y Labores Culturales..... | 36 |
| 3.7. Plagas y Enfermedades..... | 36 |
| 3.8. Propiedades Químicas y Físicas del Suelo..... | 37 |
| 3.9. Variables que se Estudiaron..... | 39 |
| 3.9.1. Variables Fenológicas en el Desarrollo del Cultivo..... | 39 |
| 3.9.1.1. Altura de Planta en la Etapa Vegetativa..... | 39 |
| 3.9.1.2. Area Foliar..... | 40 |
| 3.9.2. Variables Consignadas al Momento de la Cosecha... | 40 |
| 3.9.2.1. Altura de Planta en la Cosecha..... | 40 |
| 3.9.2.2. Altura a la Base de la Mazorca..... | 41 |
| 3.9.2.3. Rendimiento por Parcela Util..... | 41 |
| 3.9.2.4. Peso Total de 10 Plantas..... | 41 |
| 3.9.2.5. Rendimiento de 10 Plantas..... | 42 |
| 3.9.2.6. Índice de Cosecha..... | 42 |
| 3.9.3. Actividad Fotosintética..... | 42 |
| 3.9.4. Determinación de Nitrógeno Fósforo y Potasio por Medio de Análisis Foliares..... | 43 |

| | |
|--|----|
| 3.9.6. Diagnóstico del Estado Nutricional de las Plantas..... | 44 |
| 3.10. Análisis Estadísticos..... | 44 |
| 4.RESULTADOS..... | 48 |
| 4.1. Desarrollo Vegetativo del Cultivo..... | 48 |
| 4.2. Análisis Foliares..... | 50 |
| 4.2.1.Nitrógeno..... | 50 |
| 4.2.2.Potasio..... | 51 |
| 4.2.3.Fósforo..... | 51 |
| 4.2.4. Interpretación de los Resultados de los Análisis Foliares con la Metodología DRIS..... | 53 |
| 4.3. Rendimiento y Variables Asociadas..... | 54 |
| 4.4. Parámetros Fisiológicos..... | 58 |
| 4.4.1. Parámetros Fisiológicos en la Etapa Vegetativa.... | 58 |
| 4.4.2. Parámetros Fisiológicos en la Etapa de Llenado deGrano..... | 58 |
| 4.4.3. Comparación de los Parámetros Fisiológicos en la Etapa de Desarrollo y Llenado de Grano..... | 59 |
| 5.DISCUSION..... | 63 |
| 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 68 |
| 7. LITERATURA CITADA..... | 70 |
| 8.APENDICE..... | 79 |

INDICE DE CUADROS

| | Página |
|--|--------|
| 1. Resultados del análisis de suelo del lote donde se llevó a cabo el experimento: efecto sobre la actividad fotosintética y el rendimiento de Profit-G (ácido carboxílico), gallinaza y estiércol en maíz en el Distrito de Riego No. 26 del Bajo Río San Juan..... | 38 |
| 2. Cuadrados medios y F calculada del análisis de varianza utilizado para analizar las variables: fotosíntesis, CO ₂ , conductancia y transpiración..... | 46 |
| 3. Cuadrados medios y F calculada del análisis de varianza utilizado para la comparación de períodos de muestreo de las variables: fotosíntesis, CO ₂ , conductancia y transpiración..... | 47 |
| 4. Comparación de medias de tratamientos para el área foliar..... | 49 |
| 5. Comparación de medias de tratamientos para la altura de planta en la etapa de desarrollo vegetativo..... | 50 |
| 6. Medias de tratamientos de la concentración foliar de nitrógeno y potasio en base a peso seco..... | 51 |

| | |
|--|----|
| 7. Comparación de medias de tratamientos de la concentración foliar de fósforo en base a peso seco..... | 52 |
| 8. Índices DRIS para nitrógeno, fósforo y potasio y el orden de requerimiento..... | 54 |
| 9. Medias de tratamientos de la variable rendimiento expresada en kg ha^{-1} | 55 |
| 10. Medias de tratamientos de las variables altura de mazorca y altura de espiga..... | 56 |
| 11. Medias de tratamientos de las variables peso seco de diez plantas y rendimiento promedio por planta..... | 57 |
| 12. Medias de tratamientos de la variable índice de cosecha..... | 57 |
| 13. Medias de tratamientos de fotosíntesis en las etapas vegetativas y llenado de grano..... | 60 |
| 14. Medias de tratamientos de la variable concentración de CO_2 en las etapas vegetativa y de llenado de grano..... | 61 |
| 15. Medias de tratamientos de la variable conductancia en la etapa vegetativa y de llenado de grano..... | 61 |

| | |
|---|----|
| 16. Medias de tratamientos de la variable transpiración en la etapa vegetativa y de llenado de grano..... | 62 |
| A1. Cuadrados medios de los análisis de varianza para las variables evaluadas en la etapa vegetativa: área foliar y altura de planta..... | 79 |
| A2. Cuadrados medios de los análisis de varianza para las variables: concentración foliar de nitrógeno, fósforo y potasio..... | 79 |
| A3. Cuadrados medios obtenidos en el análisis de covarianza para el rendimiento expresado en kg ha ⁻¹ | 79 |
| A4. Cuadrados medios obtenidos en los análisis de varianza para la altura de planta y altura de mazorca..... | 80 |
| A5. Cuadrados medios obtenidos en los análisis de varianza para peso seco de 10 plantas, rendimiento promedio por planta e índice de cosecha..... | 80 |
| A6. Análisis de varianza para fotosíntesis en la etapa vegetativa..... | 80 |
| A7. Análisis de varianza para concentración de CO ₂ en la etapa vegetativa..... | 81 |

| | |
|--|----|
| A8. Análisis de varianza para conductancia estomatal en la etapa vegetativa..... | 81 |
| A9. Análisis de varianza para transpiración en la etapa vegetativa..... | 81 |
| A10. Análisis de varianza para fotosíntesis en la etapa de llenado de grano..... | 82 |
| A11. Análisis de varianza para concentración de CO ₂ en la etapa de llenado de grano..... | 82 |
| A12. Análisis de varianza para conductancia estomatal en la etapa de llenado de grano..... | 82 |
| A13. Análisis de varianza para transpiración en la etapa de llenado de grano..... | 83 |
| A14. Análisis de varianza para la comparación de períodos de muestreo para las variables fotosíntesis y concentración interna de CO ₂ | 83 |
| A15. Análisis de varianza para la comparación de períodos de muestreo de las variables conductancia y transpiración..... | 83 |

INDICE DE FIGURAS

1. Croquis del experimento: efecto de Profit-G, gallinaza y estiércol bobino sobre la actividad fotosintética y el rendimiento de maíz (*Zea mays L.*) en el Distrito de Riego No. 26 del Bajo Río San Juan.....33

RESUMEN

El propósito del presente estudio fue evaluar el efecto de los abonos orgánicos (Profit-G, gallinaza y estiércol bovino) en el rendimiento, la actividad fotosintética y la concentración foliar de nutrientes en el cultivo de maíz en el Distrito de Riego No. 26 en el Norte del Edo. de Tamaulipas. Los tratamientos estudiados fueron: T1=Profit-G 20 kg ha⁻¹ + fertilización básica (f.b.), T2=gallinaza 20 kg ha⁻¹ + f.b., T3=estiércol 20 kg ha⁻¹ + f.b., T4=gallinaza 736 kg ha⁻¹ + f.b., T5=estiércol 4000 kg ha⁻¹ + f.b., T6=f.b., T7=sin fertilización.

Los resultados de los análisis de varianza mostraron diferencia significativa entre los tratamientos para el área foliar y la altura, en la etapa de desarrollo vegetativo. Los tratamientos con mayor área foliar y altura de planta fueron aquellos en donde se aplicó altas dosis de abonos orgánicos (T4 y T5). No se encontró diferencia significativa para el rendimiento de grano, altura de planta final, altura a la mazorca, producción de materia seca de 10 plantas, rendimiento de 10 plantas e índice de cosecha. No se observó ventaja de la aplicación de Profit-G en ninguna de las variables estudiadas.

La actividad fotosintética se tomó por medio del equipo de cámara portátil LICOR-6200. Las variables fisiológicas analizadas

fueron: fotosíntesis, concentración interna de CO_2 , conductancia y transpiración. No se encontró diferencia significativa para tratamientos en ninguna de las variables fisiológicas, sin embargo, se observó una diferencia altamente significativa entre bloques. La mayor variabilidad encontrada fue en plantas dentro de parcelas, comparada con la variabilidad en las dos lecturas del aparato. Por otra parte, cuando se compararon las etapas de desarrollo vegetativo y de llenado de grano, se encontró diferencia significativa para fotosíntesis, concentración interna de CO_2 y transpiración. Para conductancia no se encontró diferencias en etapas. En general, se encontró una mayor actividad fisiológica en las plantas en la etapa vegetativa.

Por medio de análisis foliares se determinó la concentración de N, P y K en la hoja de la mazorca en la etapa de llenado de grano. Las concentraciones de N en los tratamientos fluctuaron entre 1.85% a 2.06%, para P entre 0.19% y 0.31% y para potasio entre 1.32% a 1.38%. En los análisis de varianza no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos para N y K. El análisis de varianza para P mostró una diferencia significativa entre tratamientos, las parcelas en donde se encontró la mayor concentración de este elemento fueron aquellas donde se aplicaron las mayores dosis de abonos orgánicos (T4 y T5). Por medio de la metodología DRIS se detectó que el P fue el elemento con más desbalance en las plantas, seguido del N. No se encontró un desbalance importante para el K.

SUMMARY

The objective of this study was to evaluate the effect of several organic compounds (Profit-G, chicken manure and cow manure) on yield, mineral leaf concentration and photosynthetic activity of corn. The experiment was grown at Irrigation District No. 26 located in the North part of the State of Tamaulipas, Mexico. Seven Treatments were distributed randomly in a complete block design with four replications. The treatments studied were: T1=Profit-G 20 kg ha⁻¹ + basic fertilization (b.f.), T2=chicken manure 20 kg ha⁻¹ + b.f., T3=cow manure 20 kg ha⁻¹ + b.f., T4=chicken manure 736 kg ha⁻¹ + b.f., T5=cow manure 4000 kg ha⁻¹ + b.f., T6=b.f., T7=check (without fertili-zation).

Analysis of variance showed significant differences among treatments for leaf area and height in the vegetative stage of development. Treatments with the biggest leaf area and height were those with the highest rate of chicken and cow manure (T4 and T5). There was not a significant difference among treatments for grain yield, final plant height, ear height, dry matter weight of 10 plants, yield of 10 plants, and harvest index. There was not a significant effect of Profit-G in any of the studied variables.

Photosynthetic activity was evaluated by means of the LICOR-6200 equipment in two physiological stages: vegetative and grain fill stage. The physiological variables analyzed were photosynthesis, internal CO₂ concentration, stomatal conductance and

transpiration. There was not a significant difference among treatments for any of the physiological variables. Analysis of variance showed a high variance of plants within plots.

There was a different photosynthetic activity between vegetative and grain fill stages. Photosynthesis, internal CO₂ concentration and transpiration were higher in the vegetative stage compared with the grain fill stage.

Concentrations of N, P and K in the ear leaf were studied. Nitrogen concentrations in the treatments ranged from 1.85% to 2.06%, P concentration were between 0.21% to 0.31% and K concentrations fluctuated between 1.32% and 1.38%. Analysis of variance did not show a difference among treatments for N and K, however, there was a significant difference for P. Treatments with the highest P concentration were the treatments with the highest rate of manure (T4 and T5). DRIS (Diagnosis Recommendation Integrated System) was used to determinate the relative requirement of N, P and K. Results showed that P was the nutrient with the highest imbalance in the leaf tissue, followed by N. K did not show any imbalance in the plant.

1. INTRODUCCION

En la región Norte de Tamaulipas, el cultivo del maíz ocupa la mayor superficie sembrada. En el Distrito de Riego No. 26 del Bajo Río San Juan se siembran 64,000 hectáreas, siendo éste el cultivo más importante de la región y el más viable económicamente. Sin embargo, las políticas macroeconómicas aplicadas al campo en los últimos años, aunado al tratado de libre comercio que recientemente se ha acordado con Estados Unidos y Canadá podrían disminuir considerablemente las ganancias que se obtienen con este cultivo, por lo que es necesario buscar alternativas para obtener mayores rendimientos y una mayor productividad.

Uno de los principales insumos que se utilizan en mayor proporción es el fertilizante químico, ya que estas tierras han estado abiertas al cultivo en los últimos 45 años por lo que se ha tenido que implementar prácticas culturales para retribuir algunos nutrientes al suelo y poder así seguir cultivando esta importante zona agrícola.

Los fertilizantes químicos son la principal fuente utilizada para modificar la fertilidad del suelo, por lo que se ha presentado un proceso de empobrecimiento de los suelos debido a que estos productos no retribuyen la totalidad de los elementos del suelo utilizados por las plantas. Conscientes del problema, los agricultores han probado diferentes alternativas como son la

rotación de cultivos con los sistemas maíz-frijol, maíz-soya, y la aplicación de mejoradores orgánicos, lo cual no ha sido generalizado ya que los primeros solo lo aplican los productores que utilizan el paquete tecnológico de altos insumos y los mejoradores orgánicos han sido probados ocasionalmente por algunos agricultores, pero no han sido evaluados experimentalmente en la zona donde se llevó a cabo el estudio.

En últimas fechas, la introducción de nuevas tecnologías debido a la apertura comercial ha influenciado para que se presenten en el mercado diferentes productos que, según sus comercializadores, aseguran aumentos considerables en los rendimientos, aunque sus efectos no han sido evaluados para las condiciones en que se practica la agricultura de la región.

Por lo anteriormente expuesto, los objetivos del presente trabajo fueron:

- a) Comparar la respuesta de Profit-G contra la aplicación de los abonos orgánicos gallinaza y estiércol de bovino en cuanto a rendimiento, variables relacionadas con el rendimiento y en la concentración foliar de nutrientes.
- b) Determinar el efecto de la aplicación de gallinaza y estiércol bovino sobre el rendimiento, variables relacionadas con el rendimiento y en la concentración foliar de nutrientes.

- c) Evaluar el efecto de Profit-G, gallinaza y estiércol de bovino combinado con fertilizantes químicos en la actividad fotosintética del maíz.

Las hipótesis planteadas en la presente investigación son:

1. Los abonos orgánicos gallinaza y estiércol aplicados en dosis equivalentes al precio de Profit-G superan a este en rendimiento y desarrollo de la planta de maíz.
2. La gallinaza y estiércol bovino incrementan significativamente el rendimiento de maíz, variables relacionadas con el rendimiento y en la concentración foliar de nutrientes.
3. Hay una mayor actividad fotosintética en los tratamientos con abonos orgánicos, comparados con fertilizantes químicos o sin fertilizantes.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1. Fertilización en el Norte de Tamaulipas

La fertilización de los cultivos es una de las prácticas agrícolas de mayor impacto en la obtención de altos rendimientos de las cosechas en la Región Norte del Estado de Tamaulipas. Por lo anterior, se han implementado importantes estudios en la región encaminados al uso y aplicación de fertilizantes. Uno de ellos fue el realizado por el Programa Estatal de Fertilidad, en el año de 1976. En el ciclo 1976-1976 se establecieron 96 experimentos y en el ciclo temprano de 1977 se establecieron 250 experimentos en 700 000 ha con maíz, sorgo, soya, pastos, caña de azúcar y frutales. El estudio concluyó con la generación de un paquete tecnológico, en donde se encontró respuesta a los fertilizantes en los cultivos en las zonas investigadas. Para maíz se recomendó una dosis óptima económica de capital ilimitado de 90 a 120 kg ha⁻¹ de N, de 50 a 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ y una densidad de 50,000 a 60,000 plantas ha⁻¹. Para capital limitado se recomendaron de 60 a 90 kg ha⁻¹ de N, de 40 a 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ y una densidad de entre 40,000 a 50,000 plantas por ha⁻¹ (SARH, 1977).

Investigaciones más recientes han sido realizadas por personal técnico del INIFAP y SARH, quienes estudiaron la fertilización y clasificación de suelos. Los estudios agrológicos detallados en el año de 1980 de los Distritos de Riego 25 y 26 del Bajo Río Bravo y Bajo Río San Juan, dieron como resultado la clasificación de

cuatro tipos de suelos. Los de clase I son terrenos con pocas limitaciones para su uso, profundos, de texturas medias, con buen drenaje interno y con un buen potencial productivo. La dosis de fertilización para maíz de riego recomendada para suelos de clase I fue 140-40-00. Los suelos de la clase II tienen algunas limitaciones para su manejo, son de textura arcillosa y requieren de algunas prácticas de drenaje. La dosis de fertilización recomendada para maíz en estos suelos fue 120-40-00. Los suelos de las clases III y IV tienen severas limitaciones para uso agrícola y no se recomienda la siembra de maíz en estos suelos (PIFSV, 1986).

Otros estudios enfocados a determinar las dosis de fertilización óptima para maíz en las zonas altas y bajas del Estado de Tamaulipas fueron realizados por Campos et al. (1992), encontrando que la mejor dosis de fertilización para la zona alta fue de 60-40-00 con una densidad de siembra de 45,000 plantas ha⁻¹; mientras que para la zona baja, la mejor dosis fue de 120-40-00 con 45,000 plantas ha⁻¹.

En otros trabajos con maíz cultivado de acuerdo al paquete tecnológico en la Zona Norte de Tamaulipas, no han encontrado respuesta a la aplicación de fertilizantes foliares y mejoradores de suelo. Sánchez (1988) estudió la respuesta de aplicación de fertilizantes foliares, fito-hormonas y mejoradores de suelo. El estudio se realizó en dos localidades. Las dosis y épocas de

aplicación fueron las recomendadas por las casas comerciales. Los resultados a nivel de medias de rendimiento mostraron que ningún tratamiento superó al testigo regional fertilizado con las dosis recomendadas en el paquete tecnológico. Los mismos resultados fueron encontrados en otros estudios realizados por Sánchez y López (1992).

2.2. Efecto de la Fertilización Nitrogenada Antes de la Siembra

La fertilización nitrogenada de presiembra aplicada en banda en dosis pequeñas es un método común de fertilización en maíz, sin embargo, existen reportes contradictorios sobre el efecto de la fertilización inicial en el rendimiento de maíz. Algunos autores afirman que la fertilización inicial tiene un efecto importante sobre el rendimiento, sin embargo se ha reportado que en suelos con altos contenidos residuales de NPK la fertilización inicial no incrementa el rendimiento de grano. Bullock et al. (1992) reportaron que el crecimiento de maíz en las primeras etapas de desarrollo es afectado por la fertilización inicial, pero el peso de la planta final no se incrementó. La tasa de asimilación neta presentó las mismas tendencias que el peso de planta. El peso de hojas y el índice de área foliar también obtuvieron incrementos en las primeras etapas de crecimiento con la fertilización inicial; sin embargo, al final del ciclo no aumentó el peso de hojas. El índice de área foliar en las parcelas con fertilización inicial, obtuvieron valores menores que el testigo. El rendimiento no se

incrementó con la aplicación de fertilización inicial.

En otras investigaciones se ha demostrado que la fertilización antes de la siembra no difiere de la fertilización hecha cuando la planta está en desarrollo. Killorn y Zourarakis (1992) compararon diferentes dosis de N aplicadas como sulfato de amonio antes de la siembra y cuando la planta estaba en su sexta hoja de desarrollo. Los experimentos se realizaron en dos años consecutivos y en dos sitios. En tres de las evaluaciones no encontraron diferencia entre la época de aplicación del N; sin embargo en uno de los experimentos las aplicaciones después de la siembra superaron a la fertilización inicial en cuanto a rendimiento de grano, contenido de N en el grano y contenido de N en las hojas. Resultados similares fueron reportados por Jokela (1992) en un estudio sobre efecto de la fertilización inicial en la producción de maíz forrajero, quien concluyó que la aplicación de dosis pequeñas de fertilizante aplicadas en banda al momento de la siembra era un método efectivo de fertilización en maíz en suelos con un nivel medio de P y K. También concluyó que la probabilidad de respuesta es menor en suelos con altos contenidos de P y K; además, aclaró que dosis excesivas pueden no ser económicas.

2.3. Uso de Abonos Orgánicos en General

La materia orgánica tiene un marcado efecto en la capacidad de intercambio catiónico de los suelos. Los cationes están cargados

positivamente, por lo que son atraídos por las superficies con cargas negativas. En la materia orgánica las cargas negativas se deben principalmente a los grupos carboxyl (-COOH) y fenólico (C₆H₄OH). El grupo carboxyl se disocia para dejar una carga negativa. Se estima que entre el 85% y 90% de las cargas negativas del humus se debe a estos dos grupos funcionales (Tisdale et al., 1985).

2.3.1. El Estiércol Bovino

2.3.1.1. Efecto del Estiércol Bovino en las Características Físicas y Químicas del Suelo

El estiércol mejora las propiedades físicas y químicas del suelo. Incrementa la velocidad de infiltración, la conductividad hidráulica, la retención de humedad y adsorbe cationes; con esto mejora la estructura física de los suelos ligeros y muelle los suelos pesados (Castellanos, 1990). El estiércol también aporta nitrógeno, fósforo, potasio y elementos menores. Incrementa la actividad microbiana del suelo y es una de las principales fuentes de CO₂.

Entre los beneficios de la aplicación de estiércoles al suelo Tisdale et al. (1985) mencionan:

- a) Una suplementación adicional de amonio.
- b) Mayor movilidad y disponibilidad de fósforo y micronutrientes

debido a que estos elementos forman complejos químicos con la materia orgánica.

- c) Incrementa la retención de humedad.
- d) Mejora la estructura del suelo, por lo que se incrementa la infiltración y disminuye la densidad aparente del suelo.
- e) Incrementa los niveles de dióxido de carbono en el dosel de las plantas.
- f) Incrementa la capacidad buffer cuando hay cambios drásticos de pH.
- g) Reduce la toxicidad del aluminio en suelos ácidos.

Las propiedades físicas del suelo se mejoran con la aplicación de estiércol, sin embargo, el grado de estos cambios es muy pequeño y no son apreciables en uno o dos ciclos de cultivo en suelos sin limitaciones físicas. En suelos con restricciones de severas a moderadas en sus propiedades físicas, la aplicación de estiércoles ha ocasionado respuestas importantes en el rendimiento, como resultado del mejoramiento de la velocidad de infiltración del agua y de la aireación del suelo después del riego (Castellanos, 1990).

2.3.1.2. Manejo del Estiércol Bovino

La calidad del estiércol está afectada por la forma en que se almacena y maneja en el período previo a la aplicación. El almacenamiento a la intemperie hasta el momento de su aplicación ocasiona grandes pérdidas de los elementos nutritivos debido a la

acción de elementos climáticos tales como el sol la lluvia y el viento, además provoca un grave problema de contaminación del ambiente (Cruz, 1986).

El método de aplicación y las condiciones climáticas son factores que afectan la eficiencia de la fertilización con estiércol. Huber y Amberger (1990) encontraron que cuando el estiércol es aplicado en la superficie del suelo disminuye un 25% el contenido de NH_3 , comparado con la incorporación, así mismo en la estación temprana encontró decrementos de 60% cuando se aplicó en condiciones de alta temperatura y después de la cosecha. Resultados similares fueron reportados por Tisdale et al. (1985) sobre el efecto del método de aplicación en la cantidad de nitrógeno que se pierde por volatilización.

2.3.1.3. Efecto del Estiércol en el Rendimiento de los Cultivos

El efecto de la aplicación de estiércol en el rendimiento de maíz ha sido ampliamente estudiado. En la mayoría de los trabajos publicados se ha encontrado un incremento en rendimiento con la aplicación de estos abonos (Nitta y Matsuguchi, 1989; Lei, 1989).

Investigaciones recientes han mostrado que el efecto del estiércol bovino sobre el rendimiento de los cultivos es mayor cuando se aplica mezclado con fertilizantes químicos. Schegel (1992) estudió el efecto de diferentes niveles de estiércol y

fertilizante nitrogenado, encontrando mejores rendimientos en los tratamientos en donde se aplicó el estiércol con el fertilizante, comparado con la aplicación por separado.

La aplicación conjunta de fertilizantes fosfóricos y estiércol no sigue la misma tendencia que la reportada para la interacción de nitrógeno-estiércol. Muñoz y Castellanos (1988) estudiaron diferentes niveles de gallinaza y estiércol bovino combinados con superfosfato de calcio triple. En el trabajo concluyeron que el estiércol puede sustituir al superfosfato de calcio triple como fuente de fósforo, pero no observaron un incremento en la eficiencia de suplementación de fósforo cuando se combinó la fuente orgánica con la mineral en comparación con la aplicación por separado.

2.3.1.4. Composición Química del Estiércol Bovino

Donahue et al. (1983) en estudios de la composición química del estiércol de ganado de vacas lecheras en diferentes fuentes seleccionadas, reportan la siguiente composición química promedio (% en base seca): 2-8% de N, 0.2-1% P, 1-3% de K, 1-1.5% de Mg 1-3% de sodio, 6-15% de sales solubles. En otros estudios citados por Villarroel (1979), se menciona que el estiércol bovino contiene 0.4% de N, 0.18% de P_2O_5 y 0.45% de K_2O .

2.3.2. Gallinaza

2.3.2.1. Efecto de la Gallinaza en el Rendimiento del Maíz

La gallinaza es un abono orgánico utilizado frecuentemente en el cultivo del maíz. Numerosos experimentos han demostrado incrementos en el rendimiento de maíz con la aplicación de gallinaza. Cruzaley y Cantú (1990) estudiaron el efecto de la aplicación de tres abonos orgánicos (gallinaza, estiércol bovino y caprino) en el rendimiento de maíz y pH de suelos calcáreos, encontrando un incremento considerable en el rendimiento cuando se aplicaron los abonos. También reportaron un decremento en el pH con la aplicación de gallinaza.

Estudios realizados en el cultivo del maíz dentro del área del Plan Puebla, para el período de 1967-1976 reportan el efecto de la aplicación de fertilizantes y gallinaza. Los trabajos concluyeron que la mejor dosis para maíz de temporal en esta zona fue: 100-50-00, con 2.5 toneladas de gallinaza (Tirado, 1979).

Algunos estudios han mostrado que la aplicación de gallinaza es más efectiva cuando se aplica mezclada con fertilizantes. Maldonado y Vergara (1992) investigaron la aplicación conjunta de gallinaza y fertilizantes químicos y su aplicación por separado. En el estudio concluyeron que la mezcla organo-mineral aumenta sustancialmente el rendimiento en el cultivo de maíz, comparado con

la aplicación separada de los compuestos.

Castro, citado por Tirado (1979) en estudios con maíz en la región de Chalco-Amecameca, encontró el efecto de aplicar la combinación de fertilizante nitrogenado y fosfórico con gallinaza y reporta que las dosis con la que obtuvieron los máximos rendimientos fluctuaron: para nitrógeno de 90 a 120 kg ha⁻¹, para fósforo de 20 a 40 kg ha⁻¹ y para gallinaza de 4 a 6 ton ha⁻¹.

En otras investigaciones realizadas por Villarroel (1979) no encontraron efectos significativos a la aplicación de gallinaza sobre las concentraciones de N, P, Ca, Mg, Zn, Mn y Fe totales en los tejidos del maíz, y presentan pequeños incrementos aunque no significativos en las concentraciones de P, K, y Zn, no así en los otros nutrientes determinados. En cuanto al diámetro de tallo y rendimiento de grano reportan las mismas tendencias.

2.3.2.2. Composición Química de la Gallinaza

La composición química de la gallinaza depende del tipo de animal, alimento consumido, cama utilizada, y el manejo del abono. Las cantidades de nutrientes de la gallinaza son un poco mayores que la del estiércol bovino. En estudios con gallinaza provenientes de Tehuacán, Puebla reportan la siguiente composición química: 2.5% de N, 1.8% de P, 0.19% de K, 0.08% de Ca, 0.04% de Mg, 0.13 ppm Zn y 0.10 ppm Fe (Jonas citado por Villarroel, 1979).

Donahue *et al.* (1983) promediaron los resultados de diferentes fuentes, reportando la siguiente composición química de gallinaza (% en base seca): 5-8% de N, 1-2% P, 1-2% de K, 2-3% de Mg 1-2% de sodio, 2-5% de sales solubles.

La gallinaza que se comercializa en los estados de Nuevo León y Tamaulipas es procesada en Zuazua, N. L. con el nombre de Meyfer. La composición química reportada para este tipo de gallinaza es: 3.43% de N, 3.25% P, 2.7% de K, 1.56% de Mg 0.36% de sodio y diferentes cantidades de elementos menores (Meyfer, Gallinaza, 1991).

2.4. Acidos Húmicos

El humus es un compuesto complejo de color café a negro, resistente a los microorganismos, amorfo y coloidal. Está constituido por ácido húmico (50% a 80%) y polisacáridos (10% a 30%). El humus contiene primeramente carbón, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo, azufre, y pequeñas cantidades de otros elementos. La típica molécula de ácido húmico consiste de polímeros de alta densidad con una gran cantidad de grupos funcionales reactivos; su peso molecular puede llegar a 10,000 y 50,000; su estructura aromática es complicada y variable. Entre los radicales externos pueden encontrarse grupos ácidos de carácter fenólico y carboxílico (-OH, COOH), de los que resultan las propiedades ácidas

de los ácidos húmicos. También se pueden encontrar grupos amínicos ($-\text{NH}_2$) como radicales externos.

El humus es altamente coloidal, su área superficial y capacidad de adsorción es mayor que la de las arcillas del suelo. La capacidad de intercambio catiónico varía de 1500 a 3000 milimoles(+) kg^{-1} . Los ácidos húmicos dan al suelo características determinadas a través de sus propiedades específicas de formación de agregados, adsorción de elementos nutritivos, color, retención de agua y otros (Bohn et al., 1985; Fassbender, 1980)

Kononona citado por Campos (1989) menciona que determinadas fracciones de ácidos húmicos tienen sorprendente capacidad de actuar estimulando los procesos fisiológicos y bioquímicos. El mecanismo de acción de determinadas sustancias húmicas está basada en la estimulación de los procesos energéticos relacionados con la respiración y la síntesis de los ácidos nucleicos. Ellos producen una elevación de la vitalidad del organismo vegetal bajo la acción de sustancias biológicamente activas, aumentando la asimilación de los elementos nutritivos del suelo.

Los ácidos húmicos y carboxílicos son derivados de compuestos orgánicos, los cuales se procesan para obtener productos comerciales, los cuales se ofrecen como mejoradores de suelo. Algunos experimentos realizados por Rangel (1991a 1991b y 1991c) han demostrado que la aplicación de ácidos carboxílicos incrementa

el rendimiento de los cultivos. En uno de estos experimentos de campo se evaluaron 4 formulaciones de ácidos carboxílicos para determinar su efecto en la producción y en la calidad de tomate, los tratamientos presentaron diferencias significativas, con un aumento del 10 al 21% superiores al testigo.

En otros estudios realizados por Rangel (1991b y 1991c), encontró en Chile un aumento en los tamaños de los frutos con diferencias de 19, 27, y 31% y un aumento del 6% en la pared de los frutos, cuando se usaron tres formulaciones de ácidos carboxílicos (Profit-G, Carboxy-k y Packard). En pepino encontró incrementos del 12 al 24% superiores al testigo. Los trabajos se efectuaron con la prueba de 5 formulaciones de ácidos carboxílicos siendo la mejor formulación la compuesta por Carboxy y Pakard.

2.5. Fotosíntesis

2.5.1. Factores que Afectan la Fotosíntesis

La tasa de fotosíntesis se relaciona con la condición fisiológica de la planta, la condición bajo la cual creció, su estado nutrimental, factores genéticos, el estado de sus estomas y otros factores de procesos secundarios; la carboxilación, la vía glicolítica y la respiración oscura. Existen además algunos factores específicos que afectan el proceso fotosintético como son: la temperatura, el oxígeno, dióxido de carbono y el efecto de la

luz (Bidwell, 1979). Por otra parte, Nichiporovich y Strogonova (1957) mencionan que la tasa de asimilación neta de la fotosíntesis es más influenciada por factores ambientales, además reportan también una fuerte dependencia con los contenidos de humedad y las condiciones de fertilidad del suelo.

Se han realizado investigaciones para entender el funcionamiento de la planta y el efecto de los cambios de la variación ambiental sobre dicho funcionamiento. Se ha demostrado que altas temperaturas, en forma general, aceleran el desarrollo y el crecimiento, asimismo bajas temperaturas influyen en una menor disponibilidad de energía; además, para la absorción de nutrientes se debe de gastar más energía, pues en la absorción activa la planta debe tomar los nutrientes contra un gradiente de concentración y las bajas temperaturas fijan más los iones al suelo, lo que hace más lenta a la fotosíntesis (Duncan et al., citados por Evans, 1975).

Estudios más recientes han demostrado que la temperatura influye en la regulación de la asimilación de carbón en la fotosíntesis en maíz y otros cultivos (Labate et al., 1990). En otros estudios Andrade, et al. (1993), reportaron que la temperatura influye en la eficiencia y uso de radiación (EUR) en Maíz. La EUR reportada presentó variaciones de 2.27 a 3.17 g de materia seca debido a mayor interceptación de actividad fotosintética en siembras efectuadas en el mes de octubre en cinco diferentes

años. En esta investigación concluyen que las temperaturas afectan la EUR en el cultivo de maíz.

La intensidad de la luz, referida ésta a la calidad e intensidad de la insolación, son importantes para determinar la velocidad de desarrollo, ya que influyen fuertemente en el crecimiento e indirectamente en el rendimiento. Varios autores informan de una relación directa del rendimiento con la intensidad de la luz en maíz (Duncan et al., citados por Evans, 1975). Además, la utilización de la luz es manejada por varios investigadores como uno de los componentes fisiológicos de rendimiento (Evans, citado por Castillo, 1980).

Las especies difieren en la respuesta a los niveles de luz, las C_4 pueden incrementar la fotosíntesis con ciertos niveles de luz y niveles altos de CO_2 . La mayoría de los cultivos pueden incrementar sus rendimientos con una atmósfera enriquecida de CO_2 arriba de 1500 ppm (Gardner et al., 1985).

2.5.2. Fotosíntesis y su Relación con el Rendimiento

El rendimiento de los cultivos es el resultado de una serie de procesos fisiológicos, dentro de los cuales los de fotosíntesis, nutrición y crecimiento son la base de la acumulación de materia seca total de las plantas; dentro de estos procesos la fotosíntesis

es de vital importancia, ya que aporta el 90-95% de los sólidos totales (Nichiporovich y Strogonova, 1957).

El proceso de fotosíntesis consiste en la transformación de CO_2 a compuestos orgánicos estables utilizando la energía solar. La incorporación de CO_2 a compuestos orgánicos da como resultado un incremento en el peso seco de las plantas. Los productos de la fotosíntesis son usados en la estructura de la planta, en la respiración, en el crecimiento y también son almacenados, por lo que el rendimiento de una planta depende de la eficiencia para particionar los productos generados por la fotosíntesis en las diferentes fracciones (Gardner et al., 1985).

La eficiencia fisiológica para producir rendimiento, se puede medir en una planta mediante la estimación de procesos fisiológicos a través de índices de eficiencia ó índices fisiotécnicos. Se puede considerar un buen número de índices que podrían dar una estimación de la eficiencia fisiológica de una planta, tales como: el rendimiento por unidad de superficie, rendimiento por cantidad de fertilizante aplicado, rendimiento por agua suministrada o a través de índices como el índice de cosecha, la relación grano/paja y otros procesos fisiológicos que están más relacionados con el rendimiento de las plantas como la fotosíntesis, la traslocación y la acumulación y distribución de la materia seca en la planta (Nichiporovich, citado por Romero, 1981).

El índice de cosecha es definido más explícitamente por Donald y Hamblin (1962), quienes recalcan su importancia argumentando que este índice determina que tan eficiente es el sistema fotosintético de la planta (evaluado indirectamente por el peso seco total) en base a la proporción de rendimiento económico que produzca.

Otros índices son útiles para los análisis de crecimiento y se calculan en base a valores de peso seco acumulado, área foliar y peso de diferentes partes de la planta, obtenidos en lapsos de tiempo y determinados durante el período de crecimiento del cultivo. Estos índices son: a) índice de área foliar (IAF), b) duración de área foliar (DAF), c) relación de área foliar (RAF), d) tasa de asimilación neta (TAN), e) tasa de crecimiento relativo (TCR) y f) tasa de crecimiento de cultivo (TCC).

2.5.3. Fotosíntesis en las diferentes etapas de Desarrollo del Maíz

Algunos investigadores distinguen los estados de desarrollo en las plantas en base a criterios fenológicos a partir de una fecha determinada, generalmente de la siembra o emergencia de la plántula. Otro criterio consiste en determinar los estados de desarrollo en base a observaciones fenológicas, como al momento de exposición de las hojas, diferenciación o aparición de inflorescencias, grado de madurez del grano y otras (Eastin et al, 1977).

El desarrollo se refiere a los cambios sobre el modelo o tipo de actividades vegetativas a lo largo del ciclo de la planta. De este modo, el crecimiento vegetativo y reproductivo presentan distintas fases, ya que implican modelos distintos en el metabolismo y en la movilización de los fotosintetizados (Crofts et al., citado por Osuna, 1980).

En diferentes estudios se ha considerado que el proceso de crecimiento de una planta de maíz puede ser dividido en cuatro fases: vegetativa inicial, vegetativa activa, inicial de llenado de grano, y activa de llenado de grano. En la fase vegetativa inicial brotan las hojas y posteriormente se desarrollan en sucesión acropétala. La producción de materia seca es lenta y termina al iniciarse la diferenciación de los órganos reproductivos, o la elongación de los entrenudos. La fase vegetativa activa: se desarrollan las hojas, el culmo y el primordio de los órganos reproductivos. Esta fase termina con la emisión de estigmas. En la fase inicial de llenado de grano se continúa con el incremento del peso de las hojas y el culmo pero en forma lenta. Por último, la fase de llenado de grano, donde existe un rápido incremento en el peso de los granos, acompañado de un ligero abatimiento en el peso de las hojas, culmo, espatas y raquis. Más del 90% del peso de los granos se deriva de los fotosintatos producidos durante el llenado de grano y que son trasladados directamente a ellos (Tanaka y Yamaguchi, 1977).

La fotosíntesis varía en las diferentes etapas de desarrollo. Estudios realizados con diferentes variedades de maíz por Valencia, (1986) reportan diferencias en la tasa de asimilación neta (TAN) en diferentes etapas del cultivo. La TAN se calculó en base a dos criterios: en base al área foliar y en base a peso seco laminar. En general, la TAN se incrementó desde la emergencia hasta el día 50, posteriormente bajó hasta el período de iniciación de la floración femenina, después de la cual, disminuyó lentamente o permaneció constante.

Las velocidades de los procesos fisiológicos difieren entre los órganos de la planta. Estudios en maíz en la etapa de llenado de grano presentados por Tanaka y Yamaguchi (1977) encontraron fluctuaciones de las velocidades fotosintéticas en diferentes órganos. Reportaron que en plena actividad fotosintética la velocidad aparente de fotosíntesis era alta en la lámina foliar, baja en la vaina y en el culmo y negativa en la mazorca.

2.5.4. Efecto de los Nutrientes Minerales en la Fotosíntesis

2.5.4.1. Nitrógeno

El nitrógeno tiene un gran efecto sobre el desarrollo de las plantas. Uno de los procesos que se ven afectados por la deficiencia de este elemento es la fotosíntesis. La deficiencia de nitrógeno tiene como consecuencias un colapso de los cloroplastos

y disturbios en el desarrollo de los mismos (Mengel y Kirkby, 1982). Se ha demostrado en arroz que la actividad fotosintética medida en condiciones normales tiene una cercana y positiva correlación con el contenido de nitrógeno en las hojas, independientemente de la etapa de crecimiento (Murata, citado por Evans, 1975). En otro trabajo reportado por Fujiwara (citado por Evans, 1975) se encontró que en hojas de arroz en desarrollo, la actividad fotosintética fue proporcional al contenido de nitrógeno corregido por la cantidad de nitrógeno en hojas muy jóvenes sin actividad fotosintética.

El efecto del nitrógeno en el proceso fotosintético fue remarcado por Williams (citado por Watson, 1952) quien propuso en 1939 que la tasa de asimilación neta fuese expresada en función del contenido de proteína de las hojas, posteriormente, en 1953 sugirió que la proteína citoplásmica, en lugar de la proteína total de la hoja, fuese usada como la base para calcular la tasa de asimilación neta, sin embargo, concluyeron que el uso del contenido de proteína en el citoplasma no era una forma práctica de calcular la tasa de asimilación neta debido a que es más fácil calcular el área foliar que el contenido de proteína citoplasmático.

En estudios más recientes, Brouwer et al. (citado por Mengel y Kirkby, 1982) demostraron que para el crecimiento óptimo de las plantas debe haber un balance entre la tasa de producción de fotosíntesis y la tasa de asimilación de nitrógeno. Mencionan que

bajo condiciones de alta actividad fotosintética (alta intensidad de luz, temperatura óptima y ausencia de estrés de agua), el nivel de nitrógeno debe de ser alto y viceversa.

2.5.4.2. Fósforo

El fósforo también tiene efecto en la actividad fotosintética de las plantas. El fósforo está involucrado en el transporte de los compuestos orgánicos sintetizados en los cloroplastos. Los cloroplastos importan fósforo inorgánico y exportan triosafosfatos. En plantas deficientes de fósforo, se acumula almidón dentro del cloroplasto debido a que se reduce la exportación de triosafosfatos. El fósforo inorgánico también tiene una considerable influencia en la síntesis de almidón en el cloroplasto (Mengel y Kirkby, 1982).

El efecto del fósforo en la fotosíntesis fue estudiado por Jacob y Lawlor (1992) en un experimento con girasol y maíz en soluciones nutritivas con diferentes niveles de fósforo. Los resultados mostraron que las hojas deficientes de fósforo tenían menores tasas fotosintéticas en condiciones ambientales y de saturación de CO₂ y menores eficiencias de carboxilación. También encontraron menores cantidades de proteína soluble.

2.5.4.3. Potasio

El proceso fotosintético se ve afectado por la deficiencia de potasio en las plantas. Epstein (1972) menciona que uno de los efectos del potasio en la fotosíntesis es su alta concentración en los cloroplastos y la regulación osmótica dentro de los mismos. Otro papel del potasio, que influye indirectamente en el proceso fotosintético, es la translocación de los fotosintatos.

Por otra parte, Gardner et al. (1985) mencionan que el potasio tiene un papel vital en la fotosíntesis debido a que incrementa el crecimiento y el índice de área foliar y por lo tanto, la asimilación de CO_2 , además incrementa el transporte de los fotosintatos fuera de las hojas debido a una mayor formación de ATP, la cual es esencial para mover los fotosintatos al floema.

2.5.4.4. Magnesio

El papel mejor conocido del magnesio en la fisiología de la planta es su presencia en el centro de la molécula de clorofila. Aproximadamente, entre el 15 y 20% del magnesio se encuentra en la clorofila de la planta. El magnesio también es importante en otros procesos fisiológicos, ya que actúa como cofactor en la mayoría de las enzimas que activan el proceso de fosforilización (Mengel y Kirkby, 1982)

2.5.4.5. Azufre

El azufre se encuentra presente en ferredoxinas y proteínas que contienen fierro involucradas en la fotosíntesis, en cantidades similares al Fe presente (Epstein, 1972). El azufre es un constituyente de la vitamina biotina, la cual es asociada con la fijación de CO₂ y las reacciones de decarboxilación.

2.5.4.6. Fierro

El Fe está presente en los cloroplastos como ferredoxina, el cual actúa como un sistema redox en la fotosíntesis. En la mayoría de las plantas se ha encontrado una buena correlación entre el nivel de Fe suplementado y el contenido de clorofila. El Fe está involucrado en la formación de clorofila, lo cual ha sido comprobado mediante la aplicación de Fe-59, al observar una mayor concentración en las zonas de crecimiento nuevo.

2.5.5. Efecto del Estiércol Bovino en la Fotosíntesis

Hay reportes de que el estiércol bovino tiene efecto en la tasa de asimilación neta. Watson (1952) reportó que la aplicación de estiércol incrementó la tasa de asimilación neta de cebada en el período antes de obtener la máxima área foliar. Este resultado es explicable debido a que el estiércol incrementa la absorción de N, P, S, Mg y Fe, elementos que influyen en el proceso fotosintético.

2.5.6. Resistencia y Conductancia Estomatal

2.5.6.1. Resistencia Estomatal

El movimiento del CO_2 a través de la hoja puede ser impedido por diferentes causas, lo que se llama resistencia (Turner, citado por Mendoza, 1986). Gardner et al. (1985) definen resistencia como el impedimento del movimiento del CO_2 hacia la hoja y dentro de la hoja. La resistencia al movimiento del CO_2 se puede explicar con tres componentes: resistencia laminar, la cual ocurre en la superficie de la hoja; resistencia estomatal, es la resistencia a la difusión del CO_2 a través de los estomas; y resistencia del mesófilo, la cual se refiere a la resistencia a la difusión del CO_2 dentro de la hoja.

Es necesario considerar a los estomas y las resistencias asociadas con su arreglo y actividades en las hojas para conocer las tasas de intercambio de CO_2 ; de manera general se tiene que menor resistencia provoca un incremento en la difusión de CO_2 hacia adentro de la hoja, aunque esto pueda implicar un aumento en la transpiración, lo cual resulta costoso para la planta en términos de eficiencia en el uso del agua (Gaskell y Pearce, citados por Mendoza, 1986).

2.5.6.2. Movimiento Estomatal

Los estomas tienen respuesta a los cambios de intensidad de luz, ya que normalmente se abren en presencia de luz y se cierran en la oscuridad, son una excepción las plantas CAM que abren sus estomas por la noche y los cierran durante el día. Se ha observado una correlación entre la apertura estomatal y la temperatura, existiendo una tendencia general a aumentar la apertura de los estomas cuando la temperatura aumenta, siempre que el agua no sea limitante (Bidwell, 1979).

2.6. Diagnóstico de la Nutrición del Maíz con Análisis Foliare

2.6.1. Diagnóstico con Niveles Críticos

El concepto de concentración crítica de nutrientes como base para el diagnóstico de problemas nutricionales considera un punto único de concentración del nutriente en la hoja, de tal forma que concentraciones menores al nivel crítico se consideran deficientes en el nutriente, mientras que concentraciones superiores al nivel crítico se consideran suficientes.

Los niveles críticos de nitrógeno, fósforo y potasio establecidos por Tyner citado por López y López (1990) para el cultivo de maíz, presenta valores para N de 3.8%, P de 0.25%, y K de 0.98%, empleando para el diagnóstico la sexta hoja, partiendo de

la base de la planta en el momento en que comenzaba a espigar. En otros estudios en suelos arenosos de Alicante España los mismos autores desarrollaron los niveles críticos, presentando valores para N, P y K de 3.0%, 0.25%, y 0.98%, respectivamente. Los valores se refieren a porcentaje sobre materia seca, analizando la hoja opuesta por debajo de la mazorca, sin nervadura. Tisdale et al. (1985) mencionan que los niveles críticos para maíz para N, P y K son 3%, 0.3% y 2%, respectivamente.

En la literatura se pueden encontrar diferentes niveles críticos para N, P y K en maíz. Esta situación se debe a que la concentración de los nutrientes en el tejido vegetal depende de varios factores, entre los que se encuentran la edad del cultivo, la hoja muestreada, el genotipo, el nivel de otros nutrientes, etc. Debido a esta situación, esta técnica de diagnóstico ha sido cuestionada por varios investigadores, por lo que se han propuesto nuevos métodos para diagnosticar el estatus nutricional de los cultivos. Estos métodos están basados en la concentración de un nutriente en relación con la concentración de otros nutrientes.

2.6.2. DRIS (Diagnosis and Recommendation Integrated System)

El DRIS es un nuevo sistema para interpretar análisis foliares desarrollado por Beaufils en 1973 en la Universidad de Natal en Africa del Sur (Beverly, 1991). Este sistema se ha usado con éxito en una gran variedad de cultivos en muchos países. En la literatura

científica de nutrición vegetal y fertilización de cultivos hay una gran cantidad de publicaciones sobre normas DRIS y su utilización. En la actualidad se utiliza en muchos laboratorios públicos y privados en Estados Unidos para interpretar los análisis foliares.

El DRIS difiere de los métodos estándar de diagnóstico en la forma en que hace la interpretación de los resultados de análisis foliares. Los métodos tradicionales consideran la interpretación de los nutrientes en forma independiente, mientras que el DRIS evalúa relaciones entre nutrientes (N/P, N/K, P/K, etc). Debido a esta forma de interpretación, el DRIS evalúa los niveles de un nutriente en la planta en relación con los niveles de otros nutrientes. Las relaciones de nutrientes en una muestra son comparados con la norma correspondiente a la relación. Las normas son derivadas de poblaciones favorables (de alto rendimiento) de cada cultivo, las cuales representan la relación ideal entre nutrientes, por lo que es un buen estándar para la comparación. Beverly (1991) publicó las normas para una gran cantidad de cultivos, entre los que se encuentra el maíz, cuyas normas son:

N/P Media = 9.035 Desviación estándar = 2.136

N/K Media = 1.463 Desviación estándar = 0.426

P/K Media = 0.169 Desviación estándar = 0.054.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. Localización y Características Agroclimáticas del Sitio Experimental

El experimento se estableció en el ciclo primavera verano de 1992-1993 en terrenos pertenecientes al Distrito de Riego No. 26 del Bajo Río San Juan, ubicado en los 26° 13.6' latitud norte y los 98° 35.1' longitud oeste y sobre una altura de 40 msnm. El experimento se estableció en un lote de un agricultor cooperante localizado en el sublateral 0-14 y lateral 61-7 del Distrito de Riego antes mencionado en el municipio de Reynosa, Tamps.

El clima de la región, clasificación según Köppen, modificada por García, (1968) es :BS₁(h')hx'(e') donde:

BS₁ = Clima seco árido con regímenes de lluvia en verano, siendo el más seco de los BS.

(h')h = Temperatura anual sobre 22°C y abajo de los 18 °C en el mes más frío.

(x') = El régimen de lluvias se presenta como intermedio entre verano e invierno con un porcentaje de lluvia mayor del 18%.

(e') = Muy extremoso y oscilación anual de temperatura media mensual mayor de 14°C.

La precipitación promedio anual es de 540 mm.

3.2. Diseño Experimental, Tratamientos y Croquis

El experimento se estableció bajo un diseño de bloques al azar con siete tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos

evaluados en el experimento fueron los siguientes:

- T1 = Profit-G 20 kg ha⁻¹ + fertilización básica
- T2 = Gallinaza 20 kg ha⁻¹ + fertilización básica
- T3 = Estiércol 20 kg ha⁻¹ + fertilización básica
- T4 = Gallinaza 736 kg ha⁻¹ + fertilización básica
- T5 = Estiércol 4000 kg ha⁻¹ + fertilización básica
- T6 = Testigo 1 (fertilización básica)
- T7 = Testigo 2 (sin fertilización)

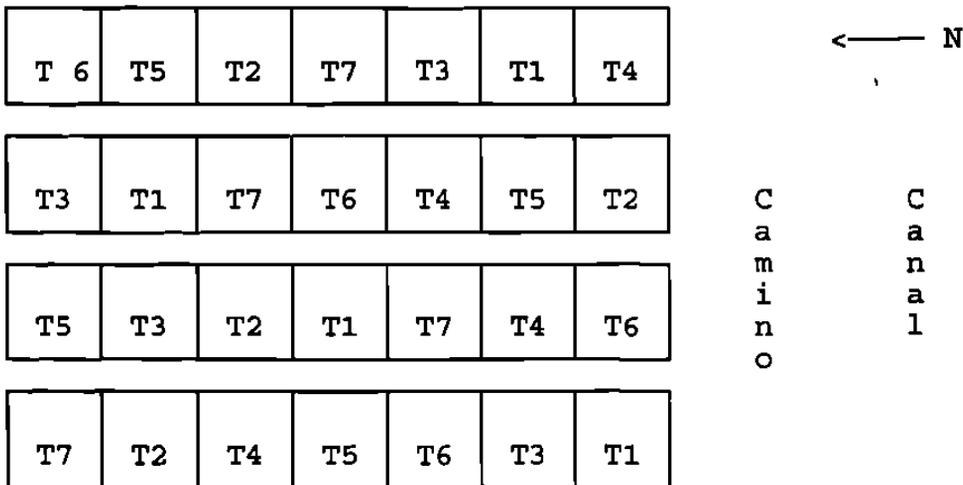
Los tratamientos T1, T2 y T3 comparan los tres mejoradores de suelo con la misma dosis. La dosis recomendada de Profit-G para maíz es de 20 kg ha⁻¹, por lo que se utilizó esta misma dosis en la gallinaza y el estiércol bovino con el fin de comparar los tres materiales orgánicos a la misma dosis. Los tratamientos T4 y T5 corresponden a las dosis de gallinaza y estiércol equivalentes al costo del Profit-G en dosis de 20 kg ha⁻¹. El tratamiento T6 es el testigo, en donde se utiliza la fertilización básica y el tratamiento T7 es el testigo sin fertilización ni mejorador.

El Profit-G es un producto de reciente introducción en la región, de color café en forma granular formado de ácidos polihidroxicarboxílicos (12.5%) y nitrógeno (0.5%). La gallinaza utilizada fue adquirida en la planta "Procesadora de Gallinaza, S. A." localizada en el Mpo. de Gral. Zuazua N.L, el producto es conocido comercialmente como Gallinaza MEYFER. El estiércol vacuno

fue recolectado de un rancho ganadero de la región de un depósito a la intemperie a un lado de los corrales.

Para la fertilización básica se tomó en cuenta la dosis aplicada en presiembra por el agricultor, para lo cual se utilizaron 30 kg ha^{-1} de N y 70 kg ha^{-1} de P_2O_5 . Las fuentes utilizadas fueron, para nitrógeno sulfato de amonio y para fósforo superfosfato de calcio triple.

Las parcelas experimentales fueron de 5 surcos por 10 m de largo. La parcela útil consistió de los tres surcos centrales de 8 m. Entre los bloques se construyeron calles de 1 m. El croquis del experimento se presenta en la Figura 1.



Camino

Figura 1. Croquis del experimento: efecto de Profit-G, gallinaza y estiércol bobino sobre la actividad fotosintética y el rendimiento de maíz (*Zea mays* L.) en el Distrito de Riego No. 26 del Bajo Río San Juan.

3.3. Labores de Preparación del Suelo y Material Genético

Antes de la siembra, la primera labor de preparación fue el desvare de soca de maíz del ciclo anterior, la cual se realizó en el mes de septiembre (1992); posteriormente se aplicó un rastreo con el fin de incorporar los residuos orgánicos. En el mes de noviembre, se barbechó, se rastreó y cruzó y en el mes de diciembre se bordeó y se construyeron surcos melgueros y regaderas.

El material genético utilizado fue el híbrido de maíz PIONEER 3050, que se caracteriza por ser un maíz de grano blanco, adaptado a la región. El maíz es un híbrido de cruza simple modificada de ciclo intermedio de 140 días de la siembra a la cosecha, el cual proviene de materiales del tipo subtropical de buen comportamiento y de alto potencial productivo.

3.4. Establecimiento del Experimento, Fertilización y Criterios de Selección de Materiales Probados

El experimento se estableció el 8 de diciembre de 1992, los tratamientos fueron aplicados manualmente, depositando el material en el fondo de surco, posteriormente se realizó un contrabordeo para incorporarlos. El producto quedó ubicado a una profundidad de 15 cm, evitando contacto con la semilla. Con esta práctica, el fertilizante quedó colocado adecuadamente para ser aprovechado por la planta.

Los criterios utilizados para determinar las fuentes y dosis de fertilización, fueron en base a los tradicionalmente utilizados por los agricultores de la zona. Para los tratamientos con abonos orgánicos y mejoradores de suelos, el criterio fue probar los materiales que se han aplicado en la región y que están disponibles. Los fertilizantes químicos y los abonos orgánicos fueron pesados y etiquetados para su distribución de acuerdo a lo establecido en el croquis del experimento.

3.5. Siembra y Emergencia

La siembra se llevó a cabo en surcos a tierra venida, en forma mecánica, para lo cual se utilizó la sembradora hidrostática de plato de presión (Max Emerge), la fecha de siembra fue el 28 de enero de 1993, la siembra se efectuó rajando bordo a una profundidad de 8 cm, depositando de 8-9 semillas por metro, para obtener una población de 70,000 plantas ha⁻¹. La distancia entre surcos fue de 92 cm con una distancia entre plantas de 14 cm, la semilla utilizada fue el denominado "plano chico" el cual contiene aproximadamente 90,000 semillas por bulto.

Se evaluó el porcentaje de germinación y se encontró una población de 7 a 8 plantas por metro, libre de plagas y enfermedades. En todos los tratamientos se evaluó la uniformidad y el vigor de la planta a los siete días de emergencia, encontrándose un desarrollo normal.

3.6. Aplicación de Riegos y Labores Culturales

La aplicación de 4 riegos fue requerida debido a la ausencia de lluvia durante el ciclo y a la ocurrencia de altas temperaturas que se presentaron durante el desarrollo del cultivo. Las fechas de los riegos fueron: el de asiento se aplicó el 15 de enero de 1993, posteriormente a los 40 días se realizó el primer riego de auxilio, sucesivamente a los 20 y 15 días después se aplicaron el segundo y tercer riego de auxilio, respectivamente. Para la aplicación de los riegos se utilizó el método de sifones, por lo que se tuvo un control adecuado en la aplicación del agua.

En la parcela experimental se realizaron tres labores de cultivo las cuales fueron: tumba de bordo, primero y segundo cultivo. Se realizó un deshierbe manual; además, se aplicaron 2 kg ha⁻¹ de Atracina en el último cultivo para evitar problemas de malezas. En general no se presentaron problemas de malas hierbas. En el primer cultivo se aplicaron 80 unidades de nitrógeno por hectárea en todo el experimento, utilizando como fuente amoníaco anhídrido (NH₃).

3.7. Plagas y Enfermedades

En el experimento no se realizó ningún control de plagas, únicamente se evaluó la presencia de insectos en las diferentes etapas fenológicas del cultivo. No se encontraron daños

importantes, por lo que no fue necesario aplicar ningún tipo de control. Los organismos fitoparásitos encontrados durante el ciclo, fueron a nivel de presencia: gusano trozador (*Agrotis spp.*), gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), araña roja (*Tetranychus spp.*), trips (*Frankinella spp.*) y gusano elotero (*Heliothis zea*).

Para el diagnóstico de enfermedades se realizaron monitoreos durante el ciclo de desarrollo del cultivo con observaciones por parcela; primero de daños en el follaje y segundo en la cosecha. Los principales organismos fitopatógenos presentados fueron *Fusarium* (*Fusarium moniliforme* Sheld.), Carbón común o Huitlacoche [*Ustilago maydis* (D.C.) Cda.] y pudriciones de la mazorca (*Penicillium spp.* y *Aspergillus spp.*). En el follaje no se presentaron enfermedades que limitaran el desarrollo del cultivo. En cosecha solo se evaluaron las mazorcas que no presentaban daño por los hongos señalados anteriormente.

3.8. Propiedades Químicas y Físicas del Suelo

Para conocer las propiedades químicas y físicas se llevó a cabo un muestreo representativo del lote experimental tomándose una muestra de 0-30 cm y 30-60 cm de profundidad. Las muestras fueron analizadas en el laboratorio de la F.A.U.A.N.L. Los resultados del análisis se presentan en la Cuadro 1.

Cuadro 1. Resultados del análisis de suelo del lote donde se llevó a cabo el experimento: efecto sobre la actividad fotosintética y el rendimiento de Profit-G (ácido carboxílico), gallinaza y estiércol en maíz en el Distrito de Riego No. 26 del Bajo Río San Juan.

| | 00-30 cm | 30-60 cm |
|----------------|--|--------------------------------|
| COLOR SECO | GRIS' CAFESACEO CLARO | CAFE PALIDO |
| COLOR HUMEDO | CAFE OBSCURO | CAFE AMARILLO OBSCURO |
| pH | 8.0 | 8.1 |
| TEXTURA | ARENA 54% MIGAJON LIMO 16% ARENOSO ARCILLA 30% | 48% 20% FRANCO 32% |
| M. ORGANICA | 1.72% MEDIANAMENTE POBRE | 1.38% MEDIANAMENTE POBRE |
| N. TOTAL | 0.066% POBRE | 0.069 POBRE |
| P APROVECHABLE | 0.7 ppm POBRE | 0.61 ppm POBRE |
| K APROVECHABLE | 375.9 Kg/ha MUY RICO | 284.9 Kg/ha 1/2 POBRE |
| SALES SOLUBLES | 0.9 mmhos/cm NO SALINO | 0.7 mmhos/cm NO SALINO |

Las características más sobresalientes del análisis de suelo son: la textura del suelo es una de las más favorables para el cultivo; el pH es alcalino por lo que pudiera limitar la disponibilidad de algunos nutrientes tales como fósforo, fierro y zinc, principalmente. El contenido de nitrógeno y fósforo es pobre, así como el contenido de materia orgánica, de ahí la importancia de la fertilización con abonos orgánicos y su evaluación como mejoradores de suelo. En general, estos suelos son profundos, con buen drenaje interno y con un buen potencial productivo, por lo que están clasificados como de clase I de acuerdo con la clasificación de la SARH en el Norte de Tamaulipas (PIFSV, 1986).

3.9. Variables que se Estudiaron

3.9.1. Variables Fenológicas en el Desarrollo del Cultivo.

Cuando las plantas tenían 45 cm de altura se tomó altura de planta y área foliar.

3.9.1.1. Altura de Planta en la Etapa Vegetativa

Para evaluar la altura de planta se tomaron tres plantas al azar, en cada planta se midió la altura en centímetros utilizando una cinta métrica, midiendo de la base del tallo a la última hoja ligulada. Posteriormente, se obtuvo el promedio de altura de las

tres plantas en cada unidad experimental.

3.9.1.2. Area Foliar

Para evaluar el área foliar se tomaron tres plantas al azar por parcela cuando el cultivo tenía 55 cm de altura. En cada planta se midió el largo y ancho de las cuatro hojas con mejor desarrollo. El área foliar se calculó mediante el producto del largo por el ancho de las hojas y multiplicando por el factor 0.75.

3.9.2. Variables Consignadas al Momento de la Cosecha.

Al momento de la cosecha se tomaron las siguientes variables: altura de planta, altura a la base de la mazorca, rendimiento por parcela útil, número de plantas cosechadas en la parcela útil. También se cosecharon 10 plantas completas en cada unidad experimental en donde se estudió: peso total de plantas y rendimiento de 10 plantas.

3.9.2.1. Altura de Planta en la Cosecha

Para evaluar la altura de planta al momento de la cosecha, se tomaron tres plantas al azar. En cada planta se midió la altura en centímetros utilizando un estadal. La altura de planta se tomó midiendo de la base del tallo a la base de la espiga.

3.9.2.2. Altura a la Base de la Mazorca

La altura a la base de la mazorca se midió con un estadal, seleccionando tres plantas al azar. La altura se tomó midiendo de la base del tallo a la base de la mazorca.

3.9.2.3. Rendimiento por Parcela Útil

La cosecha en la parcela útil se realizó en forma manual el día 25 y 26 de julio efectuando dos repeticiones cada día. Se cosecharon los tres surcos centrales dejando un metro en cada una de la extremos, la parcela útil fue de 3 surcos de 8 m de largo. En el campo se pesó el rendimiento en mazorca de cada parcela útil utilizando balanza de reloj y posteriormente se corrigió por porcentaje de olote, el cual fue evaluado al momento de la cosecha, posteriormente el rendimiento por parcela útil fue transformado a rendimiento de grano en kg ha^{-1} .

3.9.2.4. Peso Total de 10 Plantas.

Se seleccionaron 10 plantas al azar con competencia completa dentro de cada parcela, se cortaron en la base del tallo y se colocaron en bolsas de papel. Las plantas seleccionadas se sometieron a secado en un cuarto a 60 °C por tres días, para posteriormente tomar su peso en balanza granetaria.

3.9.2.5. Rendimiento de 10 Plantas

De las plantas seleccionadas para medir el peso total se cosechó el grano y se pesó en balanza granetaria.

3.9.2.6. Índice de Cosecha

Con la información obtenida en las 10 plantas de rendimiento de grano y rendimiento total se obtuvo el índice de cosecha (I.C.). Para evaluar esta variable únicamente se tomaron las plantas con mazorca. El I.C. se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\text{I.C.} = \text{peso de grano/peso total de planta}$$

3.9.3. Actividad Fotosintética

Para medir el efecto de los tratamientos sobre la actividad fotosintética se utilizó una cámara portátil de medición de CO₂ usando un aparato LICOR modelo 6000. La metodología usada para la medición de CO₂ consistió en seleccionar dos etapas de desarrollo, el criterio utilizado fue el de tomar una lectura en la etapa vegetativa del cultivo y la segunda en la etapa de llenado de grano; la primera lectura se tomó el 3 de abril de 1993 y la segunda lectura se realizó el 14 de mayo. En cada ocasión se tomaron tres plantas al azar con competencia completa. El aparato

se ajustó para tomar tres lecturas en cada hoja seleccionada. Para ajustar los parámetros a evaluar, se tomó el ancho de la hoja para determinar el área de exposición. La toma de datos en el experimento se realizó entre las 12:00 y 4:00 pm, y los muestreos se hicieron por bloques.

El primer muestreo se realizó en la última hoja ligulada con exposición directa de luz solar; el segundo muestreo se realizó en la hoja de la mazorca.

Las variables que se midieron con el aparato fueron: fotosíntesis, contenido interno de CO_2 , conductancia y transpiración.

3.9.4. Determinación de Nitrógeno Fósforo y Potasio por Medio de Análisis Foliares

Para la determinación de nitrógeno fósforo y potasio en las hojas se seleccionaron dos plantas al azar por parcela y se tomó la hoja de la inserción de la mazorca en la etapa de llenado de grano.

Para la determinación de nitrógeno en planta se utilizó la técnica Macro-kjeldahl. El método utilizado para la determinación de fósforo fue el de Olsen, utilizando el fotocolorímetro para su determinación. Para determinar potasio se utilizó la solución de

Morgan usando el espectrofotómetro de absorción atómica. Los análisis se realizaron en el laboratorio de suelos de la FAUANL.

3.9.6. Diagnóstico del Estado Nutricional de las Plantas

Para hacer una mejor interpretación de los análisis foliares se calcularon los índices DRIS de acuerdo con la metodología descrita por Beverly (1991). La interpretación de los índices DRIS debe hacerse considerando los índices de todos los nutrientes. Los índices indican el orden de los nutrientes que pudieran estar limitando el rendimiento. Nutrientes con índices negativos están en desbalance comparado con índices altos positivos de otros nutrientes.

Para el cálculo de los índices DRIS se utilizaron las siguientes normas internacionales para maíz:

N/P Media = 9.035 Desviación estándar = 2.136

N/K Media = 1.463 Desviación estándar = 0.426

P/K Media = 0.169 Desviación estándar = 0.054.

3.10. Análisis Estadísticos

Los análisis estadísticos para las variables fenológicas, rendimiento y análisis foliar se llevaron a cabo utilizando el

siguiente modelo:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + E_{ij}$$

en donde:

Y_{ij} = Observación del i -ésimo tratamiento en la j -ésima repetición

μ = Media verdadera general

T_i = Efecto del i -ésimo tratamiento

B_j = Efecto del j -ésimo bloque

E_{ij} = Error experimental de la ij -ésima observación

Cuando se encontró diferencia significativa entre los tratamientos, las comparaciones de medias se hicieron por el método de la Diferencia Mínima Significativa (DMS).

Para las variables fisiológicas (fotosíntesis, concentración de CO_2 , conductancia y transpiración), la variabilidad de los datos se estudió mediante el análisis de varianza presentado en el Cuadro 2, en donde el cuadrado medio del error experimental mide la varianza de los dos datos tomados por el aparato en cada hoja, el cuadrado medio de plantas mide la variabilidad entre las tres plantas dentro de cada unidad experimental. El cuadrado medio de la interacción tratamientos x bloques mide la variabilidad entre parcelas eliminando el efecto de bloques y tratamientos (Steel y Torrie, 1985)

Cuadro 2. Cuadrados medios y F calculada del análisis de varianza utilizado para analizar las variables: fotosíntesis, CO₂, conductancia y transpiración.

| FV | GL | CM | F calculada |
|------------------|-----|-------------|-----------------------|
| Bloques (B) | 3 | CM(B) | CM(B)/CM(TxB) |
| Tratamientos (T) | 6 | CM(T) | CM(T)/CM(TxB) |
| B x T | 18 | CM(BxT) | CM(BxT)/CM(Plantas) |
| Plantas | 56 | CM(Plantas) | CM(Plantas)/CM(Error) |
| Error | 84 | CM(Error) | |
| Total | 167 | | |

El modelo estadístico correspondiente a la descomposición de la varianza presentada en el Cuadro 2 es:

$$Y_{ijkl} = \mu + T_i + B_j + E_{ij} + P_{ijk} + L_{ijkl}$$

en donde:

Y_{ijkl} = Observación del i-ésimo tratamiento en la j-ésima repetición en la k-ésima planta en la l-esima observación.

μ = Media verdadera general

T_i = Efecto del i-ésimo tratamiento

B_j = Efecto del j-ésimo bloque

E_{ij} = Error experimental de la ij-ésima parcela

p_{ijk} = Error entre plantas dentro de parcelas

L_{ijkl} = Error entre lecturas dentro de plantas

Para la comparación de los períodos de muestreo en las variables fisiológicas se utilizó el análisis de varianza que se muestra en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Cuadrados medios y F calculada del análisis de varianza utilizado para la comparación de períodos de muestreo de las variables: fotosíntesis, CO₂, conductancia y transpiración.

| FV | GL | CM | F |
|----------------------------|-----|---------|---------------|
| Bloques dentro de períodos | 3 | | |
| Períodos (P) | 1 | CM(P) | CM(P)/CM(PxT) |
| Tratamientos (T) | 6 | CM(T) | CM(T)/CM(PxT) |
| P x T | 18 | CM(PxT) | CM(PxT)/CM(E) |
| Error (E) | 56 | CM(E) | |
| Total | 167 | | |

El modelo correspondiente al análisis de varianza del Cuadro 3 es:

$$Y_{ijk} = \mu + P_i + B_j(i) + T_k + (PxT)_{ik} + E_{ijk}$$

en donde:

Y_{ijk} = Observación del k-ésimo tratamiento en la j-ésima repetición en el i-ésimo período

μ = Media verdadera general

P_i = Efecto del i-ésimo período

$B_j(i)$ = Efecto del j-ésimo bloque dentro del i-ésimo período

$(PxT)_{ik}$ = Interacción entre el i-ésimo período y el k-ésimo tratamiento

E_{ijk} = Error experimental de la ijk-ésima observación

4. RESULTADOS

4.1. Desarrollo Vegetativo del Cultivo

Para estudiar el efecto de los abonos orgánicos sobre el desarrollo del cultivo del maíz en la etapa vegetativa, se tomaron las siguientes variables: área foliar y altura de planta.

Los resultados para área foliar mostraron una diferencia altamente significativa ($p=0.004$) en el análisis de varianza (Cuadro A1), sin embargo, no se encontró diferencia significativa entre el Profit-G (T1) y los tratamientos con igual dosis (20 kg ha⁻¹) de gallinaza (T2) y estiércol bovino (T3). Los tratamientos con alta dosis de gallinaza (T4) y estiércol bovino (T5), así como el tratamiento con fertilizante químico (T6) y el tratamiento con dosis baja de estiércol (T3) resultaron con la mayor área foliar e iguales estadísticamente. El testigo (sin abono orgánico ni fertilización química, T7) mostró la menor área foliar (Cuadro 4). En general, en el cuadro de comparación de medias (Cuadro 4) se pueden observar 3 grupos: la mayor área foliar se encontró en los tratamientos con dosis alta de abonos orgánicos, el grupo que siguió en desarrollo de área foliar fue el de los tratamientos con la dosis básica de fertilización y dosis baja de abonos orgánicos y por último, el tratamiento con menor área foliar fue el testigo (sin fertilización ni abono orgánico).

Cuadro 4. Comparación de medias de tratamientos para el área foliar.

| Tratamientos | Media | * |
|---|-----------------|----|
| | cm ² | |
| T5 = Estiércol 4000 kg ha ⁻¹ + f. b. | 1285.22 | a |
| T4 = Gallinaza 736 kg ha ⁻¹ + f. b. | 1281.29 | a |
| T6 = Testigo 1 (fertilización básica) | 1207.93 | ab |
| T3 = Estiércol 20 kg ha ⁻¹ + f. b. | 1205.66 | ab |
| T1 = Profit-G 20 kg ha ⁻¹ + f. b. | 1162.68 | b |
| T2 = Gallinaza 20 kg ha ⁻¹ + f. b. | 1162.47 | b |
| T7 = Testigo 2 (sin fertilización) | 1024.79 | c |
| DMS = | 117.92 | |

* Las letras iguales en las medias indican que no hay diferencia entre ellas con un nivel de significancia de 0.05.

El análisis de varianza para altura de planta en la etapa vegetativa mostró una diferencia significativa entre los tratamientos ($p=0.018$) (Cuadro A1). La comparación de medias se realizó por el método de la diferencia mínima significativa, encontrando que el testigo (sin fertilizante ni abonos orgánicos) resultó con una menor altura que los otros tratamientos, los cuales fueron iguales entre sí estadísticamente (Cuadro 5). Los tratamientos en donde se observó una mayor altura de planta fueron los tratamientos con altas dosis de abonos orgánicos (T4 y T5), sin embargo, no fueron diferentes estadísticamente a los tratamientos con dosis baja de abonos orgánicos (T1, T2 y T3) ni al testigo con fertilización básica (T6).

Cuadro 5. Comparación de medias de tratamientos para la altura de planta en la etapa de desarrollo vegetativo.

| Tratamientos | Media | * |
|---|-------|---|
| | cm | |
| T4 = Gallinaza 736 kg ha ⁻¹ + f. b. | 48.00 | a |
| T5 = Estiércol 4000 kg ha ⁻¹ + f. b. | 47.00 | a |
| T3 = Estiércol 20 kg ha ⁻¹ + f. b. | 46.63 | a |
| T2 = Gallinaza 20 kg ha ⁻¹ + f. b. | 46.50 | a |
| T1 = Profit-G 20 kg ha ⁻¹ + f. b. | 45.50 | a |
| T6 = Testigo 1 (fertilización básica) | 44.75 | a |
| T7 = Testigo 2 (sin fertilización) | 41.00 | b |
| DMS = | 3.64 | |

* Las letras iguales en las medias indican que no hay diferencia entre ellas con un nivel de significancia de 0.05.

4.2. Análisis Foliare

4.2.1. Nitrógeno

El rango encontrado para la concentración de nitrógeno en la hoja de la mazorca durante el llenado de grano para los diferentes tratamientos fue de 1.85% a 2.06% (Cuadro 6). Estos valores son menores a los mencionados por Salisbury y Ross (1985), quienes reportan que la concentración de nitrógeno en la hoja debe de ser 3.2%. El análisis de varianza para nitrógeno (Cuadro A2) mostró una diferencia no significativa entre los tratamientos, aunque se observó en las medias que el testigo (sin abono orgánico ni fertilización química) mostró una media menor comparada con las medias de los otros tratamientos.

4.2.2. Potasio

El rango encontrado para la concentración de potasio en la hoja de la mazorca durante el llenado de grano para los tratamientos fue de 1.32% a 1.38% (Cuadro 4). Estos valores son menores a los mencionados por Salisbury y Ross (1985), quienes reportaron que la concentración de potasio en la hoja debe de ser 2.1%. Sin embargo, están arriba del nivel crítico para potasio reportado por Tyner (citado por López y López, 1990), el cual es de 0.98%. El análisis de varianza para potasio (Cuadro A2) mostró una diferencia no significativa entre los tratamientos.

Cuadro 6. Medias de tratamientos de la concentración foliar de nitrógeno y potasio en base a peso seco.

| Tratamientos | Nitrógeno | Potasio |
|---|-----------|---------|
| | - % - | - % - |
| T1 = Profit-G 20 kg ha ⁻¹ + f. b. | 1.99 | 1.32 |
| T2 = Gallinaza 20 kg ha ⁻¹ + f. b. | 2.06 | 1.36 |
| T3 = Estiércol 20 kg ha ⁻¹ + f. b. | 1.94 | 1.34 |
| T4 = Gallinaza 736 kg ha ⁻¹ + f. b. | 1.98 | 1.38 |
| T5 = Estiércol 4000 kg ha ⁻¹ + f. b. | 1.90 | 1.38 |
| T6 = Testigo 1 (fertilización básica) | 1.98 | 1.34 |
| T7 = Testigo 2 (sin fertilización) | 1.85 | 1.33 |

4.2.3. Fósforo

El rango encontrado para la concentración de fósforo en la hoja de la mazorca durante el llenado de grano para los diferentes tratamientos fue de 0.19% a 0.31% (Cuadro 7). Estos valores son

menores a los mencionados por Salisbury y Ross (1985), quienes reportaron que la concentración de fósforo en la hoja debe de ser 0.31%. Considerando los valores de niveles críticos reportados por Tyner (citado por López y López, 1990), la mayoría de los tratamientos presentaron niveles de fósforo abajo del nivel crítico de 0.25%. El análisis de varianza para fósforo (Cuadro A2) mostró una diferencia significativa entre los tratamientos. La mayor concentración de fósforo se encontró en los tratamientos con mayor cantidad de abonos orgánicos (gallinaza y estiércol bovino), sobresaliendo el tratamiento con 736 kg ha⁻¹ de gallinaza (Cuadro 7). No se encontró diferencia significativa entre los tratamientos con baja dosis de abonos orgánicos (T2 y T3) y los testigos (T6 y T7). El tratamiento con Profit-G (T1) no fue diferente estadísticamente a los testigos (T6 y T7), sin embargo, se observó una mayor concentración de fósforo en este tratamiento comparado con los testigos.

Cuadro 7. Comparación de medias de tratamientos de la concentración foliar de fósforo en base a peso seco.

| Tratamientos | Media | * |
|---|-------|----|
| | % | |
| T4 = Gallinaza 736 kg ha ⁻¹ + f. b. | 0.31 | a |
| T5 = Estiércol 4000 kg ha ⁻¹ + f. b. | 0.25 | ab |
| T1 = Profit-G 20 kg ha ⁻¹ + f. b. | 0.23 | ab |
| T2 = Gallinaza 20 kg ha ⁻¹ + f. b. | 0.21 | b |
| T6 = Testigo 1 (fertilización básica) | 0.21 | b |
| T7 = Testigo 2 (sin fertilización) | 0.20 | b |
| T3 = Estiércol 20 kg ha ⁻¹ + f. b. | 0.19 | b |
| DMS = | 0.081 | |

* Las letras iguales en las medias indican que no hay diferencia entre ellas con un nivel de significancia de 0.05.

4.2.4. Interpretación de los Resultados de los Análisis

Foliales con la Metodología DRIS

Para hacer una mejor interpretación de los análisis foliares se calcularon los índices DRIS de acuerdo con la metodología descrita por Beverly (1991). En el Cuadro 8 se presentan los índices DRIS y el orden de requerimiento para los 7 tratamientos estudiados. Los tratamientos están ordenados de acuerdo con el nivel de fósforo obtenido (Cuadro 7) debido a que es el único nutriente que fue diferente significativamente en los análisis de varianza y el que presenta un mayor desbalance. Los tratamientos con dosis alta de gallinaza y estiércol (T4 y T5) mostraron índices altos positivos para fósforo y negativos para nitrógeno, lo que indica que el nutriente que pudiera estar limitando el rendimiento en estos tratamientos es el nitrógeno, siendo el fósforo el elemento menos limitante. Estos resultados son diferentes a los encontrados en los tratamientos con niveles bajos de abonos orgánicos (T2 y T3) y los tratamientos testigo (T6 y T7), en donde se observaron índices negativos para fósforo, siendo éste el nutriente que pudiera estar limitando el rendimiento. El tratamiento con Profit-G no mostró índices con desbalances nutricionales. Los índices DRIS no mostraron un desbalance importante para el potasio.

En el Cuadro 8 se muestra el orden de requerimiento de los nutrientes. El nutriente a la izquierda de la expresión indica que

es más requerido que el que se encuentra a la derecha. Con este análisis, los resultados mostraron que el fósforo es el nutriente que tiene una menor concentración foliar, comparados con el nitrógeno y el potasio, en los tratamientos testigo (T6 y T7) y los que contienen niveles bajos de abonos orgánicos (T2 y T3). Sin embargo, para los tratamientos con altos niveles de abono orgánico el fósforo es el elemento menos limitante.

Cuadro 8. Indices DRIS para nitrógeno, fósforo y potasio y el orden de requerimiento.

| Tratamientos | N | P | K | Orden |
|---|--------|--------|-------|-------|
| T4 = Gallinaza 736 kg ha ⁻¹ + f. b. | -26.31 | 35.94 | -9.62 | N>K>P |
| T5 = Estiércol 4000 kg ha ⁻¹ + f. b. | -13.82 | 13.90 | -0.10 | N>K>P |
| T1 = Profit-G 20 kg ha ⁻¹ + f. b. | -1.68 | 3.70 | -2.01 | K>N>P |
| T2 = Gallinaza 20 kg ha ⁻¹ + f. b. | 6.51 | -8.25 | 1.74 | P>K>N |
| T6 = Testigo 1 (fertilización b.) | 3.03 | -5.14 | 2.11 | P>K>N |
| T7 = Testigo 2 (sin fertilización) | -0.30 | -5.34 | 5.65 | P>N>K |
| T3 = Estiércol 20 kg ha ⁻¹ + f. b. | 7.68 | -14.05 | 6.36 | P>K>N |

4.3. Rendimiento y Variables Asociadas

Los resultados mostraron que hubo un rendimiento de grano que fluctuó entre 6995 a 7785 kg ha⁻¹ (Cuadro 9). El rendimiento de grano se analizó con un análisis de covarianza utilizando como covariable el número de plantas por parcela útil (Cuadro A3). Los resultados del análisis de varianza no mostraron diferencia significativa entre los tratamientos ni en la covariable. Sin

embargo, el testigo (sin abono orgánico ni fertilización química) mostró rendimientos menores que los otros tratamientos (Cuadro 9). El tratamiento con dosis alta de gallinaza resultó con la media de rendimiento más alta. La variabilidad del error experimental fue relativamente baja, puesto que se obtuvo un coeficiente de variación de 6.4%. Esto indica que la diferencia no significativa entre tratamientos obtenida en el análisis de varianza no se debe a un alto error experimental.

Cuadro 9. Medias de tratamientos de la variable rendimiento expresada en kg ha^{-1} .

| Tratamientos | Rendimiento de grano |
|--|-------------------------|
| | kg ha^{-1} |
| T1= Profit-G 20 kg ha^{-1} + f. b. | 7407 |
| T2= Gallinaza 20 kg ha^{-1} + f. b. | 7436 |
| T3= Estiércol 20 kg ha^{-1} + f. b. | 7258 |
| T4= Gallinaza 736 kg ha^{-1} + f. b. | 7785 |
| T5= Estiércol 4000 kg ha^{-1} + f. b. | 7220 |
| T6= Testigo 1 (fertilización básica) | 7382 |
| T7= Testigo 2 (sin fertilización) | 6995 |

Los valores para altura de mazorca promedios por tratamiento estuvieron en el rango entre 0.85 m a 0.95 m, mientras que la altura de la espiga fluctuó entre 1.72 m a 1.84 m (Cuadro 10). Los análisis de varianza para estas variables no mostraron diferencia significativa (Cuadro A4).

Cuadro 10. Medias de tratamientos de las variables altura de mazorca y altura de espiga.

| Tratamientos | | Altura de Mazorca | Altura de Espiga |
|---------------|----------------------------------|----------------------|---------------------|
| | | m | m |
| T1= Profit-G | 20 kg ha ⁻¹ + f. b. | 0.93 | 1.78 |
| T2= Gallinaza | 20 kg ha ⁻¹ + f. b. | 0.86 | 1.77 |
| T3= Estiércol | 20 kg ha ⁻¹ + f. b. | 0.85 | 1.72 |
| T4= Gallinaza | 736 kg ha ⁻¹ + f. b. | 0.95 | 1.84 |
| T5= Estiércol | 4000 kg ha ⁻¹ + f. b. | 0.86 | 1.78 |
| T6= Testigo 1 | (fertilización b.) | 0.92 | 1.79 |
| T7= Testigo 2 | (sin fertilización) | 0.89 | 1.83 |

Los resultados de los análisis de varianza para peso seco de 10 plantas y rendimiento promedio por planta mostraron una diferencia no significativa entre los tratamientos (Cuadro A5). El coeficiente de variación para el rendimiento de materia seca de 10 plantas fue de 10.55% y el coeficiente de variación para el rendimiento promedio por planta fue de 12.96%. Esta variabilidad fue mayor que la del rendimiento por parcela útil debido a que algunas mazorcas estaban afectadas por hongos (*Fusarium*, *Ustilago maydis*), lo que afectó el peso seco y rendimiento en algunas unidades experimentales. Las medias de tratamientos para estas variables se presentan en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Medias de tratamientos de las variables peso seco de diez plantas y rendimiento promedio por planta.

| Tratamientos | | Peso seco de 10 plantas | Rendimiento prom./planta |
|---------------|----------------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| | | g | g |
| T1= Profit-G | 20 kg ha ⁻¹ + f. b. | 2204 | 123 |
| T2= Gallinaza | 20 kg ha ⁻¹ + f. b. | 2265 | 120 |
| T3= Estiércol | 20 kg ha ⁻¹ + f. b. | 2192 | 121 |
| T4= Gallinaza | 736 kg ha ⁻¹ + f. b. | 2130 | 119 |
| T5= Estiércol | 4000 kg ha ⁻¹ + f. b. | 2173 | 113 |
| T6= Testigo 1 | fertilización básica | 2075 | 103 |
| T7= Testigo 2 | sin fertilización | 2202 | 111 |

Para la variable de índice de cosecha el análisis de varianza mostró una diferencia no significativa entre los tratamientos (Cuadro A5), sin embargo, se observó un índice de cosecha menor en los tratamientos testigo (Cuadro 12), aunque esta diferencia no fue significativa estadísticamente.

Cuadro 12. Medias de tratamientos de la variable índice de cosecha.

| Tratamientos | | Indice de Cosecha |
|---------------|----------------------------------|----------------------|
| T1= Profit-G | 20 kg ha ⁻¹ + f. b. | 51.8 |
| T2= Gallinaza | 20 kg ha ⁻¹ + f. b. | 49.9 |
| T3= Estiércol | 20 kg ha ⁻¹ + f. b. | 51.3 |
| T4= Gallinaza | 736 kg ha ⁻¹ + f. b. | 51.9 |
| T5= Estiércol | 4000 kg ha ⁻¹ + f. b. | 49.6 |
| T6= Testigo 1 | fertilización básica | 47.4 |
| T7= Testigo 2 | sin fertilización | 47.0 |

4.4. Parámetros Fisiológicos

4.4.1. Parámetros Fisiológicos en la Etapa Vegetativa.

Los análisis de varianza para las variables fisiológicas (fotosíntesis, concentración de CO₂, conductancia y transpiración) en la etapa vegetativa mostraron una diferencia no significativa para tratamientos. Sin embargo, se encontró una diferencia altamente significativa para bloques en todas las variables (Cuadros A6, A7, A8 y A9).

En todas las variables se encontró que la varianza entre plantas fue mayor que la varianza entre las lecturas del aparato dentro de plantas. También, al comparar la varianza entre plantas y la varianza entre parcelas no se encontró una diferencia importante.

4.4.2. Parámetros Fisiológicos en la Etapa de Llenado de Grano

Los resultados de los análisis de varianza de las cuatro variables fisiológicas (Cuadros A10, A11, A12 y A13) en la etapa de llenado de grano fueron muy similares a los obtenidos en la etapa vegetativa. No se encontró diferencia significativa entre tratamientos en ninguna de las variables, sin embargo, la

diferencia entre bloques fue consistente en todos los análisis de varianza. Además, también se encontró que la mayor variabilidad es debida a plantas dentro de parcelas, comparada con la variabilidad de las dos lecturas del aparato.

4.4.3. Comparación de los Parámetros Fisiológicos en la Etapa vegetativa y de Llenado de Grano.

Al comparar los resultados de fotosíntesis en la etapa vegetativa y de llenado de grano, se encontró una diferencia altamente significativa en el análisis de varianza (Cuadro A14). La media de fotosíntesis en la primera etapa (26.98) fue mayor que la encontrada en la etapa de llenado de grano (23.00) (Cuadro 13).

La concentración interna de CO_2 también fue diferente entre las etapas vegetativa y de llenado de grano (Cuadro A14). La concentración interna de CO_2 fue de 172.5 en la etapa de desarrollo y de 201.4 en la etapa de llenado de grano (Cuadro 14).

En cuanto a conductancia, no se encontró diferencia significativa entre la etapa vegetativa y la etapa de llenado de grano (Cuadro A15). Los valores para ambas etapas fueron de 0.73 y 0.67, respectivamente (Cuadro 15).

La diferencia en transpiración entre la etapa vegetativa y la etapa de llenado de grano fue significativa (Cuadro A15). Se encontraron mayores valores en esta variable en el período de la etapa vegetativa (16.48) comparado con los valores encontrados en el llenado de grano (12.00) (Cuadro 16). Este resultado, aunado al resultado obtenido para fotosíntesis, en donde se encontró una mayor actividad fotosintética en la etapa de desarrollo, se puede concluir que, en general, las hojas tuvieron una mayor actividad fisiológica durante la etapa vegetativa, comparado con el llenado de grano.

Cuadro 13. Medias de tratamientos de fotosíntesis en las etapas vegetativas y llenado de grano.

| Tratamientos | Etapa | Llenado de |
|--|---|---|
| | Vegetativa | grano |
| | $\mu \text{ Mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ | $\mu \text{ Mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ |
| T1=Profit-G 20 kg ha ⁻¹ + f. b. | 26.90 | 22.02 |
| T2= Gallinaza 20 kg ha ⁻¹ + f. b. | 27.29 | 24.01 |
| T3= Estiércol 20 kg ha ⁻¹ + f. b. | 27.04 | 25.43 |
| T4=Gallinaza 736 kg ha ⁻¹ + f. b. | 26.50 | 21.58 |
| T5= Estiércol 4000 kg ha ⁻¹ + f. b. | 25.40 | 22.29 |
| T6= Testigo 1 (fertilización básica) | 26.69 | 23.58 |
| T7= Testigo 2 (sin fertilización) | 29.03 | 22.03 |
| | <hr/> | <hr/> |
| Media | 26.98 | 23.00 |

Cuadro 14. Medias de tratamientos de la variable concentración de CO₂ en las etapas vegetativa y de llenado de grano.

| Tratamientos | Etapa Vegetativa | Llenado de grano |
|--|------------------|------------------|
| | ppm | ppm |
| T1=Profit-G 20 kg ha ⁻¹ + f. b. | 170.8 | 206.2 |
| T2= Gallinaza 20 kg ha ⁻¹ + f. b. | 167.9 | 186.2 |
| T3= Estiércol 20 kg ha ⁻¹ + f. b. | 177.3 | 209.5 |
| T4=Gallinaza 736 kg ha ⁻¹ + f. b. | 174.5 | 209.2 |
| T5= Estiércol 4000 kg ha ⁻¹ + f. b. | 164.7 | 215.2 |
| T6= Testigo 1 fertilización básica | 175.5 | 188.4 |
| T7= Testigo 2 sin fertilización | 176.7 | 195.0 |
| | Media | 201.4 |

Cuadro 15. Medias de tratamientos de la variable conductancia en la etapa vegetativa y de llenado de grano.

| Tratamientos | Etapa Vegetativa | Llenado de grano |
|--|--------------------|--------------------|
| | cm s ⁻¹ | cm s ⁻¹ |
| T1= Profit-G 20 kg ha ⁻¹ + f. b. | 0.73 | 0.79 |
| T2= Gallinaza 20 kg ha ⁻¹ + f. b. | 0.78 | 0.67 |
| T3= Estiércol 20 kg ha ⁻¹ + f. b. | 0.70 | 0.67 |
| T4= Gallinaza 736 kg ha ⁻¹ + f. b. | 0.76 | 0.57 |
| T5= Estiércol 4000 kg ha ⁻¹ + f. b. | 0.56 | 0.65 |
| T6= Testigo 1 fertilización básica | 0.73 | 0.69 |
| T7= Testigo 2 sin fertilización | 0.87 | 0.62 |
| | Media | 0.67 |

Cuadro 16. Medias de tratamientos de la variable transpiración en la etapa vegetativa y de llenado de grano.

| Tratamientos | Etapa Vegetativa | | Llenado de grano | |
|--|--------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------------------|
| | mgH ₂ O | m ² s ⁻¹ | mgH ₂ O | m ² s ⁻¹ |
| T1=Profit-G 20 kg ha ⁻¹ + f. b. | | 18.00 | | 12.30 |
| T2= Gallinaza 20 kg ha ⁻¹ + f. b. | | 15.69 | | 12.23 |
| T3= Estiércol 20 kg ha ⁻¹ + f. b. | | 17.14 | | 12.57 |
| T4=Gallinaza 736 kg ha ⁻¹ + f. b. | | 16.08 | | 11.73 |
| T5= Estiércol 4000 kg ha ⁻¹ + f. b. | | 14.11 | | 11.54 |
| T6= Testigo 1 fertilización básica | | 16.22 | | 12.02 |
| T7= Testigo 2 sin fertilización | | 18.13 | | 11.59 |
| | Media | 16.48 | | 12.00 |

5. DISCUSION

Las variables estudiadas en la etapa vegetativa (área foliar y altura) mostraron una diferencia significativa entre los tratamientos. En general, los tratamientos con altas dosis de fertilizantes orgánicos (gallinaza y estiércol bovino) mostraron los mayores crecimientos, medidos como área foliar y altura. El tratamiento con Profit-G no mostró superioridad a los tratamientos con gallinaza y estiércol bovino con la misma dosis, sin embargo, los tratamientos de gallinaza y estiércol bovino con dosis equivalente al precio del Profit-G fueron superiores a este. Estos resultados sugieren que no es redituable la aplicación de Profit-G cuando se compara con gallinaza y estiércol bovino, bajo las condiciones en que se desarrolló el presente experimento.

El mayor desarrollo del cultivo observado en la etapa vegetativa en los tratamientos con alta dosis de abonos orgánicos no repercutió significativamente en el rendimiento y producción de materia seca al final del período de crecimiento. Estos resultados son explicables, en parte, si se considera la aplicación de 80 unidades de nitrógeno que se hizo en el primer cultivo. Esta alta dosis de nitrógeno aplicada en la etapa vegetativa nulificó el efecto de los tratamientos con fertilización orgánica debido a que permitió a las plantas con algunas deficiencias de este elemento recuperar su crecimiento e igualar las plantas con mejor desarrollo. Resultados similares fueron reportados por Bullock et

al. (1992), en un experimento en donde se reporta que las aplicaciones iniciales de nitrógeno incrementaron la altura y área foliar en el primer período de crecimiento del maíz, pero no tuvieron efecto sobre el rendimiento de grano final. Los resultados obtenidos en el presente estudio, aunados a los reportes consignados en la bibliografía sobre aplicaciones iniciales de nitrógeno, sugieren que este tipo de aplicaciones, comunes en la zona donde se desarrolló el estudio, pudieran no tener efecto en el rendimiento, por lo que se sugiere se considere este factor en futuras investigaciones, lo que ahorraría considerables insumos a los agricultores.

Los resultados expuestos anteriormente no explican los altos rendimientos del tratamiento testigo, al cual no se le aplicó fósforo. Esto puede ser debido a que los suelos en donde se realizó el experimento han estado sometidos a una agricultura intensiva en donde se han aplicado altas dosis de este nutriente (70 kg ha^{-1}) en las últimas décadas. Sin embargo, los análisis foliares si mostraron una diferencia significativa entre los tratamientos, evidenciando una deficiencia de fósforo en el tratamiento en donde no se aplicó este elemento. Este resultado puede ser debido a la mayor disponibilidad de fósforo al descomponerse el material orgánico, o bien al microambiente formado por la descomposición del abono orgánico (menor pH), el cual pudiera haber permitido una menor fijación en el suelo del fósforo aplicado como fertilizante químico.

Al analizar los datos de los análisis foliares con la metodología DRIS, se encontró que el fósforo está desbalanceado en algunos tratamientos. El nitrógeno también mostró cierto grado de desbalance. En cuanto al potasio no se observó un desbalance importante. Estos resultados sugieren que deberá ponerse mayor importancia a la fertilización nitrogenada y fosfórica en futuras investigaciones.

En cuanto a los parámetros que se estudiaron para evaluar la actividad fisiológica de las plantas en las etapas vegetativa y de llenado de grano, no se encontró diferencia significativa entre los tratamientos debido principalmente a que la variabilidad entre las plantas fue muy alta, comparada con la variabilidad entre los tratamientos. Cuando se compararon la varianza entre plantas y la varianza entre parcelas no se encontró una diferencia importante, lo que indica que la varianza del error experimental entre parcelas (interacción tratamiento x bloque) se debe principalmente a la variabilidad entre plantas dentro de las parcelas.

Los análisis de varianza mostraron diferencia significativa entre bloques en las variables fisiológicas estudiadas. Esto se explica por los cambios en temperatura e intensidad lumínica que se presentó en el período de tiempo en el que se realizó el estudio. La toma de datos en el experimento se realizó entre las 12:00 y 4:00 pm, y los muestreos se hicieron por bloques.

Cuando se compararon los resultados de las variables fisiológicas en la etapa de desarrollo y llenado de grano se encontró que se obtuvieron mayores valores de fotosíntesis y menores valores de concentración interna de CO_2 en la etapa vegetativa que en la etapa de llenado de grano. También se obtuvieron mayores valores de transpiración en la etapa vegetativa comparado con el llenado de grano. La conductancia también fue mayor en la primera etapa, sin embargo, la diferencia no fue significativa. Estos resultados indican que las hojas presentaron una mayor actividad fisiológica en la etapa vegetativa comparado con en el llenado de grano. En general, se sabe que una mayor conductancia estomatal provoca un incremento en la difusión del CO_2 dentro de la hoja, lo que a su vez indica una mayor actividad fotosintética, sin embargo, la mayor conductancia estomatal implica un aumento en la transpiración y un uso más intensivo del agua. Estos resultados son explicables, debido a que se ha demostrado que el maíz tiene mayor actividad fotosintética en la etapa de desarrollo en hojas jóvenes, comparado con hojas maduras en la etapa de llenado de grano. Los resultados obtenidos en los dos etapas de desarrollo estudiadas coinciden con los datos presentados para maíz por Tanaka y Yamaguchi (1977), quienes encontraron que la fotosíntesis de una hoja es baja cuando se está expandiendo, alcanza su máximo cuando ha completado su expansión y después disminuye con la edad.

Los resultados obtenidos para fotosíntesis muestran una mayor actividad fotosintética en la etapa de desarrollo vegetativo, de

donde se puede concluir que, en general, las hojas tuvieron una mayor actividad fisiológica durante el desarrollo vegetativo, comparado con el llenado de grano.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. No se encontró un efecto importante del Profit-G sobre el área foliar, altura, concentración de NPK en las hojas, actividad fotosintética y el rendimiento, comparados con los abonos orgánicos (gallinaza y estiércol bovino).
2. La aplicación de abonos orgánicos (gallinaza y estiércol bovino) en dosis altas tuvieron un efecto sobre el desarrollo inicial de las plantas medido como área foliar y altura, sin embargo, no se encontraron efectos importantes de estos tratamientos sobre el rendimiento, variables relacionadas con el rendimiento y en la concentración foliar de nutrientes.
3. Los abonos orgánicos (Profit-G, gallinaza y estiércol bovino) no tuvieron un efecto importante sobre la actividad fotosintética.
4. Los análisis foliares indicaron un posible desbalance de fósforo en los tratamientos en donde no se aplicó altas dosis de abonos orgánicos, por lo que se recomienda que se estudie el efecto de este elemento en futuras investigaciones.

5. Los resultados sugieren que aplicaciones iniciales de nitrógeno no tienen un efecto importante sobre el rendimiento, por lo que se recomienda que se estudie este tipo de aplicaciones en futuros experimentos.

6. Los resultados mostraron una variabilidad alta entre las plantas dentro de una misma unidad experimental en cuanto a la actividad fotosintética y también variabilidad entre parcelas, por lo que se recomienda que futuras investigaciones evalúen sus causas.

7. LITERATURA CITADA

- Andrade, F.H., S.A. Uhart and A. Cirilo. 1993. Temperature affects radiation use efficiency in maize. *Field Crops Research*. 32: 17-25.
- Beverly, R.B. 1991. Diagnosis and recomendation integrated system DRIS, Micro-Macro Publishing, Inc. pp. 5-35.
- Bidwell, R.G.S. 1979. *Fisiología Vegetal*. Traducido por G. Cano y M. Garcidueñas. 1Ed. G.T Editor S.A. pp. 95-207.
- Bohn, H.L., B.L. McNeal and G. O'Connor. 1985. *Soil Chemistry*. John Willey and Sons, Inc. pp. 135-143.
- Bullock, D.G., F.W. Simon, I. M. Chung and J. I. Garay. 1992. Grown analysis of corn grown with or without starter fertilizer. *Crop Sci*. 33: 112-117.
- Campos, C.A. 1989. Evaluación del ácido húmico como complemento de tres fertilizantes foliares en el cultivo de tomate (*Lycopersicum esculentum L.*) en Apodaca N.L. Tesis, Ing. Agr. Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, N.L. pp. 12-17.

- Campos, S., J. Barajas, J. Terán, B. García y P. Vargas. 1992. Fertilización y densidades de población en maíz en la zona central de tamaulipas. Informe Técnico. SARH-INIFAP-CIFAP Tamaulipas. pp. 200-203.
- Castellanos, J.Z. 1990. La eficiente utilización de los estiércoles como fertilizantes y mejoradores de suelo. Sociedad Mexicana De La Ciencia del Suelo. Comarca Lagunera. pp. 321-335.
- Castillo, G.F. 1980. El rendimiento de grano en sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench), en su relación con los períodos del desarrollo y otros caracteres, efectos de aptitud combinatoria, Tesis, M.C., Colegio de Posgraduados, Chapingo Mex. pp. 5-19.
- Cruz, S.M. 1986. Abonos orgánicos. Ed. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo Mex. pp. 33-45.
- Cruzaley, S.R. y A.M. Cantú. 1990. Efecto de la fertilización química y orgánica en la producción de maíz en suelos calcáreos. XIII Cong. Nacional de la Ciencia del Suelo. Soc. Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. p. 299.
- Donahue, R.L., R.W. Miller, y J.C. Shickluna. 1983. An introduction to soil and plant growth. Prentice-Hall, Inc. pp. 208-233.

- Donald, M.C. and J. Hamblin. 1962. The biological yield and harvest index of cereals as agronomic and plant breeding criteria. *Adv. Agron.* 28: 361-403.
- Eastin, J.D., F.A. Haskins, C.Y. Sullivan, and C.H.M. Van Bavel. 1977. Physiological aspects of crop yield. American Society of Agronomy and Crop Science Society of America. 4Ed. pp. 244-263.
- Epstein, E. 1972. Mineral nutrition of plants: Principles and Perspectives. John Wiley and Sons. pp. 3-51.
- Evans, L.T. 1975. Crop physiology: some case histories. Cambridge University Press. London, Great Britain.
- Fassbender, W.H. 1980. Química de suelos, con énfasis en suelos de América Latina. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. 3Ed. pp. 66-86.
- Gardner, F.P., R.B. Pearce and R.L. Mitchell. 1985. Physiology of crop plants. Iowa State University Press: Ames, Iowa State University. 1Ed. pp. 98-107.
- García E. 1968. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, UNAM. México.

- Huber, J. and A. Amberger. 1990. NH_3 losses under different farming systems. No. 30: 109-115.
- Jacob, J. and D.W. Lawlor. 1992. Dependence of photosynthesis of sunflower and maize leaves on phosphate supply, ribulose-1.5 bisphosphate carboxylase/oxygenase activity, and ribulose-1.5 bisphosphate pool size. *Plant Physiology*. 98:801-807.
- Jokela, W.E. 1992. Effect of fertilizer on corn silage on medium and high fertility soils. *J. Prod. Agric.* 5:233-237.
- Killorn, R. and D. Zourarakis. 1992. Nitrogen fertilizer management effects on grain yield and nitrogen uptake. *J. Prod. Agric.* 5:142-148.
- Labate, C.A., M.D. Adcock and R.C. Leegood. 1990. Farming systems. Verband Deutscher. Effects of temperature on the regulation of Photosynthetic carbon Landwirtschaftlicher Untersuchungs und assimilation in leaves of maize and barley. Department of Forschungsanstalten Reihe Kongressberichte. No 30:109.
- Lei, Y.Z. 1989. Soil productivity and fertilizer use for maximizing crop yields in liaoning, China. Sander, J.L. Maximum yield research, Dev, G. pp. 132-135.

- Lopez, R. y M. Lopez. 1990. Diagnóstico de suelos y plantas (Métodos de campo y laboratorio). Ed. Mundi-Prensa pp. 278-280.
- Maldonado, R. y M.A. Vergara. 1992. Fertilización organo-mineral sobre el rendimiento de maíz en un suelo calcáreo. XIV Cong. Nacional de Fitogenética. Tuxtla Gutierrez, Chiapas Soc. Mexicana de Fitogenética, A.C. p. 545.
- Mendoza M.C. 1986. Fisiología, frecuencia estomatal e índice estomático en dos genotipos de maíz (*Zea mays L.*), Tesis, M.C., Colegio de Posgraduados, Chapingo Mex. pp. 9-16.
- Mengel K. and E. Kirkby. 1982. Principles of plant nutrition. International Potash Intitute. 3Ed. pp. 241-243.
- Meyfer (Gallinaza) 1991. Proceadora de Gallinaza, S.A. Gral. Zuazua, N.L. Boletín técnico. pp. 1-3.
- Muños, J.J. y J.Z. Castellanos. 1988. Disponibilidad de fósforo de estiércoles solos y combinados con superfosfato triple en un suelo calcareo. Terra. Vol.6. No.2. pp. 111-115.
- Nichiporovich, A.A. and L. E. Strogonova. 1957. Photosynthesis and problems of crop yield. Agrochimica II, No. 1: 26-53.

- Nitta, T. and T. Matsuguchi. 1989. The effects of organic materials added to the soil on growth and yields of upland crops through improvements in the microflora of the rhizosphere. Research Bulletin of the Hokkaido Agricultural Experiment Station. No. 152. pp. 33-89.
- Osuna O.J. 1980. Estimación y uso de índices fisiotécnicos en la evaluación de genotipos de sorgo para grano (*Sorghum bicolor* L. Moench) tolerantes al frío bajo diferentes ambientes en Chapingo México. Tesis, M.C., Colegio de Posgraduados, Chapingo Mex. pp. 5-22.
- PIFSV. 1985. Manual Fitosanitario Regional. PIFSV. 2da. Ed. Cd. Reynosa. pp. 55-66.
- PIFSV. 1986. Manual de Fertilización Regional. PIFSV. 2da. Ed. Cd. Reynosa Tam. pp. 33-35.
- Rangel, J.L. 1991 (a). Evaluación de 4 formulaciones de ácidos carboxílicos en el rendimiento y calidad de tomate. Campo Experimental del Valle de Culiacán. Ciclo 90-91. In: Productos Químicos de Chihuahua, S. A. de C. V., Div. CARBOXY. II Curso de Capacitación Técnica Sobre Uso y Manejo de productos Carboxy.

----- 1991 (b). Evaluación de 4 formulaciones de ácidos carboxílicos en el rendimiento y calidad de chile. Campo Experimental del Valle de Culiacán. Ciclo 90-91. In: Productos Químicos de Chihuahua, S. A. de C. V., Div. CARBOXY. II Curso de Capacitación Técnica Sobre Uso y Manejo de Productos Carboxy.

----- 1991 (c). Evaluación de 4 formulaciones de ácidos carboxílicos en el rendimiento y calidad de pepino. Campo Experimental del Valle de Culiacán. Ciclo 90-91. In: Productos Químicos de Chihuahua, S. A. de C. V., Div. CARBOXY. II Curso de Capacitación Técnica Sobre Uso y Manejo de Productos Carboxy.

Romero, H.L. 1981. El índice de cosecha como criterio de selección para rendimiento en dos poblaciones de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench), bajo tres métodos de selección familiar. Chapingo México, Tesis, M.C., Colegio de Posgraduados, Chapingo Mex. pp. 4-17.

Salisbury, F.B. and C.W. Ross. 1985. Plant physiology. Wadsworth Publishing Company, Inc. 3Ed. pp. 74-95.

Sánchez, R. 1988. Exploración de la respuesta a la adición de insumos en maíz para el norte de Tamaulipas. Informe Técnico. SARH-INIFAP-CIFAP Tamaulipas. p. 290.

----- G.A. López. 1992. Evaluación de fertilizantes foliares y fitohormonas en maíz de riego del norte de Tamaulipas. Informe Técnico. SARH-INIFAP-CIFAP Tamaulipas. p. 217.

SARH. 1977. Fertilización: Aliento y compromiso. 2da. Reunión de Información. Gobierno del Estado de Tamaulipas y Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Cd. Díaz Ordaz, Tamps. pp. 5-29.

Schegel, A.J. 1992. Efect of Composted manure on soil chemical properties and nitrogen use by grain sorgun. J. Prod. Agric. 5: 153-157.

Steel, R.G. and J.H. Torrie. 1985. Bioestadística, Principios y Procedimientos. 2ed. Editorial McGraw Hill de México S.A. de C.V. pp. 188-244.

Tanaka, A. y J. Yamaguchi. 1977. Produccion de materia seca, componentes del rendimiento y rendimiento de grano en maíz. Traducido por J. Kohashi. Rama de Botánica. Colegio de Posgraduados. Chapingo México. pp. 45-59.

Tirado, T.J. 1979. Uso de mezclas de abonos orgánicos y minerales en bajas dosificaciones en la asociación maíz-frijol de temporal. Tesis, M.C. Colegio de Posgraduados, Chapingo Mex. pp. 19-28.

- Tisdale, S.L., W.L. Nelson and J.D Beaton. 1985. Soil fertility and fertilizers. McMillan Publishing Company, 4Ed. pp. 220-250.
- Valencia, P.F. 1986. Padrón y análisis del crecimiento de tres variedades de maíz (*Zea mays L.*). Tesis, M.C. Colegio de Posgraduados, Chapingo Mex. pp. 89-97.
- Villarroel A. 1979. Respuesta del maíz y frijol a la aplicación de gallinaza, estiércol vacuno, zinc, magnesio y hierro en suelos de Cd. Cerdan Puebla, Bajo Condiciones de Campo e Invernadero. Tesis, M.C. Colegio de Posgraduados, Chapingo. pp. 15-38.
- Watson D.J. 1952. The Physiological of variation in yield. Rothamsted Experimental Station 4: 101-145.

Cuadro A7. Análisis de varianza para concentración de CO₂ en la etapa vegetativa.

| FV | GL | CM | F calculada |
|--------------|-----|-----------|-------------|
| Bloques | 3 | 47809.957 | 40.6689 ** |
| Tratamientos | 6 | 551.727 | .4693 |
| T x B | 18 | 1175.589 | 2.8923 ** |
| Plantas | 56 | 406.441 | 4.4196 ** |
| Error | 84 | 91.962 | |
| Total | 167 | | |

** Diferencia altamente significativa

Cuadro A8. Análisis de varianza para conductancia estomatal en la etapa vegetativa.

| FV | GL | CM | F calculada |
|--------------|-----|-------|-------------|
| Bloques | 3 | 1.380 | 6.0262 ** |
| Tratamientos | 6 | .209 | 0.9126 |
| T x B | 18 | .229 | 2.8856 ** |
| Plantas | 56 | .079 | 79.3571 ** |
| Error | 84 | .001 | |
| Total | 167 | | |

** Diferencia altamente significativa

Cuadro A9. Análisis de varianza para transpiración en la etapa vegetativa.

| FV | GL | CM | F calculada |
|--------------|-----|---------|-------------|
| Bloques | 3 | 274.688 | 12.6654 ** |
| Tratamientos | 6 | 47.688 | 2.2591 |
| T x B | 18 | 21.109 | 3.3234 ** |
| Plantas | 56 | 6.351 | 113.4193 ** |
| Error | 84 | 0.056 | |
| Total | 167 | | |

** Diferencia altamente significativa

Cuadro A4. Cuadrados medios obtenidos en los análisis de varianza para la altura de planta y altura de mazorca.

| FV | GL | Altura de planta | Altura de mazorca |
|--------------|----|------------------|-------------------|
| Bloques | 3 | 0.010 | 0.003 |
| Tratamientos | 6 | 0.008 | 0.006 |
| Error | 18 | 0.002 | 0.004 |
| Total | 27 | 0.004 | 0.004 |

Cuadro A5. Cuadrados medios obtenidos en los análisis de varianza para peso seco de 10 plantas, rendimiento promedio por planta e índice de cosecha.

| FV | GL | Peso seco de 10 plantas | Rendimiento prom./planta | Índice Cosecha |
|--------------|----|-------------------------|--------------------------|----------------|
| Bloques | 3 | 16846.7 | 361.9 | 41.02 |
| Tratamientos | 6 | 9036.3 | 156.1 | 16.32 |
| Error | 18 | 53046.6 | 229.7 | 13.44 |
| Total | 27 | 39244.3 | 230.3 | 17.14 |

Cuadro A6. Análisis de varianza para fotosíntesis en la etapa vegetativa.

| FV | GL | CM | F calculada |
|--------------|-----|---------|-------------|
| Bloques | 3 | 609.929 | 9.2174 ** |
| Tratamientos | 6 | 28.563 | 0.4316 |
| T x B | 18 | 66.171 | 1.4188 |
| Plantas | 56 | 46.636 | 4.9397 ** |
| Error | 84 | 9.441 | |
| Total | 167 | | |

** Diferencia altamente significativa

Cuadro A7. Análisis de varianza para concentración de CO₂ en la etapa vegetativa.

| FV | GL | CM | F calculada |
|--------------|-----|-----------|-------------|
| Bloques | 3 | 47809.957 | 40.6689 ** |
| Tratamientos | 6 | 551.727 | .4693 |
| T x B | 18 | 1175.589 | 2.8923 ** |
| Plantas | 56 | 406.441 | 4.4196 ** |
| Error | 84 | 91.962 | |
| Total | 167 | | |

** Diferencia altamente significativa

Cuadro A8. Análisis de varianza para conductancia estomatal en la etapa vegetativa.

| FV | GL | CM | F calculada |
|--------------|-----|-------|-------------|
| Bloques | 3 | 1.380 | 6.0262 ** |
| Tratamientos | 6 | .209 | 0.9126 |
| T x B | 18 | .229 | 2.8856 ** |
| Plantas | 56 | .079 | 79.3571 ** |
| Error | 84 | .001 | |
| Total | 167 | | |

** Diferencia altamente significativa

Cuadro A9. Análisis de varianza para transpiración en la etapa vegetativa.

| FV | GL | CM | F calculada |
|--------------|-----|---------|-------------|
| Bloques | 3 | 274.688 | 12.6654 ** |
| Tratamientos | 6 | 47.688 | 2.2591 |
| T x B | 18 | 21.109 | 3.3234 ** |
| Plantas | 56 | 6.351 | 113.4193 ** |
| Error | 84 | 0.056 | |
| Total | 167 | | |

** Diferencia altamente significativa

Cuadro A10. Análisis de varianza para fotosíntesis en la etapa de llenado de grano.

| FV | GL | CM | F calculada |
|--------------|-----|---------|-------------|
| Bloques | 3 | 166.734 | 3.7000 |
| Tratamientos | 6 | 47.568 | 1.0538 |
| T x B | 18 | 45.137 | 1.4947 |
| Plantas | 56 | 37.515 | 1.6423 |
| Error | 84 | 22.843 | |
| Total | 167 | | |

** Diferencia altamente significativa

Cuadro A11. Análisis de varianza para concentración de CO₂ en la etapa de llenado de grano.

| FV | GL | CM | F calculada |
|--------------|-----|-----------|-------------|
| Bloques | 3 | 25575.250 | 46.0700 ** |
| Tratamientos | 6 | 3127.906 | 0.5638 |
| T x B | 18 | 5547.273 | 2.4945 ** |
| Plantas | 56 | 1662.070 | 2.2820 ** |
| Error | 84 | 730.419 | |
| Total | 167 | | |

** Diferencia altamente significativa

Cuadro A12. Análisis de varianza para conductancia estomatal en la etapa de llenado de grano.

| FV | GL | CM | F calculada |
|--------------|-----|-------|-------------|
| Bloques | 3 | 1.069 | 5.2146 ** |
| Tratamientos | 6 | 0.114 | 0.5560 |
| T x B | 18 | 0.205 | 2.5000 ** |
| Plantas | 56 | 0.125 | 124.7300 ** |
| Error | 84 | 0.001 | |
| Total | 167 | | |

** Diferencia altamente significativa

Cuadro A13. Análisis de varianza para transpiración en la etapa de llenado de grano.

| FV | GL | CM | F calculada |
|--------------|-----|--------|-------------|
| Bloques | 3 | 45.216 | 5.3698 * |
| Tratamientos | 6 | 3.643 | 0.4316 |
| T x B | 18 | 8.439 | 2.5600 ** |
| Plantas | 56 | 3.822 | 88.8900 ** |
| Error | 84 | 0.043 | |
| Total | 167 | | |

* Diferencia significativa

** Diferencia altamente significativa

Cuadro A14. Análisis de varianza para la comparación de períodos de muestreo para las variables fotosíntesis y concentración interna de CO₂.

| FV | GL | Fotosíntesis | CO ₂ |
|------------------|-----|--------------|-----------------|
| Bloq. dent. P. | 3 | 7.666 | 4648.827 |
| Períodos (P) | 1 | 221.090 ** | 6525.793 ** |
| Tratamientos (T) | 6 | 6.469 | 853.825 |
| P x T | 18 | 6.055 | 687.125 |
| Error | 56 | 9.216 | 631.274 |
| Total | 167 | | |

** Diferencia altamente significativa

Cuadro A15. Análisis de varianza para la comparación de períodos de muestreo de las variables conductancia y transpiración.

| FV | GL | Conductancia | Transpiración |
|------------------|-----|--------------|---------------|
| Bloq dent. P. | 3 | 0.204 | 26.758 |
| Períodos (P) | 1 | 0.064 | 280.225 ** |
| Tratamientos (T) | 6 | 0.022 | 5.008 |
| P x T | 18 | 0.031 | 3.486 |
| Error | 56 | 0.036 | 2.476 |
| Total | 167 | | |

** Diferencia altamente significativa

