

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE AGRONOMIA

SUBDIRECCION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



EVALUACION DE LA ABSORCION DE NITROGENO
EN DIFERENTES ETAPAS FENOLOGICAS DEL TRIGO
(Triticum aestivum L.)

TESIS

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

PRESENTA:

ING. GILBERTO ARNOLDO LOPEZ ARIZPE

MARIN, NUEVO LEON

ABRIL 1995

TM

SB191

.W5

L6

c.1



1080062097

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE AGRONOMIA

SUBDIRECCION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



EVALUACION DE LA ABSORCION DE NITROGENO
EN DIFERENTES ETAPAS FENOLOGICAS DEL TRIGO
(*Triticum aestivum* L.)

T E S I S

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

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

PRESENTA

ING. GILBERTO ARNOLDO LOPEZ ARIZPE

11966 e

MARIN, NUEVO LEON

ABRIL 1995

BIBLIOTECA Agronomía U.A.N.L.

TM
SB 191
W5
L6

BIBLIOTECA AGRONOMIA U.N.L.



045-633

FA3

1995

C.5

(*Trifolium aestivum* L.)

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

ESPECIALIDAD EN PRODUCCIÓN DE CEREALES



Biblioteca Central
Magna Solidaridad



FONDO
TESIS MAESTRIA

F. tesis

11566

ABRIL 1995

MARIN, NUEVO LEON

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE AGRONOMIA
SUBDIRECCION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

EVALUACION DE LA ABSORCION DE NITROGENO
EN DIFERENTES ETAPAS FENOLOGICAS DEL TRIGO
(Triticum aestivum L.).

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

ESPECIALISTA EN PRODUCCION AGRICOLA

PRESENTA

ING. GILBERTO ARNOLDO LOPEZ ARIZPE

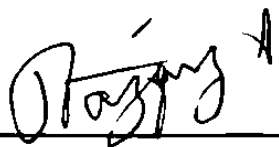
EVALUACION DE LA ABSORCION DE NITROGENO
EN DIFERENTES ETAPAS FENOLOGICAS DEL TRIGO
(Triticum aestivum L.)

Tesis

Sometida al Comité Particular como requisito
parcial para optar al grado de

MAESTRO EN CIENCIAS
ESPECIALISTA EN PRODUCCION AGRICOLA

Revisada y aprobada por el Comité Particular:



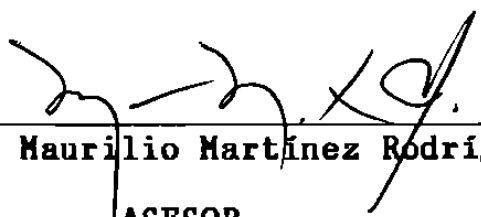
Ph.D. Rigoberto E. Vázquez A.

CONSEJERO



M.Sc. Fermín Montes Cavazos

ASESOR



MC. Maurilio Martínez Rodríguez

ASESOR

BIBLIOTECA Agronomía U.A.N.L.

AGRADECIMIENTOS

El autor desea expresar sus agradecimientos al Ph.D. Rigoberto E. Vázquez Alvarado, Consejero Principal, por su apreciada colaboración en la culminación de este estudio, por su amistad, sus conocimientos impartidos y por ser un gran catedrático y un valioso investigador.

A los Miembros del Comité Particular M.Sc. Fermín Montes Cavazos y al M.C. Maurilio Martínez Rodríguez por su interés y amplia ayuda técnica en el desarrollo y revisión del presente estudio.

Al Centro de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, por su apoyo y confianza en mi superación profesional. A los Directivos del Centro de Investigaciones Regionales del NORESTE. Ph.D Sebastián Acosta Núñez, C.P. Manuel Ortega Vieyra, Ph.D Luis A. Rodríguez del Bosque, M.C. Miguel A. García Gracia, y compañeros del CERIB, M.C. Asunción Méndez Rodríguez, M.C. José Palomo Salas, M.C. Enrique Rosales Robles, M.C. Ricardo Sánchez de la Cruz, Q.F.B. Idalia Garza Cano, M.C. Arturo Díaz Franco, M.C. Juan A. Morales Hernández y a todos por su apoyo.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por haberme dado la oportunidad de realizar mis estudios de postgrado.

A la Subdirección de Estudios de Postgrado de la Facultad de Agronomía y su valioso plantel docente, administrativo y de campo, por permitirme compartir sus conocimientos y por los grandes momentos.

Al Patronato para la Investigación Fomento y Sanidad Vegetal, por su apoyo en el transcurso de mi postgrado.

A mis compañeros de estudio por su amistad, por el apoyo mutuo y desinteresado.

A todas las personas, que de manera desinteresada me apoyaron de alguna manera en la realización del presente estudio.

A todos Gracias.

DEDICATORIA

A MIS QUERIDOS PADRES:

GREGORIO LOPEZ GARCIA. QPD
JUANITA ARIZPE DE LOPEZ. QPD.

NO ENCUENTRO PALABRA, QUE INDIQUE TODOS LOS ATRIBUTOS Y VIRTUDES, POR HABER SIDO Y HABERME DADO TODO LO BUENO, EXTRAÑO SU PRESENCIA, SU ALEGRIA, SU TERNURA, SU TEMPLE, TODOS LOS GRANDES MOMENTOS, GRACIAS POR FORJARME Y HECHO UN HOMBRE.

A MI QUERIDA ESPOSA:

Ma. GUADALUPE CANTU LOZANO.

POR SER UNA GRAN MUJER, SEÑORA Y MADRE.
Y POR EL APOYO QUE ME DISTE PARA LOGRAR ESTA META.

A MIS HIJOS:

GPE. XOCHITL, GILBERTO A., MIRLA M., y CARLOS S.

MIS PEQUEÑOS TESOROS, GRACIAS POR HABER SOPORTADO MI AUSENCIA, DURANTE MIS ESTUDIOS, POR ESTE HECHO, EN LA VIDA SIEMPRE VAN A SALIR ADELANTE EN TODOS SUS QUEHACERES Y QUEBRANTOS QUE YO, SIEMPRE ESTARE VELANDO POR USTEDES.

A MIS SUEGROS: CON RESPETO.

A MIS HERMANOS:

MIRIAM, SONIA, LAURA, JESUS A., FLOR E., JUAN A., ARGELIA, GREGORIO C., ALEJANDRA M., MARIO A., YASHIN I., Y GREGORIO ESTEBAN.

POR APOYARME CADA UNO A SU MANERA, A SUBIR ESTA CUESTA ARRIBA, POR HABERME DEMOSTRADO QUE TODOS UNIDOS FORMAMOS LA FAMILIA, LA UNIDAD.

A MIS CUÑADOS Y CUÑADAS.

CON TODO RESPETO Y ADMIRACION.

A MIS SOBRINOS Y SOBRINAS:

CON CARINO Y RESPETO.

CONTENIDO

	Página
INDICE DE CUADROS.....	viii
INDICE DE CUADROS DEL APENDICE.....	ix
INDICE DE FIGURAS.....	xi
INDICE DE FIGURAS DEL APENDICE.....	xi
SUMMARY.....	xiii
 I. INTRODUCCION.....	 1
1.1. Objetivos.....	3
1.2. Hipótesis.....	3
 II. REVISION DE LITERATURA.....	 4
2.1. Experimentos con Nitrógeno.....	4
2.1.1. Epoca de aplicación del nitrógeno.....	4
2.1.2. Nitrógeno con densidades de población..	5
2.1.3. Nitrógeno con fósforo.....	6
2.1.4. Nitrógeno con variedades.....	7
2.2. Procesos de Transformación del Nitrógeno....	7
2.2.1. Movimientos del nitrógeno.....	8
2.2.2. Nitrificación.....	8
2.3. Pérdidas del Nitrógeno.....	9
2.3.1. Lixiviación.....	11
2.3.2. Desnitrificación.....	12
2.3.3. Laterización.....	13
2.4. Respuesta del Nitrógeno en Suelos Calcáreos.	14
2.4.1. Nitrógeno con la adición de azufre.....	14
2.5. Factores que Afectan la Eficiencia de los	
Fertilizantes.....	15
2.5.1. Nitrógeno.....	15
2.5.2. Fósforo.....	15
2.6. Medición de la Eficiencia	
de la Fertilización con 15N.....	17
2.7. Conocimiento de los Isótopos.....	18
2.7.1. Uso de los isótopos.....	18
2.7.2. Isótopos del nitrógeno.....	19
2.7.3. Estudios del ¹⁵ N.....	20
2.8. Espectómetro de Masas.....	22
2.8.1. Mecanismo.....	22
2.8.2. Determinación de la carga masa.....	23
2.9. Conceptos par la Cuantificación del ¹⁵ N.....	23
2.9.1. El concepto del valor A.....	23
2.10. Fenología del Cultivo de Trigo.....	24
2.11. Componentes del Rendimiento en Trigo.....	25
 III. MATERIALES Y METODOS.....	 27
3.1. Ubicación del Experimento.....	27
3.1.1. Condiciones climáticas.....	27
3.2. Establecimiento del Experimento.....	28
3.2.1. Preparación del suelo y siembra.....	28

3.2.2. Variedad.....	29
3.3. Riegos.....	29
3.4. Fertilización.....	30
3.4.1. Dosis y fuentes.....	30
3.4.2. Método de aplicación.....	30
3.5. Criterio Utilizado Para la Aplicación del ^{15}N	31
3.5.1. Etapas fenológicas y aplicaciones.....	31
3.6. Tratamientos Evaluados.....	32
3.6.1. Tratamientos.....	32
3.7. Superficie Experimental.....	32
3.8. Cálculos del Fertilizante.....	33
3.8.1. Nitrógeno.....	33
3.8.2. Cálculos para la parcela útil.....	33
3.8.3. Cálculos para el resto de la parcela...	34
3.8.4. Fósforo.....	35
3.8.5. Cálculos para el fósforo.....	35
3.9. Diseño Experimental.....	35
3.9.1. Diseño y modelo estadístico.....	35
3.10. Cosecha.....	37
3.11. Croquis del Experimento.....	37
3.12. Método Empleado Para Cuantificar el ^{15}N	37
3.12.1. Cuantificación del ^{15}N y del valor A del suelo.....	38
3.12.2. Nitrógeno total en la planta (NTP)....	38
3.12.3. La fracción de N derivado del fertilizante (fNdF).....	39
3.12.4. Rendimiento de N derivado del fertilizante (RNdF).....	39
3.12.5. Rendimiento de N derivado del suelo (RNdS).....	39
3.12.6. El valor de A del suelo (A).....	39
3.13. Absorción de ^{15}N Derivado del Fertilizante y Suelo.....	40
3.13.1. El % de exceso atómico de ^{15}N en el suelo.....	40
3.13.2. El % exceso atómico de ^{15}N en la planta (%EA ^{15}N P).....	40
3.14. El % de Eficiencia de la Fertilización (EF).....	40
3.15. Variables a medir.....	41
3.15.1. Rendimiento de grano (Y).....	41
3.15.2. Número de plantas con ahijamiento (NPCA)	41
3.15.3. Número de tallos (NT).....	41
3.15.4. Número de espigas (NE).....	42
3.15.5. Número de pares de glumas (NG).....	42
3.15.6. Altura de planta (A).....	42
3.15.7. Peso de hoja (PH).....	42
3.15.8. Peso de tallo (PT).....	42
3.15.9. Peso de paja (PP).....	43
3.15.10. Peso de espiga (PE).....	43

3.15.11. Peso de 100 semillas (PS).....	43
3.15.12. Volumen de 100 semillas (VS).....	43
3.15.13. Relación peso paja-grano (RPPG).....	44
3.15.14. Muestras de planta.....	44
3.15.15. Muestras de suelo.....	44
3.16. Textura del Suelo.....	45
IV. RESULTADOS Y DISCUSION.....	47
4.1. Efecto de las Epocas de Aplicación del Sulfato de Amonio, Sobre Variables Fisiológicas en Trigo.	47
4.1.1. Peso de grano (Y).....	49
4.1.2. Número de plantas con ahijamiento (NPCA).	54
4.1.3. Número de tallos por hectárea (NT).....	57
4.1.4. Número de espigas (NE).....	59
4.1.5. Número de pares de glumas por espiga (NG).	60
4.1.6. Altura de planta cm (A).....	62
4.1.7. Peso de hojas (PH).....	63
4.1.8. Peso de tallo (PT).....	65
4.1.9. Peso de paja (PP).....	66
4.1.10. Peso de espiga (PE).....	69
4.1.11. Peso de 100 semillas (PS).....	71
4.1.12. Volumen de 100 semillas (VS).....	72
4.1.13. Relación peso paja-grano (RPPG).....	73
4.2. Variables Físico-Químicas del Suelo (VFQS).....	75
4.2.1. pH del suelo.....	77
4.2.2. Conductividad eléctrica (CE).....	79
4.2.3. Materia orgánica (MO).....	81
4.2.4. Nitratos solubles ppm.....	83
4.2.5. Fósforo total (P).....	86
4.2.6. Potasio total (K).....	87
4.3. Variables de Planta y Suelo.....	89
V. CONCLUSIONES.....	92
VI. RESUMEN.....	94
VII. BIBLIOGRAFIA.....	97
VIII. APENDICE.....	104

INDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Número de masa, % de abundancia en la naturaleza y la vida media de los isótopos del nitrógeno...	19
Cuadro 2. Datos climáticos promedio ocurridos de Nov. a Mar. de 1979 a 1992 en el área de estudio.....	28
Cuadro 3. Datos climáticos ocurridos en el experimento de Nov. a Mar. de 1993-1994.....	28
Cuadro 4. Tratamientos, etapas fenológicas y dosis de N marcado ¹⁵ N y sin marcar, evaluados en trigo en el ciclo O-I 1993-94 en el C.A.E.-FAUANL.....	32
Cuadro 5. Granos de Sulfato de Amonio marcado y sin marcar aplicados por tratamiento en la parcela útil....	34
Cuadro 6. Resumen de 13 análisis de varianza en variables en trigo, en el ciclo O-I 1993-94, (FAUANL).....	48
Cuadro 7. Comparación de medias para 13 variables de trigo, evaluadas en el ciclo O-I 1993-94, (FAUANL).....	48
Cuadro 8. Análisis de regresión lineal múltiple para rendimiento de grano, evaluado en trigo, en el ciclo O-I 1993-94, (CAE-FAUANL).....	53
Cuadro 9. Resumen de 18 análisis de varianza, para variables de suelo evaluadas en trigo, en el ciclo O-I 1993-94, (FAUANL)	76
Cuadro 10. Comparación de medias para 18 variables de suelo evaluadas en trigo, en el ciclo O-I 1993-94, (FAUANL).....	77
Cuadro 11. Análisis del modelo de regresión lineal múltiple, para rendimiento de grano, y el conjunto de variables de planta y suelo, evaluadas en trigo, en el ciclo O-I 1993-94, (CAE-FAUANL).....	90

INDICE DE CUADROS DEL APENDICE

	Página
Cuadro 12. Análisis de regresión lineal múltiple para el número de plantas con ahijamiento, evaluado en trigo, en el ciclo O-I 1993-94, (CAE-FAUANL)..	104
Cuadro 13. Análisis de regresión lineal múltiple para número de tallos por hectárea, evaluado en trigo, en el ciclo O-I 1993-94, (CAE-FAUANL).....	104
Cuadro 14. Análisis de regresión lineal múltiple para número de espigas por hectárea, evaluado en trigo, en el ciclo O-I 1993-94, (CAE-FAUANL).....	104
Cuadro 15. Análisis de regresión lineal múltiple para número de glumas por espiga, evaluado en trigo, en el ciclo O-I 1993-94, (CAE-FAUANL).....	104
Cuadro 16. Análisis de regresión lineal múltiple para peso de hoja por hectárea, evaluado en trigo, en el ciclo O-I 1993-94, (CAE-FAUANL).....	105
Cuadro 17. Análisis de regresión lineal múltiple para peso de tallo por hectárea, evaluado en trigo, en el ciclo O-I 1993-94, (CAE-FAUANL).....	105
Cuadro 18. Análisis de regresión lineal múltiple para peso de paja por hectárea, evaluado en trigo, en el ciclo O-I 1993-94, (CAE-FAUANL).....	105
Cuadro 19. Análisis de regresión lineal múltiple para peso de espiga por hectárea, evaluado en trigo, en el ciclo O-I 1993-94, (CAE-FAUANL).....	105
Cuadro 20. Análisis de regresión lineal múltiple para volumen de 100 semillas, evaluado en trigo, ciclo O-I 1993-94, (CAE-FAUANL).....	106
Cuadro 21. Análisis de regresión lineal múltiple para la relación peso paja-grano, evaluada en trigo, en el ciclo O-I 1993-94 (CAE-FAUANL).....	106

Cuadro 22. Clasificación del suelo, en base al análisis
químico evaluado en trigo, en el ciclo 0-I 1993/94
(FAUANL).....107

Cuadro 23. Resultados del análisis físico del suelo expresado
en porcentaje de arena, limo y arcilla, evaluado
en 3 estratos en trigo, en el ciclo 0-I 1993/94
(FAUANL)..... 108

INDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Croquis del experimento, que representa la distribución de los tratamientos en el campo....	37

INDICE DE FIGURAS DEL APENDICE

Figura 2. Representación de los principales procesos de transformación del nitrógeno en el suelo....	109
Figura 3. Diagrama del espectómetro de masas.....	110
Figura 4. Triángulo de textura.....	111
Figura 5. Modelo de regresión lineal múltiple para rendimiento de grano y variables de planta evaluado en trigo, en el ciclo 0-I 93/94, FAUANL.....	112
Figura 6. Modelo de regresión lineal múltiple para (NPCA) evaluado en trigo, en el ciclo 0-I 93/94, FAUANL.....	113
Figura 7. Modelo de regresión lineal múltiple para el número de tallos evaluado en trigo, en el ciclo 0-I 93/94, FAUANL.....	114
Figura 8. Modelo de regresión lineal múltiple para número de espigas evaluado en trigo, en el ciclo 0-I 93/94, FAUANL.....	115
Figura 9. Modelo de regresión lineal múltiple para número de pares de glumas evaluado en trigo, en el ciclo 0-I 93/94, FAUANL.....	116
Figura 10. Modelo de regresión lineal múltiple para peso de hojas evaluado en trigo, en el ciclo 0-I 93/94, FAUANL.....	117
Figura 11. Modelo de regresión lineal múltiple para peso de tallo evaluado en trigo, en el ciclo 0-I 93/94, FAUANL.....	118
Figura 12. Modelo de regresión lineal múltiple para peso de paja evaluada en trigo, en el ciclo 0-I 93/94, FAUANL.....	119
Figura 13. Modelo de regresión lineal múltiple para peso de espiga evaluada en trigo, en el ciclo 0-I 93/94, FAUANL.....	120

Figura 14. Modelo de regresión lineal multiple para volumen de 100 semillas evaluadas en trigo, en el ciclo O-I 93/94, FAUANL.....	121
Figura 15. Modelo de regresión lineal multiple para (RPPG) evaluada en trigo, en el ciclo O-I 93/94, FAUANL.....	122
Figura 16. Contenido de nitratos en tres estratos del suelo evaluados en trigo, en el ciclo O-I 1993-94, (FAUANL).....	123
Figura 17. Modelo de regresión lineal multiple para rendimiento de grano y el conjunto de variables de planta y suelo evaluadas en trigo, en el ciclo O-I 93/94, FAUANL.....	124

SUMMARY

The present study was carried out during the winter season 1993-94 at the experimental station of the Agronomy Faculty of the Universidad Autonoma de Nuevo Leon, which is located at 17.5 km of the Zuazua Marin highway. The objectives of this study were: 1.- Evaluate the response of three wheat stages to the soil nitrogen response, 2.- Evaluate the ammonia sulfate in three phenological stages 3.- Evaluate the soil and plant interaction to the fractionated ammonia sulfate application. In order to evaluate the effect of the application periods of ammonia sulfate in the treatments, several statistical analysis were done. In the treatments 1 and 2 the nitrogen was applied in the first and third phenological stage, in the treatments 3,4 and 5 the nitrogen was applied in three phenological stages.

The phenological stages were identified as follow: 1a Seeding to emergence, 2a Tillering to floral differentiation and 3a floral differentiation to elongation.

The nitrogen was applied according to the corresponding phenological stages in each treatment. The sowing method was by hand planting the wheat in double line separated 17.5 cm in between lines. The variety Esmeralda M 86 was used with a seed density of 70 kg/ha and 0.80 cm between rows.

The results indicate that the grain yield was not influenced by nitrogen application periods, however the nitrogen increased the yields by 763 kg/ha, comparing this with the treatment six

(which was a check).

In relation to the ammonia sulfate application it did affect the number of plant tillers, stem weight, spike weight, weight of 100 seed and the straw-grain relationship.

The treatment 4 showed the biggest grain production (3865 kg/ha) and the best spikes, leaf and straw weight and also the tillers number per treatment. The grain yield showed a significant correlation with number of spikes, volume of 100 seed, spikes and leaf weight, number of pair of glumness by spikes, plant weight, tillers number and stem weight.

It was observed that the best regression model for grain yield was related to the number of pair of glumness, number of spikes, straw-grain weight relationship, and leaf weight with a $r^2 = 78.37\%$. Finally, based in the behavior of the wheat subject to time of nitrogen (Ammonia sulfate) application it is suggested to applied this nutrient at the three different growth stages of the crop.

I. INTRODUCCION

Dentro del área de influencia del Campo Agrícola Experimental en Marín, N. L. de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León (CAE-FAUANL) se ha evaluado en el área de riego y a través del tiempo, la respuesta de diferentes cultivos a las aplicaciones al suelo de diferentes dosis, épocas y fuentes de nitrógeno (N) y en la mayoría de los casos no se ha encontrado respuesta significativa en el rendimiento medio para estos factores y sus interacciones.

Por lo anterior, se ha argumentado que esto se ha debido principalmente a que el nitrógeno, antes de ser absorbido por las plantas, se volatiliza por las altas temperaturas y el origen calcáreo del suelo cuyo pH es alcalino, con alto contenido de carbonato de calcio (CaCO_3), bajo contenido de nitrógeno y materia orgánica, limitando estas características del suelo la absorción del N por las plantas.

Sin embargo, conociendo que el nitrógeno es el fertilizante considerado como el más importante, su aplicación es una práctica imprescindible para obtener altos rendimientos, buen desarrollo de las plantas y calidad de los productos.

Considerando lo anterior, se establecerá dentro del (CAE-FAUANL) en un suelo calcáreo, un experimento en el cual se evaluará el efecto del sulfato de amonio en el rendimiento de

grano, en variables fenológicas y características del suelo en el cultivo de trigo. La aplicación del fertilizante, se realizará de manera fraccionada utilizando como base los criterios más comunes del agricultor al aplicar todo el fósforo más $1/2$ o $1/3$ del nitrógeno en la siembra y el resto después del primero y/o segundo riego de auxilio. En este caso, se aplicará una dosis de fertilización absoluta de 120-70-00 que equivale a 120 kg/ha de sulfato de amonio (20.5 % N) más 70 kg/ha de super-fosfato triple de calcio.

Para esto, se utilizó un diseño de bloques al azar con seis tratamientos y cuatro repeticiones, cada unidad experimental fue de 6 surcos de 0.80 cm. por 5 m de longitud. Las épocas de aplicación del sulfato de amonio fueron: 1ª de Siembra a Emergencia, 2ª de Amacollamiento a Diferenciación floral y 3ª de Diferenciación Floral a Elongación.

1.1. Objetivos.

1. Evaluar el efecto del nitrógeno del suelo en el desarrollo de tres etapas del cultivo de trigo.

2. Determinar la respuesta de variables fenológicas a la adición de sulfato de amonio en tres etapas del ciclo del cultivo.

3.- Evaluar la interacción entre variables del suelo y de planta cuando se hace aplicación fraccionada de sulfato de amonio.

1.2. Hipótesis.

a) La adición de un fertilizante en forma fraccionada en las etapas fenológicas, promueve una mejor dosificación y por consecuencia una mejor respuesta en el rendimiento y una menor pérdida del nutriente.

b) En trigo se puede cuantificar la absorción de nitrógeno proveniente del fertilizante, usando como referencia la presencia del nitrógeno marcado con el isótopo ^{15}N .

c) El nitrógeno como un elemento móvil en el suelo, guarda una interacción fuerte con su disponibilidad en el desarrollo de un cultivo.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1 Experimentos con Nitrógeno.

2.1.1 Época de aplicación del nitrógeno.

Mora (1982) evaluó el efecto de diferentes dosis de nitrógeno y épocas de aplicación en maíz, los niveles de nitrógeno usados fueron: 0, 50, 100 y 150 kg de N/ha, las épocas de aplicación del N fueron: 1/3-0-2/3, 2/3-0-1/3, y 1/3-1/3-1/3, siendo la primera época de aplicación del N y todo el fósforo, en el período de siembra, la segunda aplicación fue en la primera escarda y la tercera fue al momento de la floración.

Como fuente de nitrógeno utilizó nitrato de amonio y de fósforo al superfosfato triple. No encontró significancia estadística entre los factores evaluados ni su interacción; indicó que la nula respuesta del cultivo fue el resultado de la no asimilación del N aplicado, y que la pérdida del mismo se debió a la volatilización que provocaron las altas temperaturas ocurridas durante el desarrollo del experimento. Por su parte Acosta (1989) evaluó diferentes dosis de nitrógeno bajo tres épocas de aplicación en el cultivo de maíz, las cuales fueron: en la siembra, a los 40 días después de la siembra y en la etapa de floración; utilizó urea como fuente de N. No encontró significancia estadística para dosis, ni épocas ni su interacción, indicando que la falta de efecto pudo deberse a las altas

temperaturas provocando la volatilización del N.

Molina (1989) evaluó el efecto de diferentes dosis de nitrógeno y dos épocas de aplicación en la producción y calidad de cebolla; utilizó como fuente al nitrato de amonio, no encontrando respuesta para factores e interacción ni respuesta del cultivo a ninguna variable estudiada. Indicó que la pérdida del nitrógeno pudo ser causada por la volatilización del N y por fijación del mismo en el suelo.

2.1.2. Nitrógeno con densidades de población.

Alcántara (1983) evaluó diferentes dosis de nitrógeno siendo 0, 60, 120 y 180 kg N/ha y densidades de siembra de 120, 140, 160 y 180 kg de semilla/ha en el cultivo de trigo; como fuente de N utilizó nitrato de amonio, aplicando 1/2 del N en la siembra y el resto en el período de amacollamiento. No encontró significancia estadística para factores y su interacción; indicó que la falta de significancia pudo ser debida a las altas temperaturas ocasionando la pérdida del N por volatilización.

Gallegos (1984) evaluó el efecto de diferentes dosis de nitrógeno y densidades de población en el cultivo de sorgo, los niveles de N evaluados fueron: 0, 50, 100 y 150 kg/ha y las densidades de población fueron : 150, 190, 230 y 240 mil plantas por hectárea. Como fuente de nitrógeno utilizó nitrato de amonio, aplicando 1/3 de N en la siembra y el resto 2/3 después del aporque. No encontró respuesta significativa para los

factores evaluados, ni su interacción, a excepción del rendimiento de forraje. Indicó que el nitrógeno aplicado pudo haberse volatilizado debido al pH alcalino del suelo, viéndose favorecido este fenómeno con las altas temperaturas ocurridas durante el ciclo del cultivo.

2.1.3. Nitrógeno con fósforo.

Caballero y Pérez (1986) evaluaron el efecto en el rendimiento de sorgo de diferentes dosis de nitrógeno y fósforo siendo 0, 90, 100, 120 y 140 kg de N/ha y 0, 40, 50 y 70 kg de P/ha. Como fuente de N y P utilizó urea y superfosfato de calcio triple, respectivamente; además, se le dieron al cultivo tres aplicaciones foliares de Fenziquel. En base a los análisis estadísticos desarrollados no encontró significancia estadística para los factores evaluados, ni para su interacción. Realizó un análisis foliar en el cual encontró deficiencias de N, Fe y Mg en las plantas, no encontrando significancia estadística en este análisis.

Durón (1987) evaluó en el ciclo tardío diferentes dosis de nitrógeno y fósforo en frijol, los niveles utilizados en ambos factores fueron: 0, 25, 50, 75 y 100 kg/ha de N y P; aplicó el 50% del fertilizante al suelo y el resto al follaje en varias aplicaciones. En base a los análisis estadísticos realizados, no encontró significancia estadística para ningún factor ni su interacción, así como para ninguna variable estudiada. Por otra

parte Gaytán (1990) evaluó diferentes dosis de nitrógeno y de fósforo en el cultivo de maíz, mismas que fueron aplicadas al suelo y follaje. No encontró significancia estadística para ningún factor y su interacción.

2.1.4. Nitrógeno con variedades.

Corona (1989) evaluó diferentes dosis de nitrógeno en dos variedades de sorgo bajo condiciones de riego y temporal y además, el contenido de macro y micronutrientes en el grano y forraje. Aplicó urea como fuente de N, siendo 1/4 en la siembra y 3/4 en el primer cultivo. No encontró diferencia significativa para ningún factor y su interacción. Otro análisis demostró que la planta presentó deficiencias de N, P y Zn. Indicó que la no asimilación del N por la planta fue debida a la volatilización del amoníaco que se produce al reaccionar el amonio con los carbonatos del suelo y a las altas temperaturas.

2.2 Procesos de Transformación del Nitrógeno.

Castellanos y Peña-Cabriales (1988) indicaron que una vez que el nitrógeno inicia su acumulación, en forma de NO_3^- en el suelo, éste se encuentra disponible para ser: a) tomado por las plantas, b) perdido por desnitrificación o bien c) lixiviado hacia el subsuelo fuera del alcance del sistema radicular. En el caso de la hidrólisis de la urea, el N se transforma en amo-

onio (NH_4^+) y que en este proceso de transformación, el N se puede perder en forma de amoníaco (NH_3) por volatilización y que además, en este proceso también el amonio se transforma en nitrato (NO_3^-) que es la forma como las plantas lo aprovechan. Sin embargo, en esta forma de nitrógeno, puede ocurrir la desnitrificación y/o la lixiviación (Figura 2 del Apéndice).

2.2.1. Movimientos del nitrógeno.

Estudios realizados por medio de lisímetros, indicaron que los fertilizantes inorgánicos, tales como el nitrato de sodio (NaNO_3) el sulfato de amonio (NH_4)₂ SO_4 y los orgánicos como la urea, son bastante solubles en agua, lo que implica fácil movilidad para los iones NO_3^- y NH_4^+ presentes en ellos y que a la vez, son formas en que el N es tomado por los cultivos Castellanos y Peña-Cabriales (1988).

2.2.2. Nitrificación.

Jensen (1955) señaló que los nitratos se forman del amonio que es oxidado y que el amonio proviene del desdoblamiento de aminoácidos, y que éstos a su vez, de la descomposición de la materia orgánica presente en estos suelos; también, atribuye que el N es proveído por los organismos fijadores de nitrógeno y que la velocidad de nitrificación del nitrógeno en la materia orgánica, se halla ampliamente determinada por la temperatura

del suelo, la aireación y la humedad del suelo y que cuando la temperatura del suelo, se eleva hasta un óptimo de 32°C, indica que los procesos de amonificación y nitrificación se hallan en su óptimo cuando existen 2/3 de saturación del suelo.

2.3. Pérdidas del Nitrógeno.

Debido al fuerte impacto que tiene la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento y calidad de los cultivos, los agricultores de las áreas tecnificadas suelen aplicar al suelo elevadas dosis de nitrógeno, sin darse cuenta de que éste, puede estar sufriendo pérdidas por lixiviación, desnitrificación o volatilización, repercutiendo en la economía del agricultor y dañando al ambiente.

Lund, *et al.* (1978) indicaron que para el valle de Sta. María en California, E.U.A., el balance del N en los últimos 12 años en campos cultivados, demostraron que el 30% del nitrógeno aplicado fue absorbido por las cosechas, el 37% fue lixiviado hacia el subsuelo y el 33% se perdió en forma gaseosa y fundamentalmente por "desnitrificación".

Los mismos autores, mencionan que una dosis de 100 ton/ha de estiércol con 1.5% de N significa 1500 kg de N total, cuya mineralización de un 30% en un año haría disponible 450 kg de N. Si la planta toma 100 kg de N-NO₃, quedarían en el suelo 350 kg de N-NO₃, potencialmente lixiviables. Sin embargo, indican que los niveles de desnitrificación que se presentan en

estos sitios son muy elevados debido a la alta disponibilidad de carbono orgánico y facilidad para alcanzar condiciones anaeróbicas, haciendo ésto que se abata el potencial de lixiviación de $N-NO_3$.

Zamudio (1984) indicó que las transformaciones bioquímicas de las diversas formas del nitrógeno, que se encuentran en el suelo, son influenciadas por la temperatura y humedad. Cuando se presentan condiciones de exceso de lluvia o riego, baja evapotranspiración y reducida absorción nutricional las pérdidas por lixiviación son muy altas.

Las pérdidas de nitrógeno asimilable del suelo incluyen los procesos siguientes como lo señaló Ibarra (1991).

a) Absorción por la planta: Un trigo de 5 ton/ha consume del suelo 120 kg de nitrógeno y 63 kg de fósforo.

b) Erosión: Generalmente el horizonte superficial del suelo tiende a erosionarse y es el más rico en nitrógeno.

c) Lixiviación: Los NO_3 son muy solubles y se pueden lavar por percolación con agua.

d) Inmovilización: Pérdida temporal del nitrógeno, por fijación de NH_4 en las partículas del suelo o por microorganismos.

e) Volatilización: Pérdida de nitrógeno en forma de gas.

2.3.1. Lixiviación.

El fenómeno más relacionado con esta característica de los fertilizantes nitrogenados es el de lixiviación, ya que se ha demostrado que la pérdida de nitrógeno ocurre en un 99% en la forma de NO_3 , siendo esta forma la más soluble del nitrógeno. Una forma de reducir esta pérdida, en suelos con elevada capacidad de intercambio catiónico, es utilizar fuentes con amonio (NH_4).

Adriano, et al. (1971) y Pratt y Adriano (1973) reportaron en el sur de California, que las pérdidas del nitrógeno por lixiviación promediaron de un 25 a un 50% en la mayoría de los cultivos, indicando además, que los productores aplicaban 135 kg de N/ha por encima del N absorbido por las cosechas y que en la lixiviación del nitrógeno, en forma de nitrato (N-NO_3) la textura del suelo es importante, ya que en suelos arcillosos se presenta un grado mas alto de "anaerobiosis" después del riego, y por lo tanto ocurre un mayor grado de "desnitrificación" quedando una menor cantidad de N-NO_3 en el suelo disponible para ser lixiviado.

Meiklejohn (1955) señala que los nitratos son reducidos y forman nitrógeno gaseoso por el efecto de bacterias desnitrificantes, pero que la causa más frecuente de pérdida de nitrógeno es la lixiviación y que los nitratos no son retenidos por los coloides del suelo, como lo es el amonio. El mismo autor, (1955) señaló que en la lixiviación un factor importante y de

carácter práctico, es el control de la época de aplicación del sulfato de amonio, ya que al aplicar el fertilizante al momento de siembra y ocurriendo en este período lluvias, el N será rápidamente nitrificado y perdido por lixiviación. Encontró que el efecto del sulfato de amonio fue mayor cuando se aplicó éste al cultivo de varios días de nacido, que cuando se aplicó en la siembra.

2.3.2. Desnitrificación.

Ingrahan (1981) y De La Fuente y Peña (1988) indicaron que la desnitrificación es un proceso respiratorio bacteriano, en donde los óxidos iónicos del nitrógeno (Nitrato y Nitrito) bajo condiciones anaeróbicas, substituyen el oxígeno como aceptor final de electrones, y son reducidos hasta nitrógeno molecular ($\text{NO}_3^- - \text{NO}_2^- - \text{N}_2\text{O} - \text{N}_2$). Indican además, que el significado fisiológico de la desnitrificación es la síntesis del ATP requerido para el crecimiento microbiano bajo condiciones anaeróbicas y que ecológicamente representa la transformación del nitrógeno a un estado no aprovechable, con efectos perjudiciales sobre la productividad de los cultivos.

Eden (1951) menciona que los suelos tropicales pueden tener un buen contenido de nitrógeno total y ser no fértiles, debido a que en estos suelos hay carencia de nitrógeno asimilable y que casi todo el nitrógeno está en forma de compuestos que no pueden convertirse rápidamente a NH_4 . Por su parte, Glover

(1953) indica que algunas veces puede haber suficiente nitrógeno asimilable y sin embargo el cultivo no responde, en este caso, es probable que una carencia de otro elemento generalmente fósforo, esté interfiriendo en la asimilación de nitrógeno por el cultivo.

El mismo autor señaló que en algunos casos la nula respuesta de los cereales a la adición de N se debe a la falta de fósforo asimilable en el suelo, así al trabajar con maíz y sorgo en invernadero, encontró que éstos fueron incapaces de usar todo el N a menos que se haya puesto también fósforo.

2.3.3. Laterización.

McNeil (1965) indica que la laterización es el arrastre de materia orgánica como fuente potencial de nitrógeno. Las altas temperaturas y fuertes precipitaciones son la causa de laterización.

Estos suelos se caracterizan porque la materia orgánica ha sido arrastrada por lixiviación fuera del horizonte superficial, arrastrando a su vez nutrientes necesarios para las plantas como K, Ca y P; como resultado de esto, el horizonte superficial A queda compuesto en gran parte por óxidos de fierro y aluminio.

2.4. Respuesta del Nitrógeno en Suelos Calcáreos.

2.4.1. Nitrógeno con la adición de azufre.

Díaz (1991) evaluó el efecto del azufre sobre la hidrólisis de diferentes dosis de urea, sulfato de amonio, nitrato de amonio y su nitrificación en suelos calcáreos. Encontró un mayor efecto acidificante cuando se aplicaron las fuentes con el azufre, incrementándose la conductividad eléctrica con la oxidación del azufre y la formación de sales con el carbonato de calcio del suelo. Reportó que el efecto acidificante retardó la hidrólisis de la urea de 36 a 96 horas, aumentando con esto la presencia de N-NH_4 , siendo este efecto más marcado cuando se aplicó el $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

Albalade (1992) evaluó el efecto de diferentes dosis de azufre sobre el nitrógeno en suelos calcáreos. Encontró que el efecto oxidante del azufre sobre el nitrógeno se dio durante un tiempo de 1, 2 y 4 semanas después de la aplicación de las dosis de azufre, estableció que la aplicación de éste, redujo significativamente el pH del suelo, siendo la dosis más aceptable la de 20 Meq de S, reduciendo el pH hasta su neutralidad. Además, señaló que al incrementar la dosis de S se incrementó la cantidad de sales solubles.

Ramírez y Díaz (1991) evaluaron en el INIFAP-Gto. el efecto de diferentes fuentes, épocas y formas de fraccionar el nitrógeno sobre el rendimiento y calidad de semillas de trigo, en-

contrando significancia estadística para fuentes y épocas de aplicación, siendo la mejor fuente el sulfato de amonio y para épocas indicaron que las mejores fueron 1/3 y 1/4 en la siembra y 3/4 y 1/4 en el primer riego de auxilio. No encontraron diferencias significativas en el contenido de proteína del grano.

2.5. Factores que Afectan la Eficiencia de los Fertilizantes.

2.5.1. Nitrógeno.

En un estudio de Castro (1978) encontró que la eficiencia de los fertilizantes aplicados en diversas dosis, cultivos y condiciones ambientales es muy variable. Por su parte Sánchez (1989) señaló que la fertilización nitrogenada en algunos casos no ha logrado elevar la producción, debido a que las cantidades de nitrógeno absorbidas por los cultivos ha sido inferior al 50% del total aplicado, atribuyendo esta baja eficiencia al carácter altamente dinámico del nitrógeno en el suelo, ya que sus formas aprovechables cambian con mayor o menor rapidez dependiendo de las condiciones de manejo, edáficas y climáticas.

2.5.2. Fósforo.

El fósforo es absorbido en la fracción coloidal del suelo

por ello Laloux y Poelaert (1980) señalaron que se deben aportar al suelo cantidades suficientes de este elemento. En muchos estudios hechos sobre la eficiencia de la absorción del fósforo proveniente de los fertilizantes, se ha demostrado que las plantas absorben solamente del 10 al 30% del fósforo suministrado. Lo anterior, debido a la escasa movilidad del fósforo en el suelo.

Al respecto, Baldobinos y Thomas (1975) partieron de niveles similares de fósforo usando como planta indicadora al frijol y observaron que las plantas removían más fósforo de un suelo con alto contenido de arcilla que de suelos arenosos, es decir, la absorción de fósforo fue una función del contenido de arcilla, demostrando que las variaciones en la textura afectan la disponibilidad del fósforo.

Enríquez (1975) menciona que en los suelos calcáreos de La Laguna, la cantidad de fósforo asimilable por las plantas está en relación directa con el contenido de CaCO_3 y con la proporción de arcilla en su textura y que a mayores contenidos de éstos en el suelo, se disminuye la eficiencia de los fosfatos aplicados.

Mendoza (1989) menciona que entre algunos factores que influyen en la disponibilidad de fósforo en las plantas se encuentran:

- a) La falta de aireación del suelo disminuye la disponibilidad del fósforo.
- b) La humedad del suelo a capacidad de campo permite que del

50 al 80% del fósforo hidrosoluble se pueda mover.

- c) La temperatura influye en la disponibilidad del fósforo, temperaturas bajas retardan el desarrollo de las raíces.

2.6. Medición de la Eficiencia de la Fertilización con ^{15}N .

La IAEA (1983)^{1'} los isótopos proveen un método directo para la medición de la cantidad de un nutriente dado en una fertilización, la cual es tomada por la planta. Pueden ser usados para determinar la eficiencia por la cual la planta toma de diferente forma un fertilizante, tal como el nitrógeno de la urea comparado con el sulfato de amonio o con otros fertilizantes y/o nitrógeno proveniente del suelo.

El fertilizante debe ser marcado con un isótopo de interés sin afectar las características físicas y químicas de éste, cuando el isótopo es detectado en la plantas muestreadas, da una medida de la proporción del nutriente aprovechado, proveniente del fertilizante

Una medida comúnmente utilizada, en la efectividad de un fertilizante o práctica, es la fracción del nutriente (N) derivado de la fuente del fertilizante isotópicamente marcado ($f\text{Ndf}$ F).

^{1'} International Atomic Energy Agency.

2.7. Conocimiento de los Isótopos.

Con el conocimiento de la radioactividad inducida se logró un camino para la investigación de química y de los sistemas biológicos. Así, el invento del ciclotrón (Acelerador Electromagnético de alta frecuencia) dio un gran impulso al desarrollo de la física nuclear y en un período de dos años se demostró que los isótopos radiactivos de casi todos los elementos, podrían producirse mediante un bombardeo de protones de elevada energía de partículas Alfa o Gamma.

Los isótopos son muy comunes, ya que se conocen aproximadamente unos 300 que son naturales y los físicos y químicos han logrado producir alrededor de 900 empleando reactores nucleares. Los isótopos del mismo elemento tienen propiedades químicas idénticas que dependen de su configuración electrónica y no de sus masas, ya que los isótopos del mismo elemento, al tener números atómicos idénticos tienen diferente masa atómica IAEA (1983).

2.7.1. Uso de los isótopos.

A pesar de lo útil que han sido los isótopos radiactivos para ayudar a explicar hechos relativos a la nutrición mineral de los vegetales, existen en su aplicación algunas restricciones notables. Por ejemplo: el isótopo radiactivo del ^{15}N tiene una vida media de 10 min. Sin embargo, los progresos en la

separación de isótopos han hecho posible la obtención del ^{15}N que es un isótopo raro pero estable. Los experimentos de este tipo se conocen con el nombre de "métodos trazadores" y fueron utilizados para estudiar el transporte de sales nitrogenadas en las plantas.

Las evaluaciones del isótopo estable del ^{15}N , son demasiado caras en experimentos a gran escala. Sin embargo, al utilizar esta técnica se pueden apreciar las cantidades añadidas de estos que han sido absorbidas por las plantas, así como las del suelo y determinar el valor efectivo de los métodos de aplicación y su empleo por medio de un espectómetro de masas IAEA (1983).

2.7.2. Isótopos del nitrógeno.

En la actualidad se conocen seis isótopos del nitrógeno, de los cuales en el Cuadro 1 se presenta el número de masa, el % de abundancia en la naturaleza, así como su vida media.

Cuadro 1. Número de masa, % de abundancia en la naturaleza y la vida media de los isótopos del nitrógeno.

No. de masa	% de abundancia	Vida media
12		0.0126 seg.
13		10.05 min.
14	99.634	
15	0.366	
16		7.36 seg.
17		4.14 seg.

Fuente: IAEA (1983).

2.7.3. Estudios del ^{15}N .

Hardarson (1990) evaluó la fijación biológica del nitrógeno atmosférico utilizando el método de dilución de (Fried and Middelboe 1977, Hardarson (1990) y McAuliffe, *et al.* (1958) la evaluación se hizo en varios cultivares de frijol y líneas mejoradas, los experimentos fueron establecidos en Brasil, México, Australia, Chile, Colombia y Guatemala. La semilla fue inoculada con Rhizobium leguminosorum biovar, aplicando en cada lugar, 10 kg/ha de sulfato de amonio ($^{15}\text{NH}_4$) SO_4 con 10% de exceso atómico. El análisis de las muestras de las plantas se realizó en el IAEA Siebersdorf Laboratory de Australia.

Los análisis demostraron dentro y entre países diferencias significativas entre los materiales evaluados, con respecto al % de aumento de nitrógeno atmosférico y diferencias significativas en cuanto a la fijación en kg/ha de nitrógeno recomendando a los productores el uso de material genético con alta fijación de N_2 .

Peña *et al.* (1993) evaluaron la fijación del nitrógeno atmosférico N_2 en diferentes estados de crecimiento en dos variedades de frijol. La investigación se realizó en campo e invernadero, aplicaron la técnica de dilución con el isótopo marcado del nitrógeno (^{15}N). Reportaron que las variedades evaluadas en invernadero (M-4403 y Kallmet) acumularon 301 y 189 mg de N por planta después de 63 días de la siembra, de los cuales el 57% y 43% fueron derivados de la forma atmosférica;

las evaluadas bajo condiciones de campo (Bayocel y Flor de Mayo) acumularon a los 77 días después de la siembra, 147 y 135 kg/ha de N respectivamente, de los cuales el 50% fueron derivados de la atmósfera, alcanzando en ambos casos, la tasa máxima de N_2 durante la etapa reproductiva, como lo demostraron (Zapata, *et al.* (1987a), (1987b) y Wolyn, *et al.* 1989).

Tiessen, *et al.* (1984) evaluaron en suelos cultivados de La Laguna el nitrógeno total y ^{15}N , en suelos de 4, 60 y 90 años de cultivo, las muestras se tomaron en los horizontes A y B. El ^{15}N se determinó con un espectómetro de masas, los resultados demostraron que los suelos de La Laguna han perdido 0, 34 y 51 % del N original después de 4, 60 y 90 años de cultivo respectivamente.

Vázquez, *et al.* (1988) evaluaron el efecto de cuatro estiércoles, azolla, fertilizantes químicos y testigo absoluto en pasto vallico y la eficiencia nutricional de algunos estiércoles disponibles en el llamado Bajío Guanajuatense. El trabajo se desarrolló en invernadero empleando técnicas isotópicas con ^{15}N , la determinación del nitrógeno se hizo con un estándar marcado isotópicamente con $(^{15}NH_4)_2SO_4$ con 1% de exceso atómico.

Encontraron diferencias significativas en la tasas de mineralización de los materiales, la gallinaza y azolla fueron rápidamente mineralizados en el primer corte a los 30 días después de la siembra al igual que con el sulfato de amonio, el estiércol de ganado vacuno presentó la más baja tasa de mineralización en el tercer corte.

2.8. Espectrómetro de Masas.

El espectrómetro de masa (Fig. 3 del Apéndice) es un instrumento que se utiliza para calcular las masas de las partículas atómicas. Consta de cinco principios básicos los cuales son:

1. Sistema para la introducción del gas de nitrógeno.
2. Fuente de ionización donde el nitrógeno molecular es bombardeado con electrones.
3. Campo magnético donde las moléculas cargadas son separadas.
4. Lugar del colector donde las moléculas descargan los currents y la abundancia del ^{14}N puede ser determinada.
5. Amplificador que registra las descargas (Currents).

2.8.1. Mecanismo.

Los datos referentes a las partículas forman los haces de los tubos de descarga. Las primeras mediciones fueron realizadas por Thomson (1897) citado por Peña, *et al.* (1993) indicaron que el electrodo negativo, emite electrones que son acelerados hacia la derecha, algunos pasan por el orificio practicado en el ánodo y dan un delgado haz que incide sobre la pantalla. Un imán produce la desviación del haz y la carga adecuada de las placas situadas por encima y por debajo de él, permitiendo que las desviaciones de las mismas contrasten con las debidas al imán, midiendo así, la intensidad en el campo magné-

tico y la diferencia del potencial que existe entre la placas.

2.8.2. Determinación de la carga-masa.

Los iones positivos se originan al bombardear moléculas neutras con electrones en las proximidades del filamento; a éstos iones, acelerados a partir de la primera rendija se curvan, siguiendo trayectorias circulares por el flujo de un campo magnético (Figura 3 del Apéndice), las líneas de puntos indican las diferentes trayectorias seguidas por partículas de distinta relación carga-masa, lo que indica que no todos los átomos de un mismo elemento poseen la misma masa.

Estos átomos de un mismo elemento que difieren entre sí por su masa se denominan isótopos, de los cuales se conocen dos ó más de cada elemento.

2.9. Conceptos para la Cuantificación del ^{15}N .

2.9.1. El concepto del valor A.

El valor A es el contenido de nutrientes en el suelo en términos de unidades disponibles de fertilizante nitrogenado aplicado; está basado en el concepto de que cuando una planta es comparada con dos o más fuentes, ésta absorberá de cada fuente una directa proporción de las cantidades respectivas

disponibles para el cultivo. Así, cuando a una planta se le aplica fertilizante, las raíces pueden absorber los nutrientes en cuestión de dos formas: a) de los nutrientes nativos del suelo, b) de la cantidad aplicada de fertilizante.

En este caso, sólo es necesario determinar las cantidades absorbidas por cada una de las fuentes para determinar el valor de A del suelo. Así, el valor de A es una medición independiente de la producción y puede ser usada para estimar la cantidad de nutrientes del suelo disponibles para la planta.

2.10. Fenología del Cultivo de Trigo.

La mayoría de las variedades de ciclo intermedio presentan su ciclo vegetativo más o menos definido entre los 130 y 140 días después de la siembra. Eastham, *et al.* (1984), trabajando con tratamientos de humedad, indicaron que el período de elongación a embuche se dio entre 70 y 82 días después de la siembra, la floración entre los 85 y 95 días, el crecimiento y llenado de grano entre los 95 y 115 días después de la siembra.

Además, mencionan que los trigos de ciclo intermedio presentan en términos generales su ciclo fenológico de la forma siguiente:

Etapa Fenológica	Período (Días)	Días Acumulados
1- Siembra-emergencia	10	10
2- Emergencia-anacollamiento	12	22
3- Anacollamiento-dif. floral	20	42
4- Dif. floral-elongación	20	62
5- Elongación-embuche	15	87
6- Embuche-floración	8	95
7- Floración-grano lechoso	15	110
8- Grano lechoso-grano mazos	15	115
9- Grano mazo-madurez	23	138

2.11. Componentes del Rendimiento en Trigo.

Adams y Grafius (1971) indicaron que la producción de grano en los cereales de grano pequeño está demostrada por tres principales componentes, los cuales son: a) el número de espigas por unidad de superficie, b) el número de granos por espiga y c) el peso del grano. Así, el mejoramiento genético de éstos, de manera asilada, no necesariamente incrementa el rendimiento, debido a las relaciones entre ellos durante su desarrollo.

Grafius, et al. (1976) señalaron que la teoría establece, que para aumentar el rendimiento de grano, uno o más de sus componentes tienen que ser incrementados y que cuando uno de los componentes es variado, sin incrementar el rendimiento, ocurre una compensación en al menos un componente del rendimiento. Adams (1967) indicó que al incrementar el número de espigas por m^2 , se podrá encontrar, ya sea una reducción en el número de granos por espiga, en el peso del grano o en ambos, siendo lo contrario si el número de espigas es menor. Esto

debido a que el rendimiento de grano, se da por una integración de componentes.

Sebillotte (1980) indicó que la producción se considera como el resultado de dos sucesivas faces en trigo, una determina el número de granos y la otra el peso del grano, las cuales dependen de la duración de la síntesis de almidón, del agua, del suelo y de la temperatura y que el peso de grano, está determinado por la competencia entre los tallos con espigas, que por el número de granos por espiga y además, el número de granos por unidad de superficie está relacionado con la cantidad de aparato vegetal o peso seco. Ibarra (1985) y Adane (1986) observaron un comportamiento diferente en las características agronómicas del trigo sembrado con diferentes métodos y densidades de siembra, señalando que las bajas densidades de siembra incrementaron el número de tallos por planta de 3 a 4, la longitud de espiga de 7.4 a 8.0 cm y el peso de 100 semillas de 3.4 a 3.7 g.

III. MATERIALES Y METODOS.

3.1. Ubicación del Experimento.

El presente experimento se desarrolló en el Campo Agrícola Experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León, localizado en el km 17.5 de la carretera Zuazua-Marín. Se encuentra ubicado a $25^{\circ} 25'$ de latitud norte y $100^{\circ} 03'$ de longitud oeste, con una altitud de 367 msnm.

3.1.1. Condiciones climáticas.

El clima de esta región según la clasificación de Koeppen, modificada por García (1964) es un $BS_1(h')hx'(e')$, en donde:

BS_1 - Corresponde a un clima seco-árido, siendo el más seco de los BS.

$(h')h$ - Corresponde a temperaturas anuales altas de 22°C y abajo de los 8°C en el mes más frío.

x' - Corresponde a un régimen de lluvias que ocurren entre verano e invierno mayores del 18%.

(e') - Corresponde a un clima extremoso con temperaturas medias anuales mayores de 14°C .

De 1976 a 1986 la precipitación promedio anual fue de 540 mm. En el Cuadro 2 se presentan los datos climáticos promedios que han ocurrido en el área de estudio de Noviembre a Marzo de 1979 a 1992.

Cuadro 2. Datos climáticos promedio ocurridos de Nov. a Mar. de 1979 a 1992 en el área de estudio.

MES	TEMP.MEDIA	PREC.TOTAL	EVAP.
NOV	17.95	9.92	105.06
DIC	14.35	19.36	80.69
ENE	13.26	18.16	70.68
FEB	15.44	13.06	105.89
MAR	19.93	15.48	167.38
TOTAL	80.83	75.98	531.69

Los datos climáticos recabados durante el desarrollo de este experimento, referentes a las mismas variables anteriores, se presentan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Datos climáticos ocurridos en el experimento de Nov. a Mar. de 1993-1994.

MES	TEMP.MEDIA (°C)	PREC.TOTAL (mm)	EVAP. (mm)
NOV	23.50	25.50	74.48
DIC	14.20	24.35	73.24
ENE	13.50	87.00	85.67
FEB	15.50	24.70	81.54
MAR	20.50	32.42	167.61
TOTAL	87.20	193.97	482.54

3.2. Establecimiento del Experimento.

3.2.1. Preparación del suelo y siembra.

El suelo permaneció en descanso por varios ciclos. Se realizaron las labores de labranza primaria como: barbecho, rastra, cruza, bordeo y contrabordeo.

La siembra del experimento se realizó el 18 de Noviembre de 1993 en seco, depositando la semilla en el fondo del surco. Se utilizó una sembradora experimental espaciada a 80 cm entre surcos. La siembra se efectuó a doble hilera y a chorrillo, el espaciamiento entre hileras fue de 17.5 cm y a 5 cm de profundidad.

3.2.2. Variedad.

La semilla de trigo que se utilizó en la siembra fue la variedad Esmeralda M-86 de ciclo intermedio, la cual presentó 75 días a floración y 105 a 110 días a madurez fisiológica. Para el establecimiento del experimento se utilizó la densidad de siembra de 70 kg/ha de semilla.

3.3. Riegos.

Después de la siembra, se aplicó un riego de asiento el día 23 de Nov. de 1993 para favorecer la germinación de las semillas de trigo. El primer riego de auxilio se aplicó el día 8 de Dic. de 1993, el cual favoreció la nacencia de las plantas de trigo. El segundo riego de auxilio se aplicó el día 4 de Ene. de 1994, cuando el trigo se encontraba en la etapa de anacollamiento a diferenciación floral. El tercer riego de auxilio se aplicó el día 31 de Ene. de 1994, cuando el trigo estaba en la etapa de diferenciación floral.

3.4. Fertilización.

3.4.1. Dosis y fuentes.

Se utilizó una dosis de fertilización de 120-70-00, que equivale a 120 kg de nitrógeno y 70 kg de fósforo por hectárea, respectivamente. La fuente de nitrógeno utilizada fue el sulfato de amonio marcado ($^{15}\text{NH}_4$)₂SO₄ y sin marcar con 20.5% N, y como fuente de fósforo se usó al Superfosfato de calcio triple con 46% de P₂O₅.

3.4.2. Método de aplicación.

En el momento de la siembra se aplicó todo el fósforo; el nitrógeno marcado (^{15}N) y sin marcar (N) se aplicó en las cantidades correspondientes a cada uno de los tratamientos y en base a cada una de las tres épocas fenológicas del cultivo de trigo. La aplicación fue hecha dentro de la parcela útil, al centro de los dos surcos centrales de cada tratamiento.

El nitrógeno sin marcar se aplicó en el resto de la parcela. La aplicación se realizó a mano, rajando el centro del surco, depositando el fertilizante a chorrillo para después taparlo.

3.5. Criterio Utilizado Para la Aplicación del ^{15}N .

3.5.1. Etapas fenológicas y aplicaciones.

Para fines prácticos, el ciclo del cultivo se dividió en tres etapas fenológicas que fueron:

- 1a. Siembra a emergencia (S-E).
- 2a. Anacollamiento a diferenciación floral (A-DF).
- 3a. Diferenciación floral a elongación (DF-E).

Para ésto se siguieron los criterios más comunes del agricultor, al fraccionar el fertilizante ya sea $1/2$ ó $1/3$ del Nitrógeno en la siembra y el resto al primero y/o segundo riego de auxilio.

La primera aplicación del ^{15}N y del N, se inició el día 24 de Nov. de 1993 en la etapa de siembra a emergencia (S.-E.), a los 10 días después de la siembra.

La segunda aplicación se inició el día 4 de Ene. de 1994 en la etapa de anacollamiento a diferenciación floral (A.-D.F) a los 42 días después de la siembra.

La tercera aplicación, se inició el 31 de Ene. de 1994 en la etapa de diferenciación floral a elongación (D.F.-E.) a los 62 días después de la siembra.

3.6. Tratamientos Evaluados.

3.6.1. Tratamientos.

Se propusieron seis tratamientos con cuatro repeticiones cada uno. Los tratamientos correspondientes a cada una de las tres etapas fenológicas evaluadas y sus dosis de fertilización se presentan en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Tratamientos, etapas fenológicas y dosis de N marcado ^{15}N y sin marcar, evaluados en trigo en el ciclo O-I 1993-94 en el C.A.E.-FAUANL.

TRATAMIENTO	ETAPAS FENOLOGICAS		DF-E
	S-E	A-DF	
1	60*	0	60
2	60	0	60*
3	40*	40	40
4	40	40*	40
5	40	40	40*
6	0	0	0

* Representa el $(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ marcado.

3.7. Superficie Experimental.

El área de la parcela útil correspondió a los dos surcos centrales de 1.50 m de longitud y de 0.80 m entre surcos, al centro de cada una de las parcelas, dando una superficie total de 2.40 m². Cada unidad experimental fue de seis surcos de 5 m de longitud por 0.80 m entre surcos, dando una superficie total de 24 m². Se evaluaron seis tratamientos de

24 m² cada uno por cuatro repeticiones, dando una superficie total de 576 m².

3.8. Cálculos del Fertilizante.

3.8.1. Nitrógeno.

Las cantidades aplicadas de Sulfato de Amonio marcado y sin marcar (¹⁵N y N) con 20.5 % N, se determinaron en base a lo siguiente: El área de la parcela útil fue de 2.40 m² y la dosis de nitrógeno recomendada fue de 120 kg/ha, la cual se fraccionó tomando los siguientes criterios: 1/2 + 1/2 aplicados en la primera y tercera etapa fenológica del trigo, lo que equivale a 60 + 60 kg/ha respectivamente, 1/3 + 1/3 + 1/3 aplicados en cada una de las tres etapas fenológicas, lo que equivale a 40 + 40 + 40 kg/ha de N respectivamente.

3.8.2. Cálculos para la parcela útil.

Para 1/2 de N = 60 kg/.205 P₂O₅ = 292.68 kg/ha
 292.68 kg/ha x 2.40 m²/10,000 m² = 70.25 g que se aplicaron dentro de la parcela útil con sulfato de amonio marcado y sin marcar.

Para 1/3 de N = 40 kg/.205 = 195.12 kg/ha; 195.12 kg/ha x 2.40 m²/10,000 m² = 46.83 g, que se aplicaron dentro de la parcela útil con sulfato de amonio marcado y sin marcar.

3.8.3. Cálculos para el resto de la parcela.

Para 1/2 de N = $60/.205 \text{ P}_2\text{O}_5 = 292.68 \text{ kg/ha}$

$292.68 \times 21.6 \text{ m}^2/10,000 \text{ m}^2 = 632.19 \text{ g}$, que se aplicaron en el resto de la parcela con sulfato de amonio.

Para 1/3 de N = $40/.205 \text{ P}_2\text{O}_5 = 195.12 \text{ kg/ha}$

$195.12 \times 21.6 \text{ m}^2 /10,000 \text{ m}^2 = 421.46 \text{ Kg/ha}$, que se aplicaron en el resto de la parcela con sulfato de amonio.

Las cantidades correspondientes aplicadas dentro de la parcela útil se presentan en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Granos de Sulfato de Amonio marcado y sin marcar aplicados por tratamiento en la parcela útil.

TRATAMIENTO	ETAPAS FENOLOGICAS		
	S-E	A-DF	DF-E
1	70.25*	0.0	70.25
2	70.25	0.0	70.25*
3	46.83*	46.83	46.83
4	46.83	46.83*	46.83
5	46.83	46.83	46.83*
6	0.0	0.0	0.0

S-E = Siembra a emergencia.

A-DF = Amacollamiento a diferenciación floral.

DF-E = Diferenciación floral a elongación.

* = Representa el Sulfato de Amonio marcado (^{15}N)

En general, se requirió de 1,123.96 g de $(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, el ^{15}N estaba al 10% de abundancia atómica (AA). Se usaron 112.39 g de ^{15}N al 10% y se mezclaron con 1,011.57 g de N normal de sulfato de amonio, para así tener ^{15}N al 1% de AA y se

dejaron 5 g como punto de referencia para el análisis posterior.

3.8.4. Fósforo.

La dosis de fósforo recomendada para el cultivo de trigo en esta región es 70 kg/ha. Como fuente de fósforo se utilizó el Superfosfato Triple (PQ_3) con 46% de P.

3.8.5. Cálculos para el fósforo.

$$70 \text{ kg}/.46 PQ_3 = 152.18 \text{ kg/ha}$$

$152.18 \text{ kg/ha} \times 2.40 \text{ m}^2/10,000 \text{ m}^2 = 36.5 \text{ g}$ que se aplicaron dentro de la parcela útil.

$152.18 \times 21.6 \text{ m}^2/10,000 \text{ m}^2 = 328.70 \text{ g}$ que se aplicaron en el resto de la parcela con superfosfato triple.

3.9. Diseño Experimental.

3.9.1. Diseño y modelo estadístico.

Para este trabajo de investigación se propuso un diseño de bloques al azar con seis tratamientos y cuatro repeticiones.

El modelo del diseño utilizado para evaluar la variación y características que definen la capacidad de rendimiento y sus componentes fue el siguiente:

$$Y_{ij} = M + B_i + B_j + E_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Efecto del i -ésimo tratamiento en el j -ésimo bloque.

M = Media general.

B_i = Efecto del i -ésimo tratamiento.

B_j = Efecto del j -ésimo bloque.

E_{ij} = Error experimental asociado al i -ésimo tratamiento del j -ésimo bloque.

Así mismo, las hipótesis estadísticas planteadas partieron de lo siguiente:

$$\begin{array}{lll} H_0: T_1 = T_2 = \dots = T_6 & i = 1, 2, \dots, 6 & i = t \\ H_a: T_1 \neq T_2 \neq \dots \neq T_6 & j = 1, 2, \dots, 4 & j = r \end{array}$$

Con el objetivo de identificar las variables de planta y suelo que presentaron una relación significativa, con la variable dependiente se realizaron una serie de análisis de regresión, utilizando para esto, el método de (Stepwise) el cual dentro de su proceso selecciona primero, la variable que presenta el mayor coeficiente de determinación (r^2) y así, sucesivamente con el resto de las variables, incluyendo en el modelo solamente las variables que presenten una relación, con la variable dependiente.

3.10. Cosecha.

La cosecha se realizó el día 12 de Abr. de 1994, dentro de la parcela útil se eliminaron 25 cm de ambas cabeceras, con el objeto de evitar el efecto de orilla y contaminación cosechando 1 m² en cada uno de los tratamientos.

3.11. Croquis del Experimento.

El croquis del experimento que representa los tratamientos que fueron establecidos en el campo, en el período de invierno de 1993-1994 en el cultivo de trigo, así como su distribución se presenta en la Figura 1.

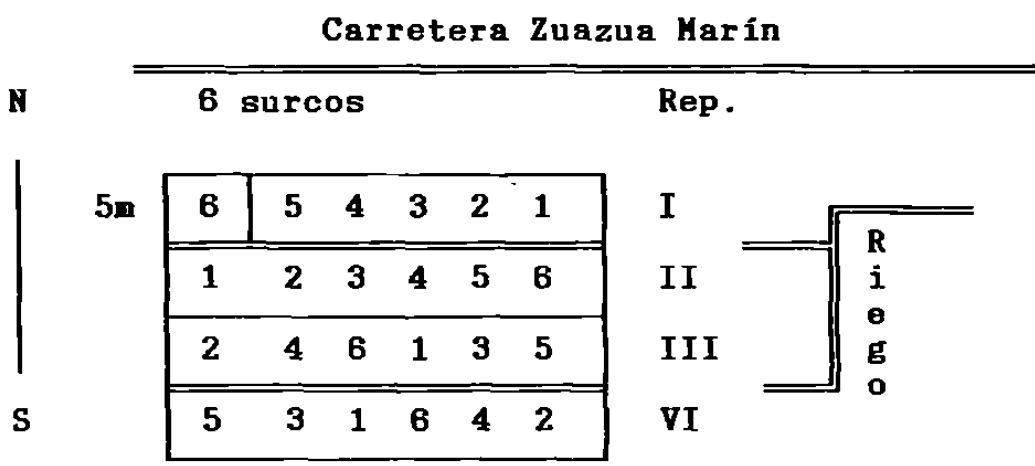


Figura 1. Croquis del experimento, que representa la distribución de los tratamientos en el campo.

3.12. Método Empleado Para Cuantificar el ¹⁵N.

Para determinar el nitrógeno marcado ¹⁵N, se emplearon

técnicas isotópicas de acuerdo a la metodología propuesta por el Organismo Internacional de Energía Atómica.

3.12.1. Cuantificación del ^{15}N y del valor A del suelo.

La cuantificación del ^{15}N , en la planta derivado de la aplicación de 120 kg de N en forma de sulfato de amonio $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ con 1% de exceso atómico, se determinará para cada una de las muestras con el Espectómetro de Masas. Para esto, se realizarán una serie de cálculos utilizando diferentes ecuaciones para así determinar el valor A.

Esta metodología asume que para las muestras de planta, la fracción de nitrógeno derivado de la fuente del fertilizante ($f\text{NdfF}$) más la fracción de nitrógeno derivado de la fuente del suelo ($f\text{NdfS}$) es igual a uno.

$$f\text{NdfF} + f\text{NdfS} = 1$$

3.12.2. Nitrógeno total en la planta (NTP).

El nitrógeno total en la planta se determina multiplicando el peso de materia seca (M.S.) por el porcentaje de nitrógeno presente en la materia seca (% N en M.S.).

Así, $\text{NTP} = \text{M.S.} \times \% \text{N en M.S.} = \text{kg/ha.}$

3.12.3. La fracción de N derivado del fertilizante (fNdF).

Este valor se determina dividiendo el % de exceso atómico de ^{15}N en las muestras de planta, entre el % de N del medio, el cual equivale a 1 (0.5 del suelo y 0.5 del fertilizante en la planta, respectivamente). Así,

$$\text{fNdF} = \frac{\% \text{ de } ^{15}\text{N} \text{ con exceso en la planta}}{\% \text{ de N en el medio}} \times 100 = \%$$

3.12.4. Rendimiento de N derivado del fertilizante (RNdF)

Este se determina multiplicando el (NTP) x (fNdF).

Así,

$$\text{RNdF} = \text{NTP} \times \text{fNdF} = \text{kg/ha.}$$

3.12.5. Rendimiento de N derivado del suelo (RNdS).

Este se determina restando al (NTP) el (RNdF).

Así,

$$\text{RNdS} = \text{NTP} - \text{RNdF} = \text{kg/ha.}$$

3.12.6. El valor de A del suelo (A).

El valor A del suelo es igual al valor A del fertilizante (kg de N aplicados) que multiplica al RNdS sobre el RNdF. Así,

$$\text{VALOR "A" DEL SUELO} = \text{VALOR "A" DEL FERTILIZANTE} \times \frac{\text{RNdS}}{\text{RNdF}}$$

3.13. Absorción de ^{15}N Derivado del Fertilizante y Suelo.

3.13.1. El % de exceso atómico de ^{15}N en el suelo.

El % de exceso atómico del ^{15}N en el suelo ($\%EA^{15}\text{N S}$) se determina restando el % de la abundancia atómica inicial ($\%AAI$) que en este caso es del 1% de exceso atómico menos el % de abundancia atómica natural ($\%AAN$) que equivale a $1/272 \times 100 = 0.37\%$

Así,

$$\begin{aligned}\%EA^{15}\text{N S} &= \%AAI - \%AAN \\ &= 1 - 0.37 = 0.63\%\end{aligned}$$

3.13.2. El % exceso atómico de ^{15}N en la planta ($\%EA^{15}\text{N P}$).

Este se determina restando el % de abundancia atómica en la planta ($\%AAP$), cuantificado por el espectómetro de masas menos el % de abundancia atómica natural ($\%AAN$).

Así,

$$\%EA^{15}\text{N P} = \%AAP - \%AAN$$

3.14. El % de Eficiencia de la Fertilización (EF)

Este se determina utilizando las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned}\text{NTP} &= \text{M.S.} \times \%N \text{ en la planta} = \text{kg/ha} \\ \text{RNdF} &= \text{NTP} \times \text{fNdF} = \text{kg/ha} \\ \text{EF} &= \text{RNdF/kg de N aplicado} \times 100 = \% \text{ Eficiencia}\end{aligned}$$

Las muestras correspondientes de planta (grano, hoja y raíz), así como las de suelo (tomadas en tres profundidades) por tratamiento, fueron enviadas con oportunidad al CINVESTAV de Irapuato, Gto. para la determinación y cuantificación del ^{15}N .

Lo anterior no se pudo lograr debido a que el equipo (Espectómetro de Masas) con el cual se contaba, sufrió serias averías en su mecanismo, motivo por el cual los resultados de las muestras no se presentarán en esta investigación.

3.15. Variables a Medir.

3.15.1. Rendimiento del grano.

Esta variable se tomó al pesar el grano de la parcela útil cosechada en cada uno de los tratamientos.

3.15.2. Número de plantas con ahijamiento.

Esta variable se obtuvo al contar el número de tallos por planta en el momento de la cosecha de la parcela útil.

3.15.3. Número de tallos.

Se contó el número de tallos cosechados por tratamiento de la parcela útil.

3.15.4. Número de espigas.

Esta variable se tomó al realizar un conteo del número de espigas cosechadas dentro de la parcela útil en cada uno de los tratamientos.

3.15.5. Número de pares de glumas por espiga.

Se tomaron 10 espigas al azar dentro de la parcela útil, se tomó el número de pares de glumas por espigas.

3.15.6. Altura de la planta.

Las mediciones se realizaron dentro de la parcela útil, tomando 10 plantas por tratamiento y midiendo desde la base de las plantas hasta la base de las espigas.

3.15.7. Peso de hoja.

Se tomó el peso de todas las hojas de las plantas cosechadas en la parcela útil, en cada uno de los tratamientos.

3.15.8. Peso de tallo.

Se tomó el peso de tallo de todas las plantas cosechadas en la parcela útil, en cada uno de los tratamientos.

3.15.9. Peso de paja.

Se tomó el peso de paja de las plantas cosechadas en la parcela útil, en cada uno de los tratamientos.

3.15.10. Peso de espiga.

Se tomó el peso de las espigas cosechadas en la parcela útil en cada uno de los tratamientos.

3.15.11. Peso de 100 semillas.

Esta variable se tomó al realizar un conteo de 100 semillas tomadas al azar de cada uno de los tratamientos cosechados.

3.15.12. Volumen de 100 semillas.

Esta variable se tomó de 100 semillas, para ésto, se utilizó una probeta, a la cual se le agregó 10 ml de agua destilada, dentro de la cual se le añadió las 100 semillas de trigo, midiendo así, el volumen de agua que fue desplazada en cada uno de los tratamientos.

3.15.13. Relación peso paja-grano.

Esta variable se tomó del peso del grano con respecto al peso de la paja, cosechada en cada tratamiento.

3.15.14. Muestras de planta.

Se tomaron 10 gramos de muestra molida para raíz, hojas y grano de cada uno de los tratamientos cosechados, mismas que fueron embolsadas y etiquetadas. Las muestras fueron enviadas al Laboratorio de Energía Atómica del CINVESTAV de Irapuato, Gto. con el objeto de determinar la presencia y cuantificación del ^{15}N por medio de un Espectómetro de masas.

3.15.15. Muestras de suelo.

El primer muestreo se realizó antes de la aplicación del fertilizante; se tomó una muestra compuesta, para 0-30, 30-60 y 60-90 cm de profundidad del suelo en varios puntos dentro del lote. Esto se hizo con el objeto de realizar un análisis físico-químico para conocer su textura y fertilidad inicial.

El segundo muestreo se efectuó después de la madurez fisiológica del trigo y dentro de cada una de las parcelas útiles, tomando tres muestras de suelo a 0-30, 30-60 y 60-90 cm de profundidad, las cuales fueron tamizadas con maya de 2 mm. Así mismo, se enviaron 5 g por muestra al Laboratorio de

Energía Atómica Unidad Irapuato, Gto. para la determinación y cuantificación del ^{15}N , y con el resto de las muestras de suelo, se utilizaron para realizar un análisis físico-químico del suelo.

La lista de variables utilizadas para evaluar el efecto de la aplicación fraccionada del sulfato de amonio fueron:

Peso de grano (Y).

Número de plantas con ahijamiento (NPCA).

Número de tallos (NT).

Número de espigas (NE).

Número de pares de glumas por espiga (NG).

Altura de la planta (A).

Peso de hoja (PH).

Peso de tallo (PT).

Peso de paja (PP).

Peso de espiga (PE).

Peso de 100 semillas (PS).

Volumen de 100 semillas (VS).

Relación peso paja-grano (RPPG).

3.16. Textura del Suelo.

La textura del suelo se define como la proporción en porcentaje de las partículas individuales que componen el suelo, esto es de arena, limo, y arcilla, y se determina

utilizando el triángulo de texturas (Fig. 4 del Apéndice).

Los resultados de los tres estratos por tratamiento se presentan (Cuadro 24 del Apéndice), los cuales al clasificar cada uno, se determinó que corresponden éstos a un suelo arcilloso, con valores que fluctuaron de 50 a 78 % de arcilla considerando que a éstas características del suelo, no se les puede atribuir su cambio por efecto de las épocas de aplicación del sulfato de amonio. Sin embargo, su conocimiento, permite pronosticar el intercambio iónico de los nutrientes minerales del suelo que serán absorbidos por las plantas.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

Para fines prácticos los resultados obtenidos se dividieron en variables fisiológicas y del suelo. Todos los datos obtenidos de cada variable de planta y suelo, fueron analizados con el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System).

Las variables evaluadas se sometieron a un análisis de varianza con el objetivo de identificar el efecto de cada una entre los tratamientos evaluados, a un análisis de comparación de medias utilizando el método de Duncan con el propósito de identificar él o los tratamientos que presenten valores iguales estadísticamente, a un análisis de correlación para evaluar el grado de asociación de las variables y a un análisis de regresión utilizado con el objetivo de identificar el mejor modelo de regresión que explique en una mayor proporción, los rendimientos medios de grano obtenidos en el cultivo de trigo.

4.1. Efecto de las Epocas de Aplicación del Sulfato de Amonio, sobre las Variables Fisiológicas Evaluadas en Trigo.

Los resultados de los análisis de varianza, obtenidos para evaluar a los seis tratamientos por variable, así como los valores de los cuadrados medios (CM) de tratamientos, los valores de la probabilidad ($\alpha = 0.05\%$), y el coeficiente de variación (CV) se presentan en el Cuadro 6.

Cuadro 8. Resumen de 13 análisis de varianza en variables de trigo, en el ciclo 0-I 1993-94, (FAUANL).

Variable	CM	Pr > F	C.V.
PESO DE GRANO (Y)	331506.66	0.04 *	7.23
No. PLANTAS CON AHIJAMIENTO(NPCA)	49430.00	0.04 *	15.25
No. DE TALLOS (NT)	448116.66	0.01 *	8.70
No. DE ESPIGAS (NE)	358916.66	0.09 ns	10.96
No. DE PARES DE GLUMAS (NG)	9.69	0.00 **	3.64
ALTURA DE PLANTA (A)	8.14	0.67 ns	5.10
PESO DE HOJA (PH)	211287.50	0.13 ns	12.92
PESO DE TALLO (PT)	473216.66	0.03 *	6.56
PESO DE PAJA (PP)	1625426.67	0.18 ns	9.26
PESO DE ESPIGA (PE)	1086564.16	0.03 *	8.70
PESO DE 100 SEMILLAS (PS)	0.24	0.05 *	6.18
VOLUMEN DE 100 SEMILLAS (VS)	0.54	0.14 ns	3.75
RELACION PESO PAJA GRANO (RPPG)	40.94	0.00 **	5.75

Los resultados de la comparación de medias obtenidos para cada variable fisiológica, se presentan en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Comparación de medias para 13 variables de trigo, evaluadas en el ciclo 0-I 1993-94, (FAUANL).

TRAT No.	Y kg/ha	NPCA Miles/ha	NT Mill/ha	NE Mill/ha	NG /espiga
1	3567 a	833 ab	4085 a	3747	15.55 a
2	3660 a	812 ab	3647 a	3612	15.85 a
3	3865 a	915 a	3737 a	3607	15.40 a
4	3827 a	997 a	3980 a	3915	15.10 a
5	3757 a	857 ab	3657 a	3512	15.10 a
6	3102 b	665 b	3127 b	3030	11.65 b
T RAT No.	A cm.	PH kg/ha	PT kg/ha	PP kg/ha	
1	69	2637	6022 a	10770	
2	72	2392	6182 a	10092	
3	70	2755	5837 a	10917	
4	72	2605	5870 a	11070	
5	70	2595	5710 ab	10440	
6	69	2112	5182 b	9355	

Continúa. .

Cuadro 7. Continuación.

TRAT No.	PE kg/ha	PS g	VS ml.	RPPG %
1	5927 ab	4.82 a	4.25	34.87 ab
2	5177 b	4.60 ab	3.50	36.37 a
3	6190 a	4.85 a	4.50	35.34 a
4	6422 a	4.70 a	4.00	35.19 ab
5	5892 ab	4.87 a	3.75	34.87 ab
6	5162 b	4.22 b	3.75	31.98 b

4.1.1. Peso de grano (Y).

El análisis de varianza para evaluar el peso de grano (Cuadro 6) mostró una diferencia significativa entre tratamientos, designada por el valor de ($P = 0.099$), presentando además, un coeficiente de variación (CV) de 7.23%. Los resultados de la comparación de medias para esta variable se presentan en el Cuadro 7. Se observa que los tratamientos designados por (a) presentaron valores medios estadísticamente iguales entre sí, no encontrando diferencias en cuanto a las formas de aplicación del sulfato de amonio, ya que los tratamientos (1 y 2) y (3,4 y 5) se les aplicó el fertilizante fraccionado en dos y tres diferente épocas fenológicas; sin embargo, al comparar el testigo (tratamiento 6) con el resto de los tratamientos, se observa un incremento en el peso de grano debido a la aplicación del fertilizante.

Lo anterior, demuestra que la aplicación de este fertilizante debe realizarse, además de que el N participa en procesos fisiológicos y metabólicos en las plantas y en reacciones

químicas en el suelo. En este caso, los tratamientos 3 y 4 presentaron los rendimientos más altos, los cuales corresponden a la aplicación fraccionada del nitrógeno en tres épocas fenológicas del trigo, que son: de siembra a emergencia (1/3), de anacollamiento a diferenciación floral (1/3) y de diferenciación floral a elongación (1/3) comparados con los tratamientos 1 y 2, a los cuales se les aplicó 1/2 y 1/2 del nitrógeno en la 1ª y 3ª época, observándose una diferencia de 200 kg/ha. Ante esta situación es conveniente incluir en este tipo de trabajos, un análisis económico para determinar la mejor relación beneficio-costos para cada tratamiento.

Dentro de la misma área de estudio Mora (1982) y Acosta (1989) evaluaron la aplicación de nitrato de amonio y urea fraccionada en diferentes épocas en maíz, no encontrando respuesta significativa entre tratamientos, argumentando en los dos casos, que el nitrógeno aplicado se volatilizó debido a las altas temperaturas y al origen calcáreo de estos suelos cuyo pH es alcalino.

Lo anterior, no concuerda con los resultados obtenidos por esta investigación, ya que a pesar de no haber encontrado respuesta en el rendimiento, con respecto a las épocas de aplicación del nitrógeno sí se encontró significancia estadística entre tratamientos, ya que el tratamiento 6 (testigo sin fertilizar) presentó los más bajos rendimientos medios.

Así, Ramírez y Díaz (1991) reportaron en el INIFAP-Gto. diferencias significativas entre fuentes y épocas de aplicación del nitrógeno en trigo, indicando que la mejor fuente fue el sulfato de amonio aplicado en la siembra y en el primer riego de auxilio.

El análisis de correlación simple para rendimiento de grano determinó que las variables fisiológicas que presentaron una asociación significativa y positiva con un coeficiente (r) mayor o igual a 40% fueron:

Número de espigas (NE) 61.08%, volumen de 100 semillas (VS) 60.94%, peso de espiga (PE) 57.45%, peso de hoja (PH) 56.21%, número de glumas (NG) 56.21%, peso de planta (PP) 53.05%, plantas con ahijamiento (NPCA) 49.66% y peso de tallo (PT) 48.05%.

Considerando en este caso, que el rendimiento medio presentó una asociación positiva con ocho variables, de las cuales el número de espigas, el número de granos y el rendimiento son los principales componentes que demuestran la producción en trigo, como lo indicaron Adams y Grafius (1971). Así mismo, Adams (1967) y Grafius, *et al.* (1976) mencionan que al aumentar el rendimiento de grano, uno o más de sus componentes tienen que ser incrementados. De esta forma, al incrementar el número de espigas por m^2 se podrá encontrar una reducción en el número de granos por espiga, en el peso

del grano o en ambos, siendo lo contrario si el número de espigas es menor. Esto debido a que el rendimiento de grano se da por una integración de componentes.

Este mismo efecto se demuestra al comparar el número de espigas y el rendimiento de grano (Cuadro 7) observándose que los tratamientos 3 y 5, con un menor número de espigas, obtuvieron mayores rendimientos de grano, ocurriendo lo contrario con los tratamientos 1 y 4, que presentaron un mayor número de espigas y rendimientos medios menores.

Sin embargo, Sebillotte (1980) dice que la producción es el resultado de dos fases, una determina el número de granos y la otra el peso del grano, los cuales dependen de la duración de la síntesis de almidón, del agua, del suelo y de la temperatura y además, que el peso del grano está determinado más bien por la competencia entre tallos con espiga, que por el número de granos por espiga y éste a su vez por el aparato vegetal o peso seco.

Se observa además (Cuadro 7) que los tratamientos 3 y 4 presentaron una mayor tendencia en la obtención del mayor rendimiento de grano, el mayor peso de espigas, el mayor peso de hojas, el mayor peso de paja y el mayor número de plantas con ahijamiento.

Las variables fueron sometidas a un análisis de regre-

sión lineal múltiple y los resultados se presentan en el Cuadro 8. Se observa que existe una diferencia significativa para la regresión presentando un coeficiente de determinación (r^2) de 78.37%, el cual demuestra que el rendimiento medio de trigo se puede dar en este porcentaje siempre y cuando estén presentes las variables seleccionadas por el modelo en sus proporciones correspondientes y bajo las mismas condiciones de suelo, clima y manejo.

Cuadro 8. Análisis de regresión lineal múltiple para rendimiento de grano, evaluado en trigo, en el ciclo 0-I 1993-94, (CAE-FAUANL).

G.L.	S.C.	C.M.	FCal.	P>F	F.V.
REGRESION	4	2786382.2870	696595.5717	17.20	0.000
RESIDUAL	19	769151.0462	40481.6340		
TOTAL	23	3555533.3333			

$$r^2 = 78.37\%$$

El modelo seleccionado fue el siguiente:

$$Y = B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + B_3 X_3 + B_4 X_4$$

Donde:

$$Y = -572.2750 + 33.7915(NG) + .3937(NE) + 37.2975(RPPG) + .3994(PH)$$

Este modelo demuestra en parte lo propuesto por Adams (1967) y Grafius, *et al.* (1976) quienes indicaron que el rendimiento de grano (Y), está en función del número de espigas (NE) y número de granos, en este caso del número de pares de glumas/espiga (NG) que al multiplicarse por dos, se puede obtener el número de granos por espiga. Esto debido a que

dentro de cada gluma individual se encuentra un grano. Así, el rendimiento medio de trigo está en función de los valores medios obtenidos para el número de glumas/espiga (NG), del número de espigas (NE), de la relación peso paja-grano (RPPG) y el peso de la hoja (PH). En la (Figura 5 del Apéndice) se presenta el modelo de regresión seleccionado por el método de (Stepwise) en el cual se observan los valores promedios de estas variable variables por tratamiento, así como, el valor probable de Y (Línea de regresión) la cual fue trazada con el rendimiento medio menor y mayor y de manera independiente de los tratamientos. Así, con los valores medios de estas cuatro variables se puede predecir el valor de (Y) al substituir los valores medios de X_n en el modelo.

4.1.2. Número de plantas con ahijamiento (NPCA).

Los resultados del análisis de varianza para el número de plantas por hectárea con ahijamiento (Cuadro 6) mostró una diferencia significativa entre los tratamientos evaluados designado por la (P = 0.0485) presentando además un coeficiente de variación (CV) de 15.25%.

La comparación de medias para esta variable, se presenta en el (Cuadro 7), se observa que se formaron tres grupos de tratamientos, cuyos valores medios fueron estadísticamente iguales entre sí. Los tratamientos 4 y 3, designados por (a) presentaron los valores medios más altos, correspondiendo

éstos a la aplicación del sulfato de amonio fraccionado en tres aplicaciones (considerando las tres épocas fenológicas del trigo previamente determinadas) El 5, 1 y 2, designados por (ab), presentaron valores intermedios, no observando diferencias en cuanto a la forma de fraccionar el fertilizante. El 6, designado por (b) presentó el valor más bajo.

Por otra parte, se observa un considerable incremento en el número de plantas con ahijamiento, al comparar el tratamiento 6 (testigo) con el resto de los tratamientos en los cuales se aplicó el sulfato de amonio.

Así mismo, se observa que los tratamientos 3 y 4, además de obtener los valores medios más altos en cuanto a ésta variable, presentaron los rendimientos medios más altos y al comparar el tratamiento 6, se observa que a menor plantas con ahijamiento, menor rendimiento medio de grano, lo que demuestra que estas dos variables dependen una de la otra.

Estos resultados, no concuerdan con los encontrados por Fisher, (citado por Turner, 1979), quien indicó que al utilizar genotipos de baja capacidad de anacollamiento (que produzcan un solo tallo por planta) los rendimientos de grano se incrementan, ya que un crecimiento vegetativo abundante reduce el rendimiento por existir un desbalance entre las etapas vegetativa y reproductiva, agregando que un crecimiento inconsistente de hojas, en etapas tempranas incrementa drásticamente la transpiración.

Se demostró, que las más altas correlaciones de esta

variable, fueron de 54.71% con volumen de 100 semillas (VS), de 52.04% con la relación peso paja-grano (RPPG), de 49.66% con el rendimiento de grano (Y), de 43.32 con el peso de hoja (PH) y de 42.48% con el número de glumas por espiga (NG).

Así mismo, el análisis de regresión (Cuadro 12 del Apéndice) fue altamente significativo, presentando un coeficiente de determinación $r^2 = 62.31\%$, y el modelo de regresión seleccionado para esta variable fue el siguiente:

$$y = B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + B_3 X_3$$

Donde;

$$y = 1.6013 + 0.0883(VS) + 0.2616(RPPG) + 0.0205(Y)$$

Demostando en este caso, (Figura 6 del Apéndice) que el número de plantas con ahijamiento (NPCA = y) está en función del volumen de 100 semillas (VS), de la relación peso paja-grano (RPPG) y del rendimiento medio de trigo (Y), la línea recta se formó de manera independiente de los tratamientos, tomando el valor promedio mínimo y máximo obtenido de esta variable, observado de manera descriptiva los valores de las variables por tratamiento con las cuales se puede predecir el valor de (y).

4.1.3. Número de tallos por hectárea (NT).

El análisis de varianza (Cuadro 6) demostró una diferencia significativa entre tratamientos, designada por la $(P = 0.0125)$ presentando además un coeficiente de variación (CV) de 8.70%. Los resultados de la comparación de medias se presentan en el Cuadro 7, en donde los tratamientos 1,2,3,4 y 5, designados por (a) presentaron valores medios estadísticamente iguales entre sí, lo que demuestra en este caso, que la aplicación fraccionada del sulfato de amonio en dos y tres épocas fenológicas del trigo, no presentó diferencias significativas. Sin embargo, se observa un incremento en el número de plantas al comparar el tratamiento 6 (testigo) con el resto de los tratamientos evaluados.

Al comparar esta variable con el rendimiento de grano, se observa que dentro de (a) el más alto número de tallos por hectárea (tratamiento 1) presentó el rendimiento de grano más bajo; al respecto, Adams (1967) y Zavala (1994) mencionan que al incrementar el número de espigas o plantas, se encuentra una reducción en el rendimiento de grano o en el número de granos por espiga.

Así mismo, Mitchell (1970) indicó que al aumentar la población de plantas, el número de espigas por planta se ve afectado y esto se explica por una mayor competencia por agua, luz y nutrientes.

El análisis de correlación reportó que las más altas correlaciones para esta variable, fueron de 91.10 para el número de glumas por espiga (NG), de 69.47% para el peso de planta (PP), de 62.25% para el número de espigas (NE), de 60.94% para rendimiento de grano (Y), de 57.28% para el peso del tallo (PT), de 55.17% para el peso de espiga (PE) y de 46.25% para el volumen de semilla (VS).

El análisis de varianza para la variable número de tallos fue altamente significativa para la regresión (Cuadro 13 del Apéndice) presentando un $r^2 = 62.33\%$. El modelo seleccionado fue el siguiente:

$$y = B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + B_3 X_3$$

Donde;

$$y = -201.3273 + 13.9627(PP) + 1.1343(NE) + 0.2378(PT)$$

El modelo demostró (Figura 7 del Apéndice) que el número de tallos (y) está en función del peso de planta (PP), del número de espigas (NE) y del peso de tallo (PT), presentando de manera descriptiva los valores medios por tratamiento de las variables seleccionadas con los cuales se puede predecir el valor de (y), al substituir los mismos en el modelo.

La línea de regresión, se formó con los valores promedio mínimo y máximo obtenidos de esta variable.

4.1.4. Número de espigas (NE).

El análisis de varianza para determinar éste efecto (Cuadro 6) entre los tratamientos evaluados, demostró que no se encontró significancia estadística entre tratamientos, designado por la $(P = 0.0925)$ presentando además, un coeficiente de variación (CV) de 10.96%.

En el Cuadro 7 se presenta la comparación de medias para número de espigas por hectárea, se observa que los seis tratamientos evaluados presentaron valores medios estadísticamente iguales entre sí, no observándose efecto debido a la aplicación fraccionada del sulfato de amonio.

El tratamiento 4, presentó el mayor número de espigas/hectárea y un rendimiento medio de grano de 3827 kg/ha con una diferencia de 38 kg/ha menor que el tratamiento tres el cual presentó una tendencia en cuanto a el rendimiento de grano más alto.

Esta variable se considera como la componente más importante del rendimiento, junto con los caracteres número de granos por espiga y peso de grano, de acuerdo con Rouchschwalbe y Matthews, (citados por McNeal, *et al.*, 1974 y Poehlman 1981).

Las más altas correlaciones para el número de espigas por hectárea, fueron de 62.25% para el número de tallos (NT), de 61.08% para rendimiento de grano (Y), de 56.86% para el peso de planta (PP), de 51.25% para el número de glumas por espiga

(NG), de 48.16% para el peso de hoja (PH) y de 47.60% para el peso de espiga (PE).

El análisis de varianza para la variable número de espigas (Cuadro 14 del Apéndice) fue altamente significativa para la regresión, presentando un $r^2 = 62.33\%$. Así, el modelo seleccionado para esta variable fue el siguiente:

$$y = B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + B_3 X_3$$

Donde;

$$y = 18.1467 + 0.3151(NT) - 0.1910(NG) + 0.1633(PH)$$

Demostando que el número de espigas por hectárea (y) esta en función del número de tallos (NT), del número de glumas de manera negativa (NG) y del peso de hoja (PH), observando de manera descriptiva (Figura 8 del Apéndice) el modelo seleccionado y la línea recta de regresión, que se formó con los valores mínimo y máximo obtenido de esta variable y de manera independiente de los tratamientos. Al substituir los valores medios por tratamiento de las variables seleccionadas por el modelo, se puede predecir el valor de (y).

4.1.5. Número de pares de glumas por espiga (NG).

Los resultados del análisis de varianza para el número de pares de glumas por espiga, se presentan en el Cuadro 6. Se

observa una diferencia altamente significativa entre tratamientos, designada por la ($P = 0.0001$) presentando además, un coeficiente de variación (CV) de 3.64%. Así, la comparación de medias para esta variable (Cuadro 7) demostró que los tratamientos 2,1,3,4 y 5 designados por (a), presentaron valores medios estadísticamente iguales entre sí, lo que demuestra en este caso, que la aplicación del sulfato de amonio en dos y tres etapas fenológicas del trigo, no afectó el número de glumas por espiga. Sin embargo, al comparar el tratamiento 6 (testigo) con el resto de los tratamientos, se observa un incremento en el número de glumas/espiga, debido a la aplicación del fertilizante.

Las más altas correlaciones para el número de glumas por espiga fueron de 91.10% para el número de tallos (NT), de 67.31% para el peso de planta (PP), de 56.21% para rendimiento de grano (Y), de 52.74 para el peso de espiga (PE), de 52.54% para el volumen de 100 semillas (VS), de 51.25% para el número de espigas (NE) y de 47.44% para el peso del tallo (PT).

El análisis de varianza para esta variable (Cuadro 15 del Apéndice) mostró ser altamente significativo para la regresión presentando un $r^2 = 85.52\%$, y el modelo seleccionado fue el siguiente:

$$y = B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + B_3 X_3$$

Donde:

$$y = 183.4815 + 0.7731(NT) + 51.2418(VS)$$

Demostando que el mejor modelo, para la variable número de glumas/espiga (y) está en función del número de tallos (NT) y el volumen de 100 semillas (VS). Observando (Figura 9 del Apéndice) de manera descriptiva los valores medios obtenidos por tratamiento de las variables seleccionadas, así la línea recta de regresión se formó con los valores mínimo y máximo de esta variable y de manera independiente de los tratamientos.

4.1.6. Altura de planta (A).

La altura de planta, en etapa temprana y al momento de la cosecha del cultivo, no presentó efecto significativo entre tratamientos (Cuadro 6) indicado por el valor de la $P = 0.6780$) presentando un coeficiente de variación (CV) de 5.10%.

En el Cuadro 7 se presenta la comparación de medias para esta variable; se observa que los seis tratamientos evaluados presentaron valores medios estadísticamente iguales entre sí, no observando diferencias en cuanto a las formas de fraccionar el fertilizante.

No se encontró correlación alguna con esta variable, probablemente debido a que la variedad sembrada (Esmeralda M-86) presentó homogeneidad en los tratamientos evaluados, en cuanto a esta característica, así como días a floración,

llenado de grano y madurez fisiológica. Además de que el cultivo en ningún momento de su desarrollo presentó estrés hídrico, el cual no fue medido, ya que se aplicó un riego de asiento y tres de auxilio, aparte de las precipitaciones ocurridas durante el desarrollo del cultivo que fueron de 19.39 cm, observándose en todo momento la turgencia de las hojas. Por su parte, Pandey, *et al.* (1984) Day and Intalap (1970) Wong (1979) y Cutler, *et al.* (citados por Eastham, *et al.* (1984), afirman que el crecimiento de la planta es afectado por la disponibilidad de agua del suelo y el tiempo en el cual se desarrolla el estrés.

4.1.7. Peso de hojas (PH).

En el análisis de varianza para la variable peso de hoja (Cuadro 6) no se encontró diferencia significativa entre tratamientos, indicado por la ($P = 0.1374$) presentando además un coeficiente de variación (CV) de 12.92%.

La comparación de medias para esta variable se presenta en el Cuadro 7. Se observa que los seis tratamientos evaluados presentaron valores medios estadísticamente iguales entre sí, no encontrando efecto significativo en cuanto a las épocas de aplicación del fertilizante.

Sin embargo, se observa que el tratamiento 6 (testigo) tendió a presentar el menor peso de hoja y presentó el peso de grano más bajo, así mismo, el tratamiento 3 presentó el

peso de hoja y rendimiento de grano más altos.

Esto se puede explicar en parte, al considerar que las hojas constituyen los órganos donde principalmente se realiza la fotosíntesis, la transpiración y la respiración, así como en algunos casos, funciones de reservas.

Se demostró que las más altas correlaciones para el peso de hoja fueron de 57.44% para rendimiento de grano (Y), de 54.82% para el peso de espiga (PE), de 49.16% para el número de espigas (NE) y de 46.89% para el volumen de 100 semillas (VS). El análisis de varianza para esta variable (Cuadro 16 del Apéndice) fue significativo para la regresión presentando una $r^2 = 33.45\%$. Así, el modelo seleccionado fue el siguiente:

$$y = B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2$$

Donde:

$$y = 578.9806 + 0.9028(NE) + 79.4250(VS)$$

Indicando que el peso de hoja (y) está en función del número de espigas (NE) y del volumen de 100 semillas (VS) en una baja proporción, ya que el coeficiente de determinación (r^2) presentó un porcentaje bajo (33.45%). En la (Figura 10 del Apéndice), se presentan de manera descriptiva la recta de regresión, que fue formada de manera independiente de los tratamientos con el valor mínimo y máximo obtenidos de esta

variable, así como los valores medios de las variables seleccionadas por tratamiento, con los cuales se puede predecir el valor de (y), al substituir el o los valores de X_i en el modelo.

4.1.8. Peso de tallo (PT).

El análisis de varianza para el peso de tallo se presenta en el Cuadro 6, el cual fue significativo para tratamientos designado por la (P = 0.0342) demostrando además un coeficiente de variación (CV) de 6.56%.

La comparación de medias para esta variable se presenta en el Cuadro 7, en donde se observa que los tratamientos designados por (a) presentaron los valores medios más altos, siendo éstos iguales estadísticamente entre sí, no presentando efecto significativo, por concepto de la aplicación fraccionada del sulfato de amonio ya que los tratamientos (1 y 2) y (4 y 3) recibieron diferente forma de aplicación del fertilizante. Sin embargo, se observa un incremento en el peso de tallo al comparar el testigo con el resto de los tratamientos evaluados.

El tallo tiene la función del sostén de las hojas y la conducción del agua y materias primas para la elaboración de alimentos en las hojas, y del alimento de las hojas a otras partes de la planta (Zavala 1993).

Se demostró, que las más altas correlaciones para el

peso del tallo, fueron de 57.28% para el número de tallos (NT), de 53.01% para el peso de planta (PP), de 48.05% para el rendimiento del grano (Y) y de 47.44% para el número de glumas (NG). Así mismo, se encontró diferencias significativas para la regresión (Cuadro 17 del Apéndice) presentando además, un $r^2 = 32.81\%$. El modelo seleccionado fue el siguiente:

$$y = B_0 + B_1 X_1$$

Donde:

$$y = 3152.3205 + 0.7183(NT)$$

Indicando, en este caso que el peso de tallo (y) esta en función del número de tallos (NT). Se observa en la (Figura 11 del Apéndice) la línea recta de regresión para esta variable (y), la cual se formó con los valores mínimos y máximos obtenidos de manera independiente de los tratamientos, así como los valores medios por tratamiento de la variable seleccionada por el modelo, con la cual se puede predecir el valor de (y) al substituir los mismos en el modelo.

4.1.8. Peso de paja (PP).

El análisis de varianza para la variable peso de paja se presenta en el Cuadro 6, observándose que no hubo significan-

cia estadística entre tratamientos designado por la (P = 0.1868), presentando además, un coeficiente de variación (CV) de 9.26%.

Los resultados de la comparación de medias para esta variable se presentan en el Cuadro 7. Se observa que los tratamientos presentaron valores estadísticamente iguales entre sí, no observándose efecto significativo entre formas de aplicación fraccionada del fertilizante; sin embargo, se nota un considerable incremento en el peso de paja, al comparar el tratamiento 6 (testigo), con el resto de los tratamientos evaluados, lo que demuestra que existe un incremento (aunque no estadísticamente significativo) en el peso de paja, debido a la fertilización, ya sea fraccionada en dos o tres aplicaciones. El tratamiento 4 presentó el valor medio más alto, ocupando el segundo lugar en cuanto a rendimiento de grano.

Por otra parte, se determinaron los porcentajes de índice de cosecha (IC) por tratamiento, el cual se determinó con los valores medios del rendimiento de grano, entre el obtenido de paja, esto con el objetivo de determinar la relación por tratamiento, al estar presente las dos variables. Así, los porcentajes de IC por tratamiento fueron:

1.- 33.11%	2.- 36.26%	3.- 35.40%
4.- 34.57%	5.- 35.98%	6.- 33.15%

Observando que el tratamiento 3, aún de presentar el mayor peso de paja y rendimiento de grano, obtuvo un índice de cosecha de 35.40%, el cual fue mayor que el tratamiento 4 que presentó el IC de 34.57%, esto demuestra que el tratamiento 4 presentó un desarrollo foliar abundante, no provocando un desbalance entre el rendimiento económico (grano) y el biológico (paja). Por lo anterior estos resultados no coinciden con lo dicho por Fisher, (citado por Turner, 1979), quien indicó que el crecimiento vegetativo excesivo reduce el rendimiento.

Sin embargo, Wallace, *et al.* (1972) indicaron que el mejoramiento del índice de cosecha representa un incremento en la capacidad fisiológica para movilizar fotosintatos y traslocarlos a los órganos de importancia económica.

Se demostró que las más altas correlaciones para el peso de paja fueron de 78.81% para el peso de la espiga (PE), de 69.47% para el número de tallos (NT), de 67.31% para el número de glumas (NG), de 58.58% para el volumen de semilla (VS), de 56.86% para el número de espigas (NE), de 53.01% para el peso del tallo (PT) y de 53.05% para el rendimiento de grano (V), siendo éstas significativas y positivas.

El análisis de varianza para esta variable (Cuadro 18 del Apéndice) mostró una diferencia altamente significativa para la regresión, presentando un $r^2 = 67.16\%$. Así, el modelo seleccionado fue el siguiente:

$$y = B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + B_3 X_3$$

Donde:

$$y = 63.1709 + 0.0115(NT) + 0.0056(PT) - 0.9160(y)$$

Demostando con esto, que el peso de planta (y) está en función del número de tallos (NT), del peso de tallos (PT) y de manera negativa, con el rendimiento de grano (Y). Se observa en la (Figura 12 del Apéndice) de manera descriptiva, la línea de regresión que fue formada del valor mínimo y máximo de esta variable y de manera independiente de los tratamientos, también se presentan los valores medios de las variables seleccionadas por el modelo, con las cuales se puede predecir el valor de (y) al substituir estos valores en el modelo.

4.1.10. Peso de espiga (PE).

El análisis de varianza para peso de espiga (Cuadro 6) mostró diferencias significativas entre tratamientos designado por la (P = 0.0389) presentando además un coeficiente de variación (CV) de 8.70%.

Los resultados de la comparación de medias para esta variable se presentan en el Cuadro 7. Se observa que los tratamientos 4 y 3 designados por (a) presentaron los valores medios más altos, correspondiendo éstos a la aplicación del sulfato de amonio aplicado en las tres etapas fenológicas. El

tratamiento 1 y el tratamiento 5, designados por (ab) presentaron valores medios iguales estadísticamente, no presentando efecto en cuanto a las formas de fraccionar el fertilizante.

El análisis indicó que las más altas correlaciones para el peso de espiga fueron de 78.81% para el peso de planta (PP), de 57.45% para el rendimiento de grano (Y), de 55.17% para el número de tallos (NT), de 54.82% para el peso de hoja (PH), de 52.74% para el número de glumas por espiga (NG) y de 47.60% para el número de espigas (NE), observando que todas estas correlaciones fueron positivas.

El análisis de varianza (Cuadro 19 del Apéndice) mostró diferencias altamente significativas para la regresión con una $r^2 = 78.96\%$. Así el modelo de regresión seleccionado fue el siguiente:

$$y = B_0 + B_1 X_1$$

Donde:

$$y = -143.0985 + 57.1468(PP)$$

El modelo indica que el peso de espiga (y) está en función del peso de planta (PP) en un 78.96%. En la Figura 13 del Apéndice), se observa el modelo seleccionado, así como los valores medios por tratamiento de la variable seleccionada.

da con los cuales, se puede predecir el valor de (y) al substituir los mismos en el modelo, la línea recta de regresión se formó con el valor mínimo y máximo la variable evaluada y de manera independiente de los tratamientos.

4.1.11. Peso de 100 semillas (PS).

El análisis de varianza para esta variable (Cuadro 6) mostró diferencias significativas entre tratamientos, designado por la (P = 0.0508) presentando un coeficiente de variación (CV) de 6.18%.

Los resultados de la comparación de medias se presentan en el Cuadro 7, notándose que los tratamientos designados por (a) presentaron los valores medios iguales entre sí, no presentando efecto por concepto de la aplicación fraccionada del sulfato de amonio, ya que entre el tratamientos (1) y los tratamientos (3,4 y 5), la aplicación del fertilizante fue hecha de diferente forma. Por otra parte, al comparar el testigo (sin fertilizar) con el resto de los tratamientos, se observó un incremento en el peso de la semilla por concepto de la aplicación del fertilizante. Observando además, que los tratamientos designados por (a) presentaron en la mayoría de los casos, incremento en el peso de 100 semillas, como consecuencia del aumento en el peso de grano, debido esto, a un transporte activo de fotosintatos hacia el grano, como lo indicaron (Turner, 1979) y (Matthews y Boyer, 1984).

El análisis indicó que las más altas correlaciones para el peso de 100 semillas, fueron de 58.88% para el peso de planta (PP) y de 46.25% para en número de tallos (NT).

4.1.12. Volumen de 100 semillas (VS).

El análisis de varianza para esta variable (Cuadro 6) no mostró significancia entre los tratamientos evaluados, indicado por la ($P = 0.1420$) presentando un coeficiente de variación (CV) de 3.75%.

Los resultados de la comparación de medias se presentan en el Cuadro 7; se observa que todos los tratamientos evaluados, presentaron valores medios estadísticamente iguales; sin embargo, se observa que el tratamiento 3, tendió a presentar el volumen de semillas más alto, así como el rendimiento de grano más alto.

Se demostró que las más altas correlaciones para el volumen de 100 semillas, fueron de 63.47% para el rendimiento de grano (Y), de 54.71% para el número de plantas con ahijamiento (NPCA), de 52.54% para el número de glumas (NG) y de 46.89% para el peso de hoja (PH).

El análisis de varianza (Cuadro 20 del Apéndice) mostró diferencias significativas para la regresión y una $r^2 = 43.05$. El modelo seleccionado fue el siguiente:

$$y = B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2$$

Donde:

$$y = 0.7831 + 1.9539(\text{NPCA}) + 0.0013(\text{NG})$$

Lo que demuestra en este caso, que el volumen de 100 semillas (y) está en función del número de plantas con ahijamiento (NPCA) y del número de glumas/espiga (NG). En la (Figura 14 del Apéndice), se observa el modelo de regresión seleccionado así como los valores medios por tratamiento de las variables propuestas por el modelo, con las cuales se puede predecir el valor de (y) al substituir las mismas en el modelo, la línea recta se formó de el valor mínimo y máximo de la variable de estudio y de manera independiente con los tratamientos.

4.1.13. Relación peso paja-grano (RPPG),.

El análisis de varianza para la relación peso paja-grano se presenta en el Cuadro 6, en el cual se observa que no existe diferencia significativa entre tratamientos como lo indicó la (P = 0.1110) observando además un coeficiente de variación (CV) de 5.75%.

La comparación de medias realizada para comprobar los resultados anteriores se presenta en el Cuadro 7; se observa que todos los tratamientos evaluados presentaron valores

medios estadísticamente iguales; no se encontró efecto alguno por la aplicación del fertilizante, ya que los tratamientos del 1 al 5, quedaron establecidos dentro del mismo grupo.

El análisis indicó que la más alta correlación para la relación peso paja-grano fue de 52.04% para el número de plantas con ahijamiento (NPCA).

El análisis de varianza para esta variable (Cuadro 21 del Apéndice) mostró una diferencia significativa para la regresión presentando una $r^2 = 27.08\%$. El modelo seleccionado fue el siguiente:

$$y = B_0 + B_1 X_1$$

Donde:

$$y = -0.0886 + 0.8648(\text{NPCA})$$

Demostando que esta variable (RPPG) esta en función del número de plantas con ahijamiento en un 27.08 %, lo que demuestra en este caso, que el resto de las variables de planta evaluadas, no presentaron efecto en relación a la variable evaluada. Así, en la (Figura 15 del Apéndice) se presenta el modelo y los valores medios por tratamiento de la variable seleccionada. La línea de regresión se formó del valor mínimo y máximo de la variable de estudio y es independiente de los tratamientos.

4.2 Variables Físico-Químicas del Suelo (VFQS).

Son muchos los factores que afectan el rendimiento de las plantas, y entre ellos un lugar muy importante lo ocupa la disponibilidad en el suelo de los nutrientes esenciales para las plantas, por lo anterior, el conocimiento de sus formas aprovechables y presentes en el suelo, constituye una poderosa herramienta con la cual se puede evaluar en parte su efecto sobre los rendimientos medios de los cultivos y sus variables fenológicas.

Para evaluar la influencia de cada una de las variables de suelo sobre los rendimientos medios de trigo se realizaron: el análisis de varianza respectivo, el de comparación de medias (Método de Duncan) un análisis de correlación y un análisis de regresión conjunto para variables de planta y suelo (Método de Stepwise) éste con el objetivo de identificar el mejor modelo de regresión que explique la obtención del rendimiento medio de trigo en una mayor proporción.

Las variables de suelo fueron evaluadas por tratamiento y repetición en los estratos 0-30, 30-60 y 60-90cm, a las cuales se les determinó el pH, la conductividad eléctrica (CE), el % de materia orgánica (%MO), el contenido de nitratos, fósforo total (P) y potasio total (K). Además se utilizó la clasificación del suelo con base en el análisis

físico-químico correspondiente a cada una de éstas variables (Cuadro 22 del Apéndice).

Los resultados de los análisis de varianza, realizados para determinar la significancia estadística de cada variable entre tratamientos, se presentan de manera resumida en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Resumen de 18 análisis de varianza, para variables de suelo evaluadas en trigo, en el ciclo 0-I 1993-94, (FAUANL).

V	F.V.	C.M.	P>F	C.V.
pH	0-30	0.0371	0.1141 ns	1.62
	30-60	0.0234	0.4680 ns	1.49
	60-90	0.0076	0.8337 ns	1.67
CE	0-30	0.4745	0.1781 ns	20.16
	30-60	0.3451	0.7280 ns	30.91
	60-90	0.7173	0.1317 ns	21.70
MO	0-30	0.3993	0.1866 ns	40.46
	30-60	0.1794	0.6127 ns	46.37
	60-90	0.6776	0.0451 *	53.63
N*	0-30	295.7166	0.0046 *	45.71
	30-60	42.9067	0.0470 *	42.84
	60-90	17.1166	0.0623 ns	31.16
P	0-30	0.5986	0.8246 ns	13.11
	30-60	2.8726	0.0493 *	11.01
	60-90	1.5166	0.2562 ns	11.07
K	0-30	7936.6666	0.0202 *	8.20
	30-60	3016.6666	0.6297 ns	12.57
	60-90	13291.0416	0.0299 *	11.77

* Variable.

* Nitratos.

La discusión correspondiente a cada análisis, se presentará en su apartado respectivo. Así mismo, los resultados de la comparación de medias para cada una de estas variables se presentan en el Cuadro 10.

Cuadro 10. Comparación de medias para 18 variables de suelo evaluadas en trigo, en el ciclo 0-I 1993-94, (FAUANL)

T	Materia Orgánica			pH del Suelo		
	0-30	30-60	60-90	0-30	30-60	60-90
1	1.77	1.08	0.68 b	7.97	8.05	8.15
2	1.20	1.08	0.75 b	8.12	8.20	8.11
3	1.04	1.22	1.07 ab	8.26	8.16	8.12
4	1.23	1.34	1.54 a	8.05	8.07	8.12
5	0.95	0.96	0.94 ab	8.06	8.00	8.12
6	0.90	0.73	0.32 b	8.10	8.15	8.02

T	Conductividad Eléctrica			Nitratos Solubles		
	0-30	30-60	60-90	0-30	30-60	60-90
1	2.92	2.80	2.77	31.50 a	13.70 a	11.00
2	2.83	2.61	2.87	14.50 bc	6.67 b	9.50
3	2.33	2.92	3.28	12.12 bc	11.20 ab	8.87
4	2.27	2.17	2.03	19.12 b	6.75 b	8.87
5	2.85	2.30	2.95	12.87 bc	9.77 ab	6.87
6	2.15	2.40	2.53	6.37 c	5.12 b	5.37

T	Fósforo			Potasio		
	0-30	30-60	60-90	0-30	30-60	60-90
1	9.15	8.80 b	9.15	550 ab	533	488 b
2	8.90	7.95 b	9.22	544 a	563	464 b
3	8.67	9.32 ab	9.20	450 b	528	625 a
4	9.70	10.45 a	8.95	451 b	480	540 ab
5	8.70	9.10 ab	9.60	553 a	510	510 b
6	9.22	8.45 b	8.12	480 ab	513	560 ab

4.2.1. pH del suelo (pH).

El análisis de varianza para el pH evaluado en el estrato 0-30 cm de profundidad (Cuadro 9) indicó que no existen diferencias significativas entre tratamientos, ya que la ($P = 0.1141$) presentando además, un coeficiente de variación (CV) de 1.62%.

En el estrato 30-60 cm no se observó significancia

estadística entre tratamientos, ya que la ($P = 0.4680$) presentando además un coeficiente de variación (CV) de 1.49%.

En el estrato 60-80 cm no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, no presentando en ningún caso disminución del pH por la aplicación del sulfato de amonio.

Sin embargo, la literatura menciona que al aumentar los iones H de una solución, el pH disminuye y al aumentar los iones (OH) aumenta el pH. Así, Avendaño (1985) indicó que la fertilización nitrogenada tiende a modificar el pH del suelo, particularmente cuando su poder amortiguador es reducido, debiéndose este efecto a los iones H^+ que son liberados en la nitrificación, y a la vez a la formación de ácido nítrico (HNQ) a partir de nitratos, ocasionando con esto, que al momento de la aplicación del amoníaco, ocurra una disminución temporal de aproximadamente una unidad.

Esto se puede demostrar en parte, con el trabajo realizado por Díaz (1991) quien evaluó en suelos calcáreos el efecto del azufre sobre la hidrólisis de urea, sulfato de amonio y nitrato de amonio, reportando un mayor efecto acidificante cuando se aplicaron las fuentes con el azufre, incrementándose así la conductividad eléctrica con la oxidación del azufre, retardando la hidrólisis de la urea de 36 a 96 horas, aumentando la presencia de $N-NH_4$, siendo más marcado este efecto con el sulfato de amonio. Este mismo efecto lo encontró Albalade (1992) indicando que el azufre redujo

significativamente el pH del suelo.

Lo anterior, demuestra que el sulfato de amonio aplicado modificó temporalmente el pH del suelo, debiéndose este efecto a los iones de hidrógeno (H) liberados en la nitrificación y al aumentar los iones OH, disminuye el pH de la solución del suelo aproximadamente una unidad, ocasionando con ésto, la disponibilidad de nutrimentos primarios, secundarios y micronutrientes necesarios para el desarrollo del trigo.

Considerando lo anterior, es de suponer que el sulfato de amonio $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ aplicado en diferentes etapas fenológicas del trigo, modificó temporalmente el pH, permitiéndole así, que los principales elementos nutritivos de la solución del suelo se encontraron disponibles para ser tomados por las plantas cuando lo requirieran. En base a los valores medios obtenidos entre tratamientos, en los tres estratos, se determinó que los mismos fluctuaron de 7.87 a 8.20, clasificándose este suelo como medianamente alcalino (Cuadro 22 del Apéndice).

El análisis de correlación indicó que el pH en el estrato 30-60 cm presentó una correlación del 46.15% con nitratos.

4.2.2. Conductividad eléctrica (CE).

El análisis de varianza para esta característica del suelo muestreado a 0-30 cm de profundidad, se presenta en el Cuadro 9, se observa que no existe diferencia significativa

entre tratamientos como lo demuestra la ($P = 0.1781$) presentando un coeficiente de variación (CV) de 20.16%.

Así mismo, para 30-60 cm se observa que no existe diferencia significativa entre tratamientos, ya que la ($P = 0.7280$) presentando además, un coeficiente de variación de 30.91%.

Para 60-90 cm, no se encontró diferencias significativas entre tratamientos. Aunque estadísticamente no significativa se observa un ligero incremento en la conductividad eléctrica por el efecto de la aplicación del sulfato de amonio (Cuadro 10) ya que el tratamiento 6 (testigo) del primer estrato, presentó el valor medio más bajo en comparación a los cinco restantes, no observando este efecto en el segundo y tercer estrato. Esto se puede constatar si se considera que el sulfato de amonio tiene un índice de acidez de 110.7; esto indica que se requieren 110.7 kg de carbonato de calcio CaCO_3 , para neutralizar el efecto acidificante que originan 100 kg de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. En este caso se aplicaron 683 kg/ha de este fertilizante; sin embargo, Avendaño (1985) indicó que debido a la gran cantidad de carbonato de calcio que existe en estos suelos, es difícil con el paso del tiempo, que estos suelos tengan valor de pH ácido.

En base a los valores medios obtenidos por tratamiento en los tres estratos, se determinó que éste suelo se clasifica como ligeramente salino (Cuadro 22 del Apéndice).

El análisis de correlación indicó que la CE (0-30) presentó una correlación de 55.69% con potasio (0-30) de 51.95% con nitratos (0-30) y de 47.37% con CE (30-60). Para CE (30-60) de 47.37% con CE (0-30).

4.2.3 Materia orgánica (MO).

El análisis de varianza realizado para evaluar el contenido de materia orgánica muestreada de 0-30cm de profundidad del suelo, se presentan en el Cuadro 9, en el cual se observa que no existe diferencia significativa entre tratamientos determinado por la ($P = 0.1866$) presentando además, un coeficiente de variación de 40.46%.

Sin embargo, al comparar el tratamiento 6 (testigo) con el resto de los tratamientos evaluados (Cuadro 10) se observa un incremento en el contenido de MO, ocasionado por la aplicación del sulfato de amonio.

Así mismo, para el estrato 30- 60 cm, se observa que no existe diferencia significativa entre tratamientos determinado por la ($P = 0.6127$) presentando además un coeficiente de variación (CV) de 46.37%.

Al comparar el testigo con el resto de los tratamientos, se observa un incremento en el contenido de materia orgánica ocasionado por la aplicación del sulfato amonio.

Para 60-90 cm de profundidad del suelo (Cuadro 9) se encontraron diferencias significativa entre tratamientos

determinada por la ($P = 0.0451$) presentando además, un coeficiente de variación (CV) de 53.63%.

Los resultados obtenidos de la comparación de medias se presentan en el Cuadro 10. Se observa que el tratamiento 4 presentó el valor medio más alto designado por (a) correspondiendo éste, a la aplicación fraccionada del sulfato de amonio en tres etapas fenológicas del trigo, los tratamientos 3 y 5, designados por (ab), presentaron valores medios estadísticamente iguales entre sí, correspondiendo éstos a la aplicación fraccionada del fertilizante, en tres épocas; los tratamientos 2,1 y 6 obtuvieron los valores más bajos designados por (b) observando además un incremento en el contenido de materia orgánica al comparar el tratamiento 6 (testigo) con el resto de los tratamientos evaluados.

Además, se observó una ligera variación entre tratamientos y estratos, ya que en los tratamientos 5 y 6, en el estrato (0-30) se clasifica el suelo como de bajo contenido de materia orgánica, comparado con el resto de los tratamientos que se clasificaron como de contenido medio (Cuadro 22 A).

Así mismo, se observa que existió un ligero arrastre de materia orgánica al comparar los tratamientos 3 y 4 del estrato 0-30 al 30-60, ocasionado por el efecto de laterización; al respecto, McNeil (1965) indicó que la laterización es el arrastre de materia orgánica como fuente principal de nitrógeno, causada por altas temperaturas y fuertes vientos.

El análisis de correlación indicó que el contenido de materia orgánica en el estrato de (0-30) presentó una correlación de 74.58% con el contenido de nitratos en el estrato (0-30), para el % de (NO) en el estrato (30-60), se encontró una correlación de 50.90% con el rendimiento de grano (Y) y de 47.17% con el número de espigas (NE).

4.2.4. Nitratos solubles (ppm).

El análisis de varianza para evaluar el efecto del nitrato muestreado a 0-30 cm de profundidad del suelo se presenta en el Cuadro 9, en el cual se observa que existe una diferencia significativa entre tratamientos, indicado por la ($P = 0.0046$) presentando además un coeficiente de variación (CV) de 45.71%.

La comparación de medias para esta variable se presenta en el Cuadro 10. Se observa que se formaron cuatro grupos, de los cuales el tratamiento 1, designado por (a) presentó el valor medio más alto, correspondiendo éste a la aplicación fraccionada del sulfato de amonio en la 1ª y 3ª etapa fenológica del trigo, el 4, designado por (b) corresponde a las tres épocas de aplicación del fertilizante; los tratamientos 2, 5 y 3, designados por (c) presentaron valores medios iguales entre sí, no observando diferencias por efecto de las épocas de aplicación, y el tratamiento 6 (testigo) designado por (c), presentó el valor medio más bajo. Al comparar el

testigo (6) con el resto de los tratamientos se observa un incremento en el contenido de nitratos, ocasionado por la aplicación del fertilizante, siendo más marcado este efecto en el tratamiento 1.

Para la profundidad de 30-60 cm, se encontró que existe una diferencia significativa entre tratamientos, determinado por la $(P = 0.0470)$ presentando además un coeficiente de variación (CV) de 42.84%.

La comparación de medias, se presenta en el Cuadro 10. Se observa que se formaron tres grupos de los cuales, el tratamiento 1 designado por (a) presentó el valor medio más alto, correspondiendo éste a la aplicación fraccionada del sulfato de amonio en dos etapas fenológicas. Los tratamientos 3 y 5, designados por (ab), correspondieron la aplicación del fertilizante en 3 etapas y los tratamientos 4, 2 y 6, designados por (b) presentaron los valores medios más bajos.

Por otra parte, al comparar el testigo (sin fertilizar) con el resto de los tratamientos evaluados, se observa un incremento en el contenido de nitratos, siendo más marcado este efecto en el tratamiento 1.

Así mismo, para el estrato 60-90 cm se observa que no existieron diferencias significativas entre tratamientos determinado por la $(P = 0.0623)$ presentando además, un coeficiente de variación (CV) de 31.16%. No obstante al comparar el tratamiento 6 (testigo) con el resto de los tratamientos evaluados, se observa un incremento en el

contenido de nitratos ocasionado por la aplicación del sulfato de amonio, siendo éste efecto más marcado en el tratamiento 1.

Al comparar esta variable en los tres estratos (Cuadro 10) se observa que en el primero (0-30) se encuentran los valores medios mas altos, en el segundo (30-60) los valores medios y en el tercero (60-90) se encuentran los valores medios más bajos. Presentándose así una dinámica descendente de movimiento de nitratos (Fig. 16 del Apéndice).

De acuerdo a la clasificación del suelo (Cuadro 22 del Apéndice) para el estrato 0-30 se determinó que el tratamiento 1 tiene un alto contenido de nitratos, los tratamientos 2,3,4 y 5 con contenido medio y el 6 (testigo) con contenido bajo. Para el estrato 30-60, el tratamiento 1 y 3 presentaron un contenido medio y el 2,4,5 y 6 un contenido bajo. Para el tercer estrato 60-90, el tratamiento 1 se clasifica como de contenido medio y el 2,3,4,5 y 6 de contenido bajo.

El análisis de correlación indicó que para el contenido de nitratos en el estrato (0-30) se encontró una correlación de 74.58% con MO (0-30) y de 49.13% con el volumen de 100 semillas. Para nitratos en el estrato (30-60) de 54.69% para el peso de hoja (PH) y de 46.15% para el pH del suelo en el estrato (30-60).

4.2.5. Fósforo total.

El análisis de varianza para el contenido de fósforo muestreado a 0-30 cm de profundidad del suelo se presenta en el Cuadro 8. Se observa que no existe diferencia significativa entre tratamientos determinado por la ($P = 0.8246$) presentando además un coeficiente de variación de 13.11%.

Para 30-60 cm se observó una diferencia significativa entre tratamientos, designado por la ($P = 0.0493$) presentando además un coeficiente de variación (CV) de 11.01%.

Los resultados de la comparación de medias para esta variable se presentan en el Cuadro 10; en éste el tratamiento 4 designado por (a) presentó el valor medio más alto, el cual corresponde a la aplicación del sulfato de amonio en tres épocas. El tratamiento 3 y 5, designado por (ab) presentaron valores medios iguales entre sí, dentro de los cuales se les aplicó el sulfato de amonio en la misma forma y cantidades que el tratamiento anterior y los tratamientos 1, 6 y 2 designados por (b) presentaron los valores medios más bajos.

Así mismo para el estrato 60-90 cm se encontró que no existe diferencia significativa entre tratamientos designado por la ($P = 0.2562$) y con un coeficiente de variación (CV) de 11.07%.

Avendaño (1985) menciona la disponibilidad del fósforo disminuye a valores de p inferiores a 6.5 y superiores a

7.5, este problema es debido a que el fierro y aluminio se encuentran en soluciones a valores inferiores a 6.5 y el fósforo es precipitado; por encima de 7.5 el calcio puede provocar su precipitación y por encima de 8.5 el exceso de sales sódicas contribuye a la solubilización de este elemento. De acuerdo a los valores medios obtenidos en los tres estratos, este suelo se clasifica como de bajo contenido de fósforo. A esto, Ignatieff (1959) indicó en general que el fósforo se encuentra en una cantidad total baja en los suelos y que además de estar en pequeñas cantidades, las formas en que se encuentra son inasequibles para las plantas debido a que existe una fuerte absorción por el complejo coloidal del suelo, llegándose a fijar hasta un 80% y que al no tener ninguna movilidad, no lixiviarase y estar sujeto a fijación, es importante la localización del fertilizante al momento de la aplicación, procurando que éste, se aplique a pocos cm abajo de la semilla.

El análisis de correlación indicó que para el contenido de fósforo en el estrato (30-60) se encontró una correlación de 45.41% con el peso de la espiga (PE).

4.2.6. Potasio total (P).

El análisis de varianza para evaluar el contenido de potasio muestreado a 0-30cm de profundidad del suelo se presenta en el Cuadro 9, en el cual se observa que existe dife-

rencia significativa entre tratamientos determinado por la ($P = 0.0202$) presentando además un coeficiente de variación (CV) de 9.20%.

La comparación de medias que demuestra el efecto anterior se presenta en el Cuadro 10. Se observa que el tratamiento 5 y el tratamiento 2 designados por (a) presentaron los valores medios más altos, no observando efecto por concepto de la aplicación del fertilizante. Los tratamientos 1 y 6, designados por (ab), presentaron valores medios iguales estadísticamente, no observando diferencia por efecto de la aplicación del sulfato de amonio. En cuanto a los tratamientos 4 y 3, designados por (b), presentaron los valores medios más bajos, correspondiendo a la aplicación del sulfato de amonio en tres épocas fenológicas del trigo.

Para el muestreo de 30-60 cm no se encontró diferencia significativa entre tratamientos determinado por la ($P = 0.6297$) presentando además, un coeficiente de variación (CV) de 12.57%. Para la profundidad de 60-90 cm se observó que existe diferencia significativa entre tratamientos, determinado por la ($P = 0.0299$) presentando además un coeficiente de variación (CV) de 11.77%. La comparación de medias para esta variable se presenta en el Cuadro 10. Se observa que el tratamiento 3, designado por (a) presentó el valor medio más alto correspondiendo este, a la aplicación del sulfato de amonio en tres épocas fenológicas. Los tratamientos 6 y 4

designados por (ab), presentaron valores estadísticamente iguales. Por su parte los tratamientos 5,1 y 2, designados por (b), presentaron valores medios estadísticamente iguales entre sí, no observando efecto alguno por la aplicación fraccionada del fertilizante.

Con base en los valores medios obtenidos en los tres estratos, éste suelo se clasifica como extremadamente rico en potasio (Cuadro 22 del Apéndice). Aunque el potasio se encuentra en cantidades altas, Collings (1958) mencionó que el 90-98% de éste, se encuentra en forma inasequible, integrando minerales de difícil meteorización y solamente de 1 a 2% del potasio total está en forma intercambiable o presente en la solución del suelo.

El análisis de correlación indicó que para potasio (0-30) se encontró una correlación de 55.69% para CE (0-30) y de -48.15% con la relación peso paja-grano.

4.3. Variables de Planta y Suelo.

Se realizó un análisis de regresión conjunto para las variables de planta y suelo, los resultados se presentan en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Análisis del modelo de regresión líneal múltiple, para rendimiento de grano, y el conjunto de variables de planta y suelo, evaluadas en trigo, en el ciclo O-I 1983-84, (CAR-FAUANL).

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F	P>F
REGRESION	8	589.7481	73.7185	16.08	0.0001
ERROR	15	68.7518	4.5834		
TOTAL	23	658.5000			

$$r^2 = 89.55$$

Se observa una diferencia altamente significativa para la regresión, determinada por la ($P = 0.0001$) demostrando con esto que ocho variables fueron seleccionadas, con las cuales se desarrolló el siguiente modelo:

$$y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + B_4X_4 + B_5X_5 + B_6X_6 + B_7X_7 + B_8X_8$$

Al substituir los valores de B_0 y B , el modelo seleccionado fue el siguiente:

$$Y = 72.1683 - 6.7477(pH) + 3.4952(CE_1) - 1.4377(P_1) + \\ 0.0038(PT) - 0.6755(PP) + 0.0069(PS) + 8.2964(NPCA) \\ - 0.0106(NE)$$

Así, el rendimiento de trigo está en función de las variables que fueron seleccionadas por el modelo, las cuales son:

pH_1 = PH del suelo (0-30). (de manera negativa)

CE_1 = Conductividad eléctrica (0-30).

P_1 = Fósforo (0-30). (de manera negativa)

PT = Peso de tallo.

PP = Peso de planta.

PS = Peso de 100 semillas.

NPCA = Número de plantas con ahijamiento

NE = Número de espigas. (de manera negativa)

En la (Figura 17 del Apéndice) se presenta el modelo de regresión y los valores medios por tratamiento de las variables seleccionadas con las cuales se puede predecir el valor de (Y) al substituir el o los valores en el modelo. Así, la línea de regresión se formó del valor mínimo y máximo de (Y) y es independiente de los tratamientos.

V. CONCLUSIONES

1. La aplicación del sulfato de amonio (fraccionado en 2 o 3 épocas fenológicas del trigo), incrementó en 763 kg/ha el rendimiento de grano, en comparación al testigo absoluto, no encontrando efecto en cuanto a las formas de fraccionarlo.

2. En este caso, los tratamientos 3 y 4 presentaron una mayor tendencia al presentar los rendimientos de grano más altos, así como también, el mayor peso de espiga, peso de hoja, peso de paja y mayor número de plantas con ahijamiento. Estos tratamientos corresponden a la aplicación del sulfato de amonio fraccionado en tres épocas fenológicas del trigo. Aceptando con esto, la 1ª hipótesis alternativa, ya que al menos un tratamiento, fue diferente a los demás siendo en este caso el tratamiento 6.

3. Se asume que la respuesta encontrada en el rendimiento de grano se debió a que la aplicación del sulfato de amonio retardó la hidrólisis, modificando el pH del suelo por efecto del sulfato, aumentando con ésto la presencia del amonio y una mayor disponibilidad de nutrientes.

4. Se determinó un incremento en el contenido de nitratos y materia orgánica del suelo, en comparación al testigo absoluto. Aceptando con esto la 3ª hipótesis alternativa, ya que el nitrógeno aplicado como sulfato de amonio, se encuentra presente en el suelo, aún después de la cosecha del experimento.

5. Las variables fisiológicas que presentaron efecto a las formas de fraccionar el sulfato de amonio fueron: número de plantas con ahijamiento, peso de tallo, peso de espiga, peso de 100 semillas y la relación peso paja-grano, aceptando con esto, la 3ª hipótesis alternativa ya que se encontró efecto diferencial en algunas variables fisiológicas debido, a las formas de fraccionar el sulfato de amonio.

6. El análisis de regresión para rendimiento de grano mostró una $r^2 = 78.37\%$, demostrando que el mejor modelo está en función del número de pares de glumas por espiga, del número de espigas, de la relación peso paja-grano y del peso de hoja.

7. Se encontró efecto entre tratamientos para el contenido de materia orgánica, nitratos, fósforo y potasio del suelo. Así el análisis de regresión conjunto para variables de planta y suelo mostró que el rendimiento de grano está en función de manera negativa (-) con el pH del suelo (0-30), de manera positiva (+) con la conductividad eléctrica (0-30), de manera (-) con el contenido total de fósforo (0-30), de manera (+) con el peso de tallo, de manera (-) con el peso de planta, de manera (+) con el peso de 100 semillas, de manera (+) con el número de plantas con ahijamiento y de manera (-) con el número de espigas, presentando una $r^2 = 89.55\%$.

VI. RESUMEN

El presente estudio se realizó durante el ciclo invierno 1993-94 en el Campo Agrícola Experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León, localizado en el km 17.5 de la carretera Zuazua-Marín. Los objetivos del trabajo fueron: 1. Evaluar el efecto del nitrógeno del suelo en el desarrollo de tres etapas del cultivo de trigo, 2. Determinar la respuesta de variables fenológicas a la adición de sulfato de amonio en tres etapas del ciclo del cultivo y 3. Evaluar la interacción entre variables del suelo y de planta a aplicación fraccionada de sulfato de amonio.

Las épocas de aplicación del sulfato de amonio estudiadas fueron: 1ª de Siembra a emergencia. 2ª de Amacollamiento a diferenciación floral y 3ª de diferenciación floral a elongación. Para evaluar el efecto de las épocas de aplicación del sulfato de amonio sobre los tratamientos evaluados, se realizaron una serie de análisis de varianza, de comparación de medias, de correlación y de regresión.

Así, a los tratamientos 1 y 2 el fertilizante se aplicó en la 1ª y 3ª época, correspondiente a $1/2$ y $1/2$ del nitrógeno, y a los tratamientos 3, 4 y 5 se les aplicó en la 1ª, 2ª y 3ª época, correspondiente a $1/3$, $1/3$ y $1/3$, del nitrógeno. Se aplicó una dosis de fertilización absoluta equivalente a 120 kg de N/ha y 70 kg de fósforo, de los cuales se aplicó todo el fósforo en la siembra, y el nitrógeno se aplicó en base a

la época correspondiente a cada tratamiento. La siembra se hizo a doble hilera (17.5 cm de separación) en surcos separados a 0.80 cm . Se utilizó una densidad de siembra de 70 kg/ha, con la variedad Esmeralda M-86.

Los resultados demostraron que el rendimiento de grano no fue afectado significativamente por las formas de aplicación del sulfato de amonio, ya que los tratamientos del 1 al 5 presentaron valores medios iguales entre sí, pero fueron diferentes al testigo. El tratamiento 3 presentó el rendimiento medio más alto de 3865 kg/ha, siendo este 763 kg/ha mayor que el testigo, correspondiendo a la aplicación del sulfato de amonio fraccionado en tres épocas fenológicas del trigo.

Se demostró, que las variables fenológicas que fueron afectadas de manera significativa por las formas de fraccionar el sulfato de amonio fueron: número de plantas con ahijamiento, peso de tallo, peso de espiga, peso de 100 semillas y la relación peso paja-grano.

Se observó que el mejor modelo de regresión para rendimiento de grano, esta en función del número de glumas, número de espigas, de la relación peso paja-grano y del peso de hoja, con una $r^2 = 78.37\%$.

VII. BIBLIOGRAFIA

- Acosta D., D. 1989. Fertilización nitrogenada en la variedad Ranchero de maíz (Zea mays L.) ciclo P-V 1987. Tesis de Lic. FAUANL. Marín, N. L.
- Adams, M. W. 1967. Basis of yield component compensation in crop plant with special reference to the field bean. Crop Sci. 7:505-510
- Adams, M. W., and J. E. Grafius. 1971. Yield component compensation, Alternative interpretation. Crop Sci. 11: 33-35.
- Adriano, D. C., P. F. Pratt y S. E. Bishop 1971. Nitrate and salt in soils and ground waters from land disposal of dairy manures. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 35: 759-762.
- Albalade, J. F. 1992. Efecto del azufre sobre el nitrógeno en suelos calcáreos de Marín, N. L. Tesis de Lic. FAUANL. Marín, N. L.
- Alcántara A., S. 1983. Dosis de fertilización nitrogenada bajo diferentes densidades de siembra en el cultivo de trigo. Tesis de M.C. FAUANL. Marín, N.L.
- Avendaño H., A. 1985. Manual de fertilización regional. Patronato para la Investigación Fomento y Sanidad Vegetal. Cd. Río Bravo, Tam. México. 25-75 pp.
- Baldobinos De La P., F., and G. W. Thomas, 1975. The effect of clay content on phosphorus uptake. Sci. Soc. Am. Proc. 31:680-682.
- Caballero C., H., y J. L. Pérez. 1986. Fertilización con nitrógeno y fósforo, en presencia de micronutrientes en el cultivo de sorgo (Sorghum bicolor) bajo riego. Tesis de Lic. FAUANL. Marín, N. L.
- Castellanos Z., J. y J. J. Peña-Cabriales. 1988. Los nitratos provenientes de la agricultura. Revista Terra. Vol.8 No. 1 pp 113-123.

- Castro Z., R. 1978. La eficiencia de la urea, con respecto al sulfato y nitrato de amonio en maíz de temporal. Tesis de Maestro en Ciencias. C.P. Chapingo, México.
- Collings, G. H. 1958. Fertilizantes, sus fuentes y sus usos. Trad. de la 5ª Ed. Inglesa por E. Sánchez, Salvat. S. A. 710 p.
- Corona M., L. 1989. Respuesta a la fertilización nitrogenada, en dos variedades de sorgo (Sorghum bicolor(L.) Moench) de doble propósito, bajo riego y temporal en Marín, N. L. Tesis de Lic. FAUANL. Marín, N. L.
- Day, A.D., and S. Intalap. 1970. Some effects of soil moisture stress on the growth of wheat. (Triticum aestivum L.) Agron. J. 62:27p.
- De La Fuente M., J.M. y J.J Peña C. 1988. Dinámica poblacional desnitrificante en el bajío guanajuatense. Rev. Lat-Amer. Microbiol. 30:335-340.
- Díaz R., H. 1991. Efecto del azufre, sobre la hidrólisis de los fertilizantes nitrogenados en suelos de Marín, N. L. Tesis de Lic. FAUANL. Marín, N. L.
- Durón A., L. 1987. Fertilización nitrogenada al suelo y follaje en el cultivo de frijol (Phaseolus vulgaris L.). Tesis de Lic. FAUANL. Marín, N. L.
- Eastham, J., D. M. Doaterhui. and S. Walker. 1984. Leaf Water and turgor potential threshold values for growth of wheat. Agron. J. 76:841-847.
- Eden, T. 1951. Some agricultural properties of ceyland. Montone Tec. Soils J. Soils. Sci. 2:43.
- Enríquez R., S. 1975. Mecanismos de absorción en el suelo. Absorción de P por suelos de la comarca lagunera. Seminarios técnicos del CIANE. Vol. 11 No. 20. CIANE-INIA-SAG. Torreón, Coah, México.

- Fisher, R. A., and N.C. Turner. 1978. Plant productivity in the arid and semiarid zones. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 29:217-317
- Freid, M., and V. Middelboe. 1974. Measurement of amount of nitrogen fixed by a legume crop. *Plant and Soil.* 47, 713-715pp.
- Gallegos I., V. 1984. Fertilización nitrogenada y densidad de población en el cultivo de sorgo para grano (*Sorghum vulgare* Pers.). Tesis de Lic. FAUANL. Marín, N. L.
- García, E. 1964. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koeppen. Instituto de Geografía UNAM. México.
- Gaytán H., B. 1990. Fertilización nitrógenada foliar y al suelo y fosfatada al suelo, en maíz (*Zea mays* L.) ciclo P-V 1987. Tesis de Lic. FAUANL. Marín, N. L.
- Glover, J. 1953. The nitrates of maize and (*Sorghum vulgare*. *Sond Culture E. Agric. J.* 19:56
- Grafius, J. E., R. L. Thomas, and J. Bernard 1976. Effects of parental component complementation on yield and component for yield in barley. *Crop Sci.* 16:673-677.
- Hardarson, G. 1990. Use of nuclear techniques in studies of soil-plant relationships. Training Course Series NQ 2. IAEA. 223p.
- IAEA. 1983. A guide of the use of nitrogen-15 and radioisotopes in studies of plant nutrition: Calculations and interpretation of data. Viena, Austria. IAEA-T ECDOC-288.
- Ibarra R., M. A. 1985. Comparación de métodos de siembra de trigo en temporal. Informe de Investigación. Archivo Técnico. CEGET-CIFAP-NL-INIFAP. Gral. Terán, N. L. México.

Ibarra R., M. 1991. Optimización de la densidad de siembra y la fertilización del trigo, sembrado en surcos bajo riego. Tesis de M.C. FAUANL. Marín, N. L.

Ignatieff, V. 1959. El uso de los fertilizantes. Roma, Italia. Italia. Publicación de la FAO. 379p.

Ingrahan, J. L., 1981. Microbiology and genetics of denitrifiers. In: C. C. Delwiche (Ed.) Denitrification, nitrification and atmospheric nitrous oxide. Jhon Willey and Sons. pp 45-66.

Jensen, H. L. 1955. Azotobacter monoevtogenes N. Sp. a nitrogen Lixing bacterium resistant to acid nitric. Acta Agric. Second 5:280.

Laloux, R. A., and J. Poelaert. 1980. Wheat Documenta CIBA-GEIGY. Nutrition and fertilitation of wheat. p 19-24. CIBA-GEIGY, ltd. Basle, Switzerland.

Lund, L. J., J. C. Riden, R.J. Miller, A. E. Leag, and W. E. Bendixen. 1978. Nitrogen Balances for the Santa Maria Valley. In: National conference on magnament nitrogen in irrigated agriculture. May 15-18, at Sacramento, Ca. P.F. Pratt (ed.) University of California, Riverside, Ca. 92521. 395-413pp.

Matthews, M. A., and J.S. Boyer. 1984. Aclimatation of photosynthesis to low leaf water potentials. Plant. Physiol. 74:161-166.

McAuliffe, C., D. S. Chamblee, H. Urive A., and W. W. Woodhouse Jr. 1958. Influence of inorganic nitrogen on nitrogen fixation. Agron. J. 55, 334-337pp.

McNeal, M. 1965. Suelos Laterísticos. Scientific America vol. Nov. 1965.

McNeal, F.H., E.P. Smith and M.A. Berg. 1974. Plant height, grain yield And yield components for relationships in spring wheat. Agron. J. 66:575-578

- Meiklejohn, J. 1953. The microbiological aspects of soil nitrification. E. Exp. Agr. J. 19:54
- Meiklejohn, J. 1955. Nitrogen problems in tropical soils. Soiland fertilizer. Vol. XVIII No. 6.
- Mendoza M., F. 1989. Eficiencia de utilización de fertilizante en diferentes tipos de suelo. Seminarios técnicos del CIANE. Vol. 6 No. 22. CIANE-INIFAP-SARH Torreón, Coah. México
- Mitchel, R. L. 1970. Crop growth and culture. Iowa State University Press. Ames. 257p.
- Molina G., G. 1989. Efecto de diferentes niveles de fertilización nitrogenada y fosfatada en la producción y calidad de bulbo de cebolla (Allium cepa L.) Var. Eclipse L-303. Tesis de Lic. FAUANL. Marín, N. L.
- Mora M., A. C. 1982. Niveles de fertilización nitrogenada y tiempos de aplicación en el cultivo de maíz de riego. Tesis de Lic. FAUANL. Marín, N. L.
- Pandey, R. K., W. A. Herrera, and J. W Pendleton 1984. Drought response of grain legume under irrigation gradient. III. Plant growth. Agron.J. 76:549-553
- Peña C., J. J., V. Grageda C., and G. Hardarson 1993. Time course of N₂ fixation in common beans (Phaseolus vulgaris L.) Plant and Soil, (Proses).
- Pratt, P. F., and D.C. Adriano 1973. Nitrate concentration in the unsaturated zone beneath irrigated fields in southern California. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 37: 321-322.
- Poehlman, J. M. 1981. Mejoramiento genético de las cosechas. 7^o Ed. Trad. Nicolás Sánchez. Edit. Limusa, S. A. de C.V. México, D.F. pp 123-146
- Ramírez S., J. y T. J. Díaz De L. 1991. Variación de rendimiento y calidad de semilla de trigo en función de

fuelle y época de fertilización nitrogenada, Memorias del XXX Congreso Nacional S.M.C.S. Acapulco, Guerrero, México. 285p.

Sánchez A., E. 1989. Dinámica de la urea y sulfato de amonio en suelos calcáreos del Estado de Nuevo León. Tesis de Maestro en Ciencias. C.P. Chapingo, México.

Sebillote, M. 1980. A new method for diagnosis the yield in wheat. Documenta Ciba-Geigy. Basle, Switzerland.

Tiessen, H. R., L.W. Kramos, B. Stewart, and F. Sells. 1983. Natural nitrogen-15 abundance as an indicator of soil organic matter transformation in nativa and cultivates. Soil. Sci. Soc. Am. J. Vol 48, 312-315pp.

Turner, N. C. 1979. Stress physiology in crop plant. H. Mussell and C.D. Richard (Eds.) John Wiley and Sons, Inc. 343-370

Vázquez A, R. E. 1993. Apuntes del curso de técnicas de investigación. (Mimeografiado). División de Estudios de Postgrado. FAUANL. Marín, N.L.

Vázquez G., J. J. Peña C. y J. Baraquín. 1988. Eficiencia de algunos estiércoles y abonos verdes de azolla filiculoides, como fuente de nitrógeno para la planta. Turrialba, Costa Rica. Vol. 38, No.4, 341-344pp

Wallace, D. H., J.L. Ozbun and V. M. Munger. 1972. Physiological genetics of crop yield. Adv. in Agron. 24:97-142

Wolyn, D. J., J. Attwell, P. W. Ludden, and F. A. Bliss. 1989. Indirect measures of N₂ fixation common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under field conditions: The role of lateral root nodules. Plant and Soil. 113,181-187.

Wong R., R. 1979. Comportamiento de las características agromónicas. Indices fisiológicos y patrones de crecimiento de 50 genotipos de sorgo bajo el esquema riego-sequia. Tesis de Maestria. Rama de Genética, CP. SARH, Chapingo, México.

- Zapata, F., S.K.A. Danso, G. Hardarson, and M. Fried 1987a. Nitrogen fixation and traslocation in field-grown fababean. Agron. J. 79,505-509.
- Zapata, F., S.K A. Danso, G. Hardarson, and M. Fried 1987b. Course of nitrogen fixation in field-grown soybean using nitrogen-15 Methodology. Agron. J. 79, 172-176.
- Zamudio G., B. 1984. Predicción del novimiento de nitratos en suelos labrados. Tesis de Maestro en Ciencias. C. P. Chapingo, México.
- Zavala, F. G. 1994. Apuntes del curso de Fisiotecnia. División de Estudios de Postgrado. FAUANL. Marín, N.L.

VIII. APENDICE

Cuadro 12. Análisis de regresión lineal múltiple para el número de plantas con ahijamiento, evaluado en trigo, en el ciclo O-I 1993-94, (CAE-FAUANL).

FUENTE	G.L.	S.C.	C.M.	F Cal.	P>F
REGRESION	3	1.5700	0.5233	11.02	0.0002
RESIDUAL	20	0.9495	0.0474		
TOTAL	23	2.5195			

$$r^2 = 62.31\%$$

Cuadro 13. Análisis de regresión lineal múltiple para número de tallos por hectárea, evaluado en trigo, en el ciclo O-I 1993-94, (CAE-FAUANL).

FUENTE	G.L.	S.C.	C.M.	F Cal.	P>F
REGRESION	3	3476025.1297	1158675.0432	11.03	0.0002
RESIDUAL	20	2100558.2036	105027.9101		
TOTAL	23	5576583.3333			

$$r^2 = 62.33\%$$

Cuadro 14. Análisis de regresión lineal múltiple para número de espigas por hectárea, evaluado en trigo, en el ciclo O-I 1993-94, (CAE-FAUANL).

FUENTE	G.L.	S.C.	C.M.	F Cal.	P>F
REGRESION	3	285884.8110	95294.9370	7.90	0.0011
RESIDUAL	20	241365.1889	12068.2594		
TOTAL	23	527250.0000			

$$r^2 = 54.22\%$$

Cuadro 15. Análisis de regresión lineal múltiple para número de glumas por espiga, evaluado en trigo, en el ciclo O-I 1993-94, (CAE-FAUANL).

FUENTE	G.L.	S.C.	C.M.	F Cal.	P>F
REGRESION	2	4059816.0339	2029908.0169	62.04	0.0001
RESIDUAL	21	687117.2994	32719.8714		
TOTAL	23	4746933.3333			

$$r^2 = 85.52\%$$

Cuadro 16. Análisis de regresión lineal múltiple para peso de hoja por hectárea, evaluado en trigo, en el ciclo O-I 1993-94, (CAE-FAUANL).

FUENTE	G.L.	S.C.	C.M.	F Cal.	P>F
REGRESION	2	1072427.3159	536213.6579	5.28	0.0139
RESIDUAL	21	2132706.0173	101557.4293		
TOTAL	23	3205133.3333			

$$r^2 = 33.45\%$$

Cuadro 17. Análisis de regresión lineal múltiple para peso de tallo por hectárea, evaluado en trigo, en el ciclo O-I 1993-94, (CAE-FAUANL).

FUENTE	G.L.	S.C.	C.M.	F Cal.	P>F
REGRESION	1	2877826.0169	2877826.0169	10.74	0.0034
RESIDUAL	22	5892623.9830	267846.5446		
TOTAL	23	8770450.0000			

$$r^2 = 32.81$$

Cuadro 18. Análisis de regresión lineal múltiple para peso de paja por hectárea, evaluado en trigo, en el ciclo O-I 1993-94, (CAE-FAUANL).

FUENTE	G.L.	S.C.	C.M.	F Cal.	P>F
REGRESION	3	2196.3135	732.1045	13.64	0.0001
RESIDUAL	20	1073.5197	53.6759		
TOTAL	23	3269.8333			

$$r^2 = 67.16\%$$

Cuadro 19. Análisis de regresión lineal múltiple para peso de espiga por hectárea, evaluado en trigo, en el ciclo O-I 1993-94, (CAE-FAUANL).

FUENTE	G.L.	S.C.	C.M.	F Cal.	P>F
REGRESION	1	10678517.0602	10678517.0602	82.58	0.0001
RESIDUAL	22	2844878.7731			
TOTAL	23	13523395.8333			

$$r^2 = 78.96\%$$

Cuadro 20. Análisis de regresión lineal múltiple para volumen de 100 semillas, evaluado en trigo, ciclo O-I 1993-94, (CAE-FAUANL).

FUENTE	G.L.	S.C.	C.M.	F Cal.	P>F
REGRESION	2	23.7657	11.8828	7.94	0.0027
RESIDUAL	21	31.4275	1.4965		
TOTAL	23	55.1933			

$$r^2 = 43.05\%$$

Cuadro 21. Análisis de regresión lineal múltiple para la relación peso paja-grano, evaluado en trigo, en el ciclo O-I 1993-94 (CAE-FAUANL).

FUENTE	G.L.	S.C.	C.M.	F Cal.	P>F
REGRESION	1	1.8847	1.8847	8.17	0.0091
RESIDUAL	22	5.0735	0.2306		
TOTAL	23	6.9583			

$$r^2 = 27.08\%$$

Cuadro 22. Clasificación del suelo, en base al análisis químico evaluado en trigo, en el ciclo 0-I 1993/94 (FAUANL).

CONDUCTIVIDAD ELECTRICA mmhos.

< 2	No salino
2-4	Ligeramente salino
4-6	salino

pH.

6.80 - 7.19	Neutro
7.20 - 7.39	Muy ligeramente alcalino
7.40 - 7.79	Ligeramente alcalino
7.80 - 8.39	Medianamente alcalino
8.40 - 8.79	Fuertemente alcalino

NITROGENO TOTAL (kjeldhal) ppm.

<	-	0.032	Extremadamente pobre
0.032	-	0.063	Pobre
0.065	-	0.095	Medianamente pobre
0.096	-	0.126	Mediano
0.127	-	0.158	Medianamente rico
0.159	-	0.221	Rico
>	-	0.221	Extremadamente rico

FOSFORO (Olsen) ppm.

>	-	15.0	Extra rico
10	-	15.0	Rico
5	-	10.0	Mediano
<	-	5.0	Pobre

POTASIO (Deech) ppm.

<	-	25.0	Extremadamente pobre
25	-	50.0	Pobre
50	-	75.0	Mediano
75	-	100.0	Medianamente rico
100	-	125.0	Rico
>	-	125.0	Extremadamente rico

NITRATOS (Fenildisulfónico) ppm.

0	-	10	Bajo
10	-	20	Medio
20	-	40	Alto
>	-	40	Muy alto

NITROGENO DE NITRATOS ppm.

0	-	3	Muy bajo	21	-	40	Alto
4	-	10	Bajo	>	-	40	Muy alto
11	-	20	Medio				

Cuadro 23. Resultados del análisis físico del suelo, expresado en porcentaje de arena, limo y arcilla, evaluado en 3 estratos en trigo, en el ciclo 0-I 1993/94 FAUANL.

Profundidad cm		0 - 30	30 - 60	60 - 90
TRAT	REP	A-L-A	A-L-A	A-L-A
1	I	8-34-58	1-27-72	6-30-64
	II	4-36-60	4-28-68	1-27-78
	III	12-24-64	4-32-64	4-38-58
	VI	12-26-62	16-16-68	16-16-68
2		4-36-60	1-37-62	1-27-72
		1-41-58	1-35-64	4-36-60
		4-38-58	4-38-58	4-32-64
		10-26-64	8-10-72	6-22-72
3		4-38-58	4-38-58	26-14-60
		20-20-60	26-20-54	26-14-60
		20-24-56	26-18-56	22-20-58
		12-22-66	10-18-72	6-20-74
4		26-24-50	22-16-62	20-20-60
		30-10-60	26-14-60	24-26-50
		24-32-44	22-22-56	22-22-50
		10-24-66	12-24-64	8-18-74
5		28-14-58	30-20-50	28-10-62
		20-22-58	8-20-72	30-10-60
		30-10-60	8-18-74	8-18-74
		12-22-66	10-20-70	8-18-74
6		10-20-70	6-32-62	4-18-78
		10-20-70	4-18-78	6-18-76
		6-24-70	8-14-78	8-18-74
		10-24-66	8-22-70	8-22-70

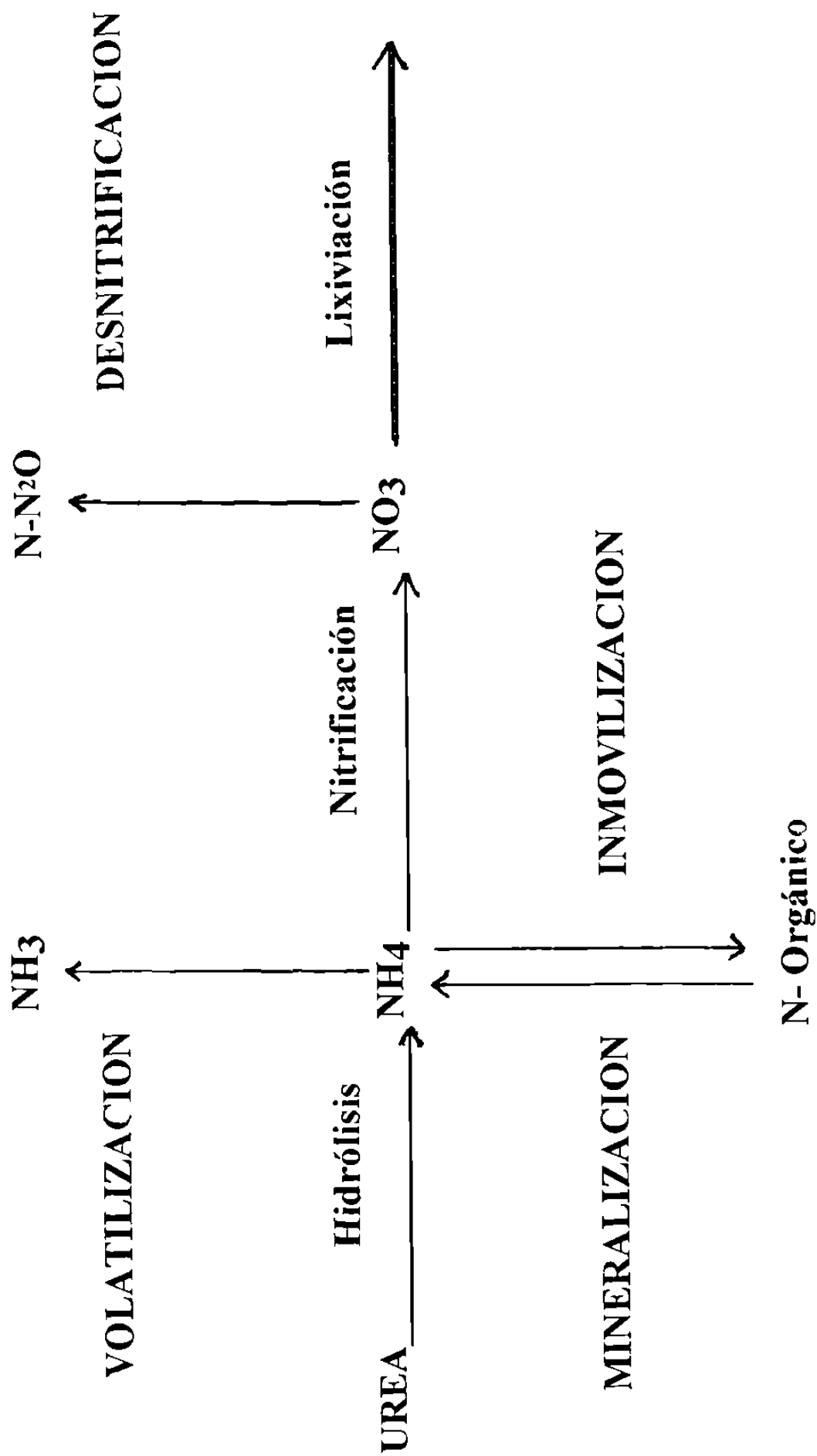


Figura 2. Representación de los principales procesos de transformación del nitrógeno en el suelo.

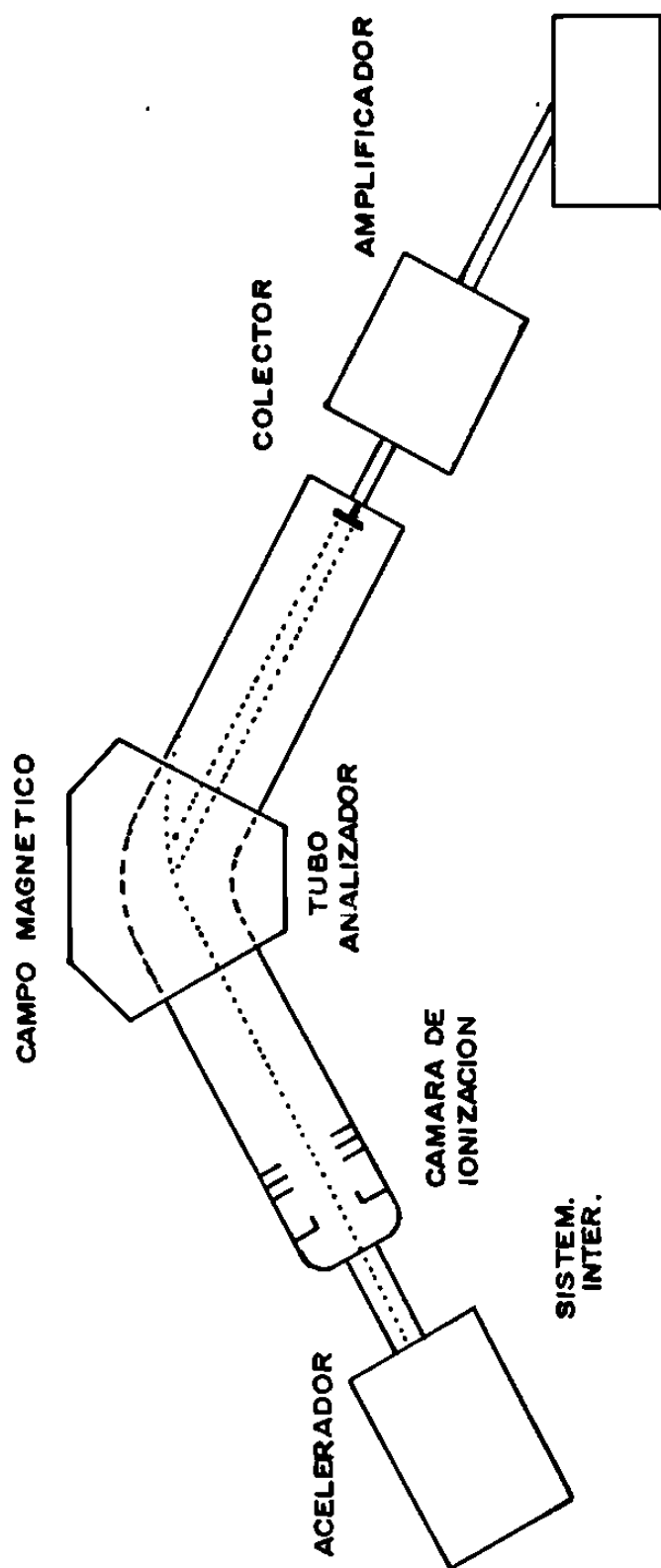
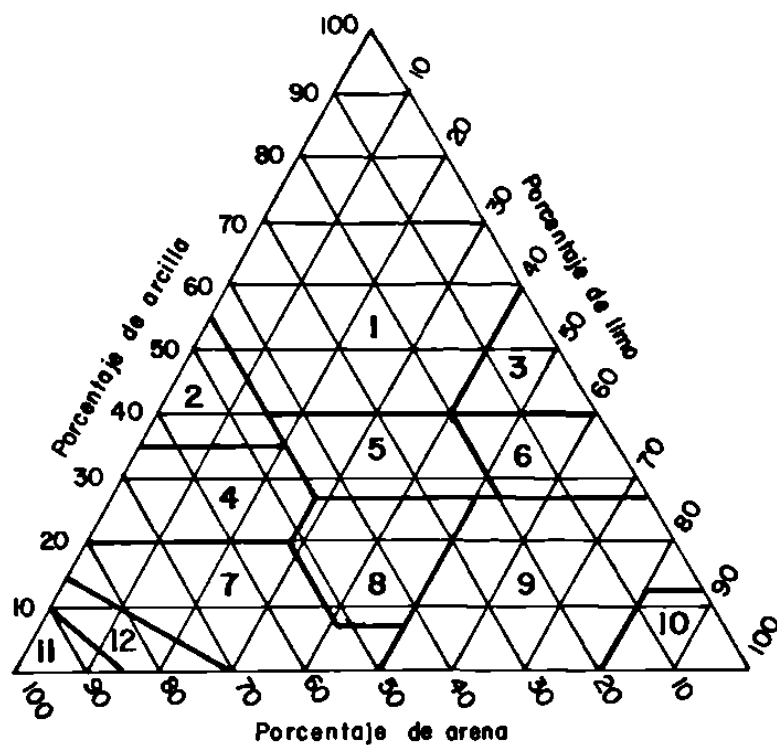


Figura 3. Diagrama del espectómetro de masas.



- | | |
|----------------------------|---------------------|
| 1- Arcilla | 7- Migajón limoso |
| 2- Arcilla arenosa | 8- Migajón |
| 3- Arcilla limosa | 9- Migajón limoso |
| 4- Migajón arcillo arenoso | 10- Limo |
| 5- Migajón arcilloso | 11- Arena |
| 6- Migajón arcillo limoso | 12- Migajón arenoso |

Figura 4. Triangulo de texturas.

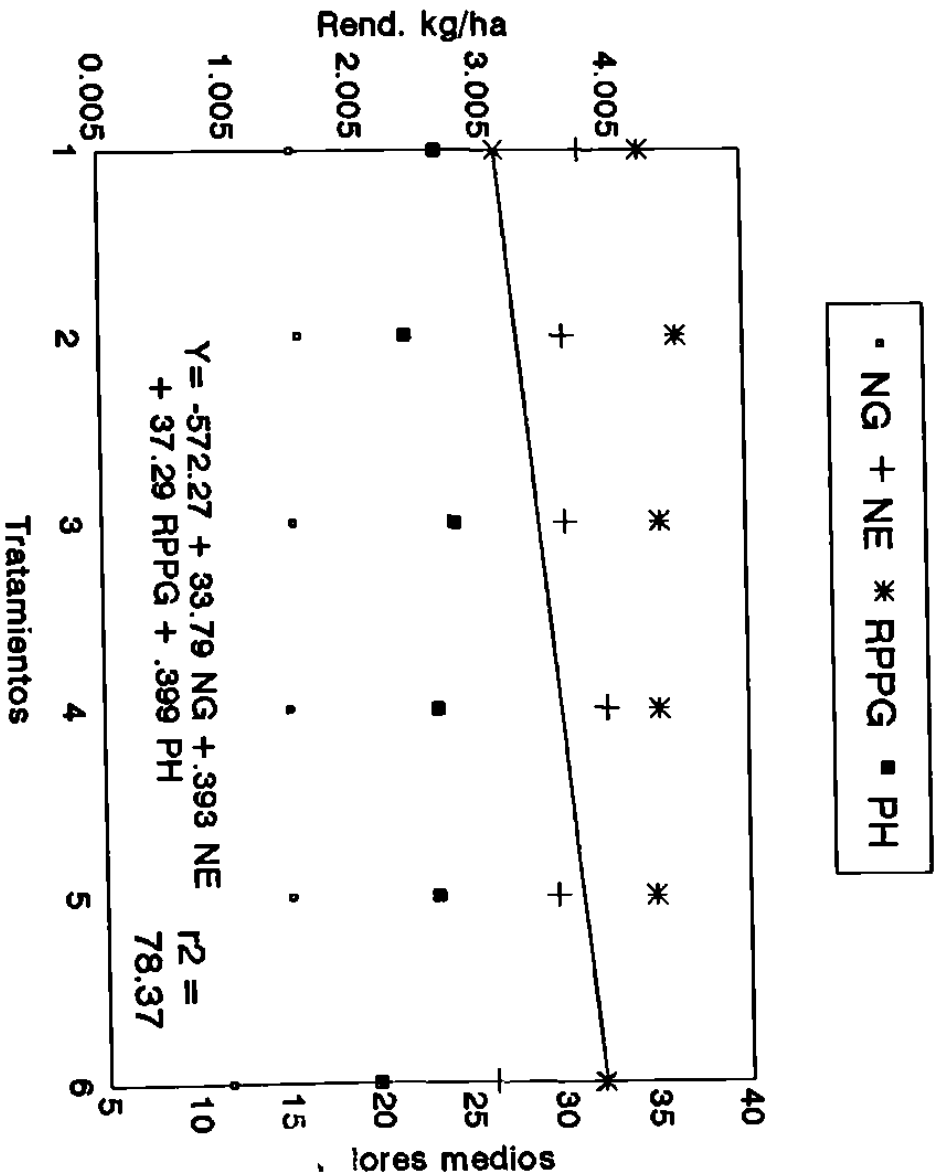


Figura 5. Modelo de regresión lineal múltiple para rendimiento de grano y variables de planta evaluadas en trigo, en el ciclo O-1 93/94, FAUANL.

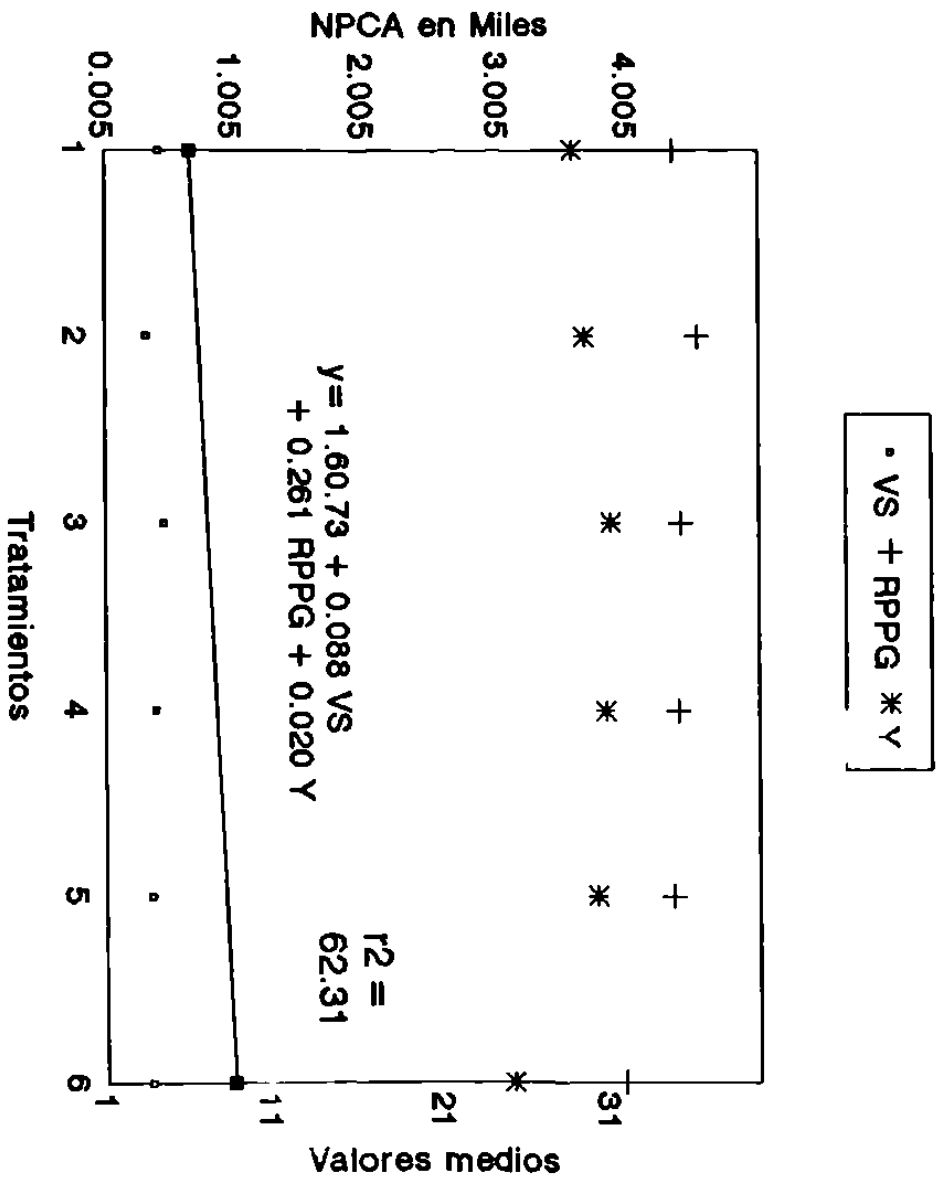


Figura 6. Modelo de regresión lineal múltiple para (NPCA) evaluadas en trigo, en el ciclo O-1 93/94, FAUANL.

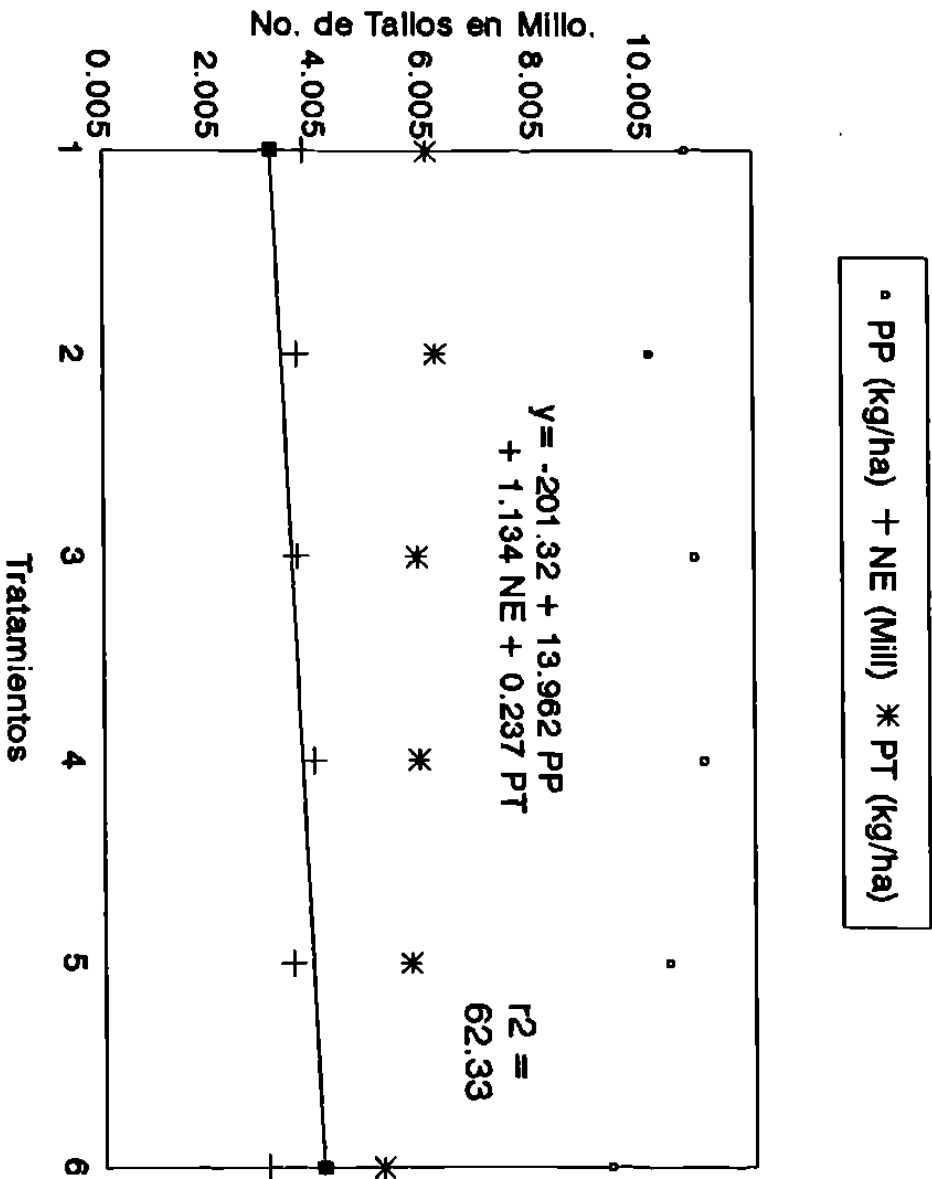


Figura 7. Modelo de regresión lineal múltiple para número de tallos evaluados en trigo, en el ciclo O-I 93/94, FAUANL.

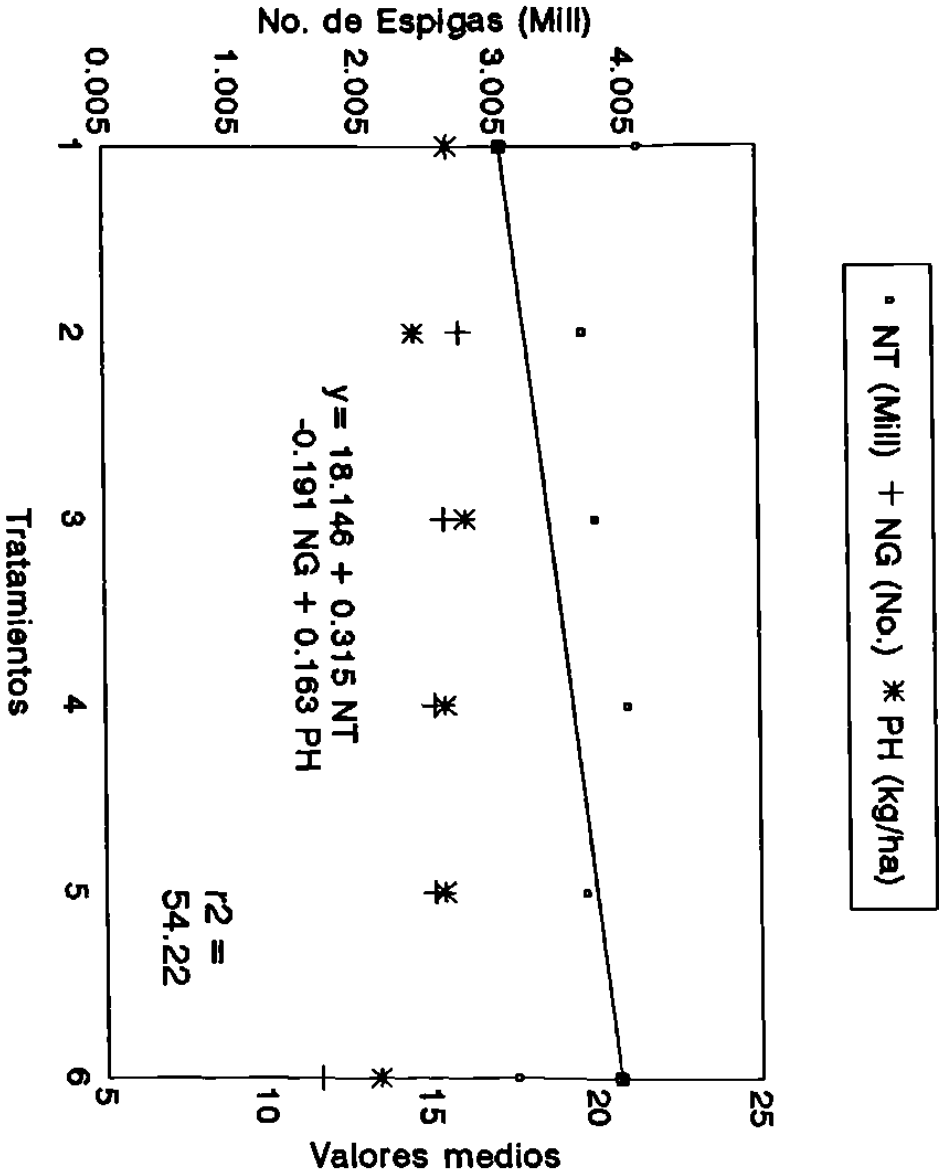


Figura 8. Modelo de regresión lineal múltiple para número de espigas evaluadas en trigo, en el ciclo O-I 93/94, FAUANL.

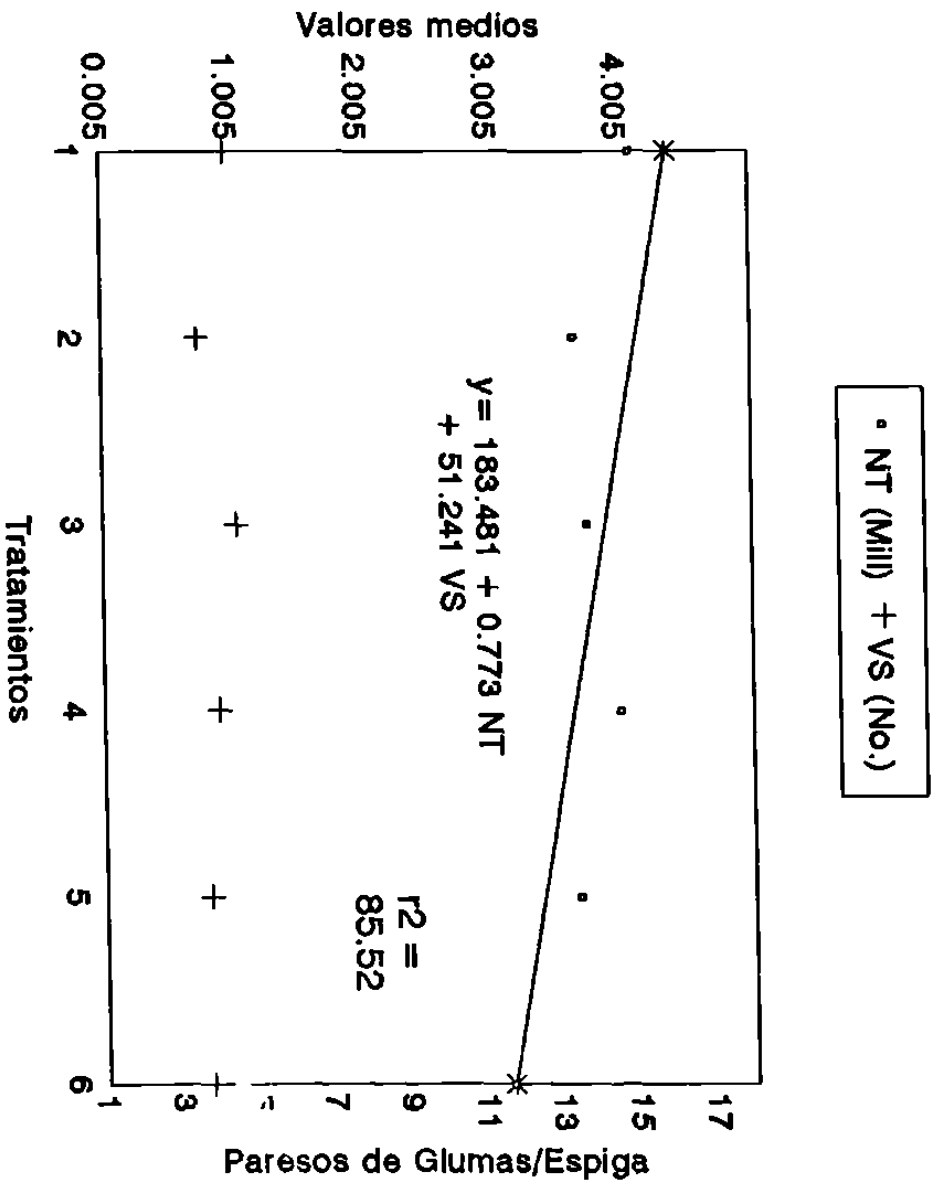


Figura 9. Modelo de regresión lineal múltiple para número de pares de glumas por espiga evaluadas en trigo, en el ciclo O-1 93/94, FAUANL.

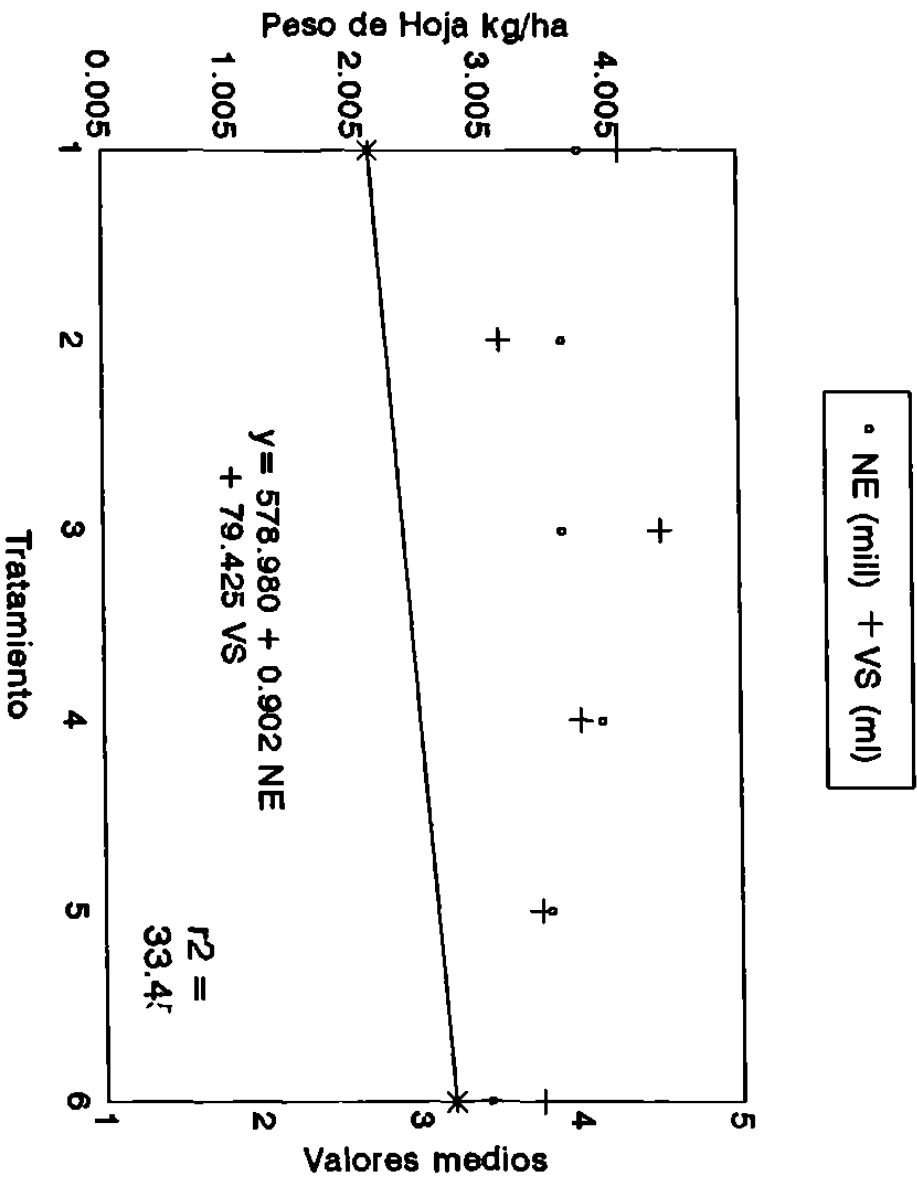


Figura 10. Modelo de regresión lÍneal múltiple para peso de hojas evaluadas en trigo, en el ciclo O-1 93/94, FAUANL.

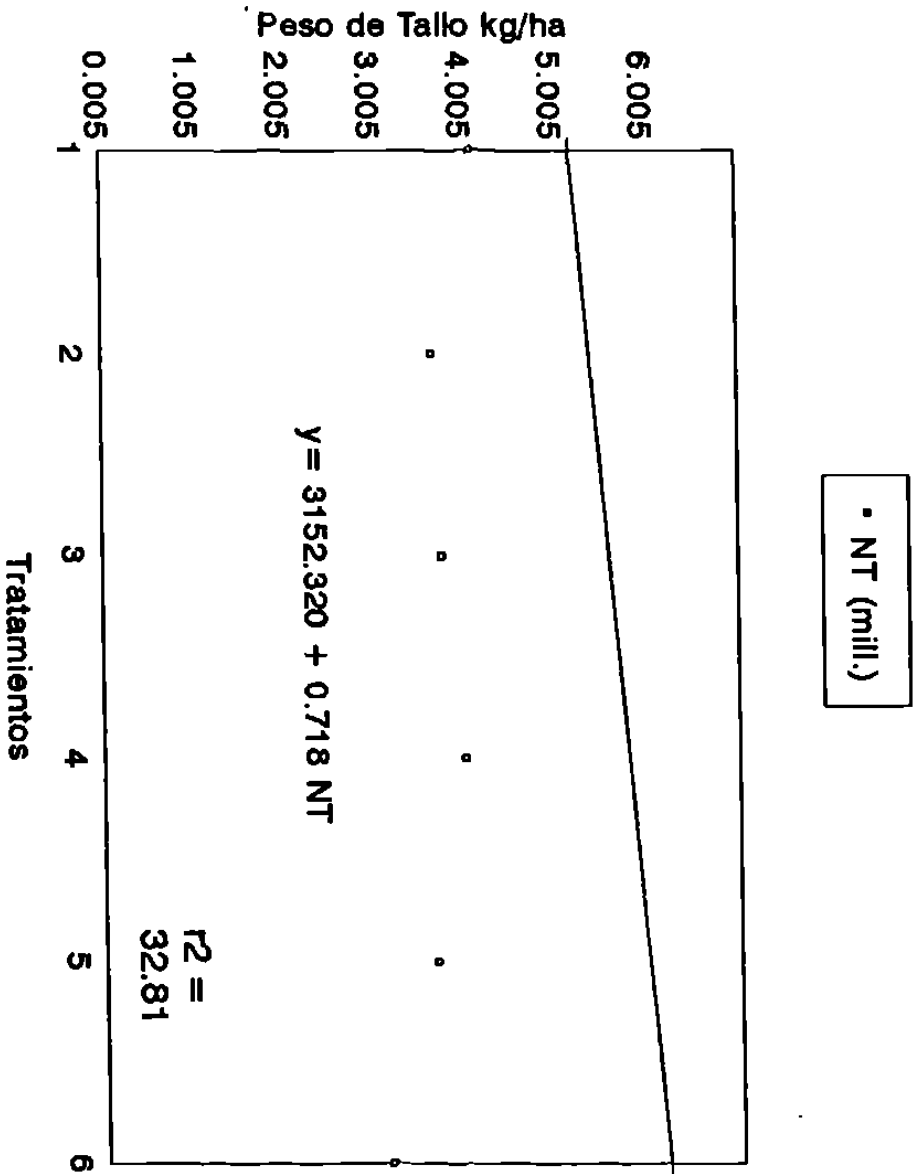


Figura 11. Modelo de regresión lineal múltiple para peso de tallo evaluado en trigo, en el ciclo O-I 93/94, FAUANL.

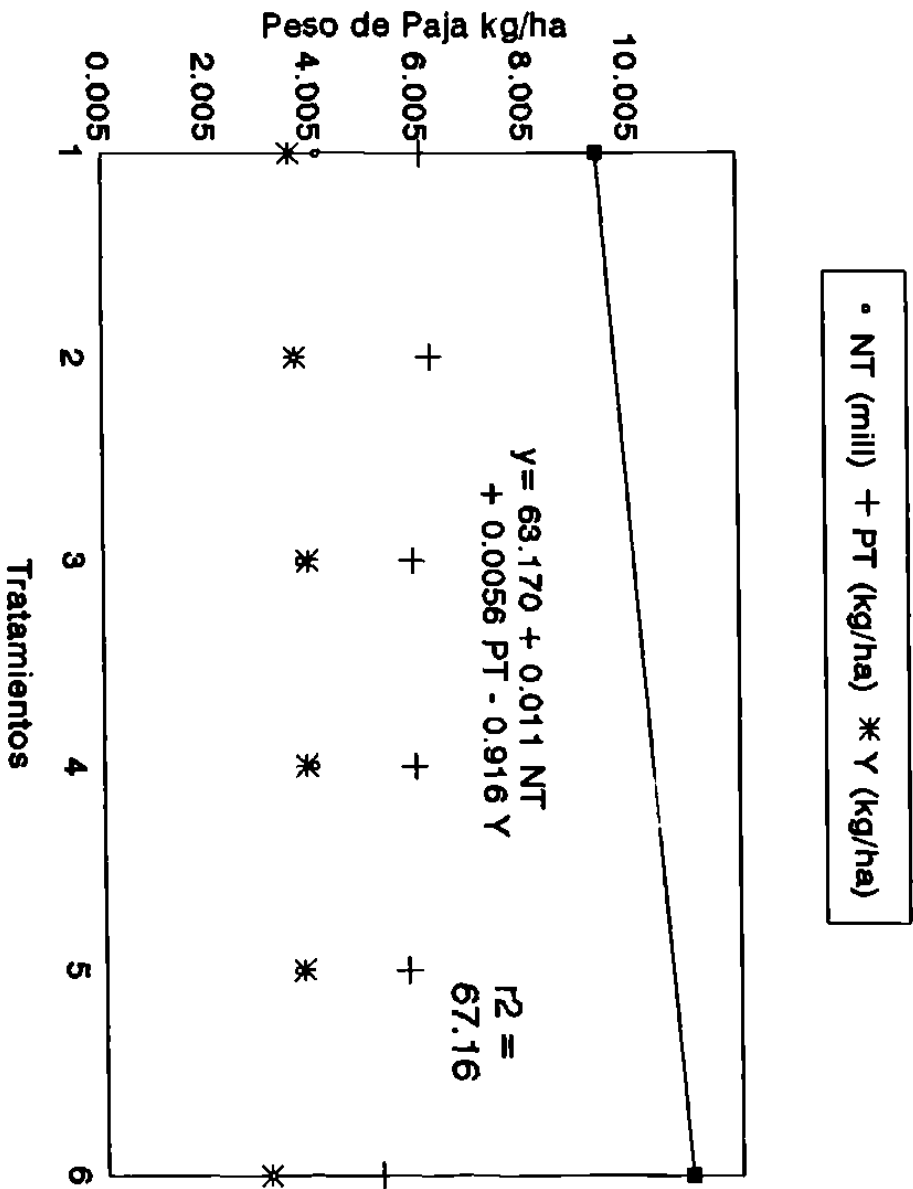


Figura 12. Modelo de regresión líneal múltiple para peso de paja evaluada en trigo, en el ciclo O-1 93/94, FAUANL.

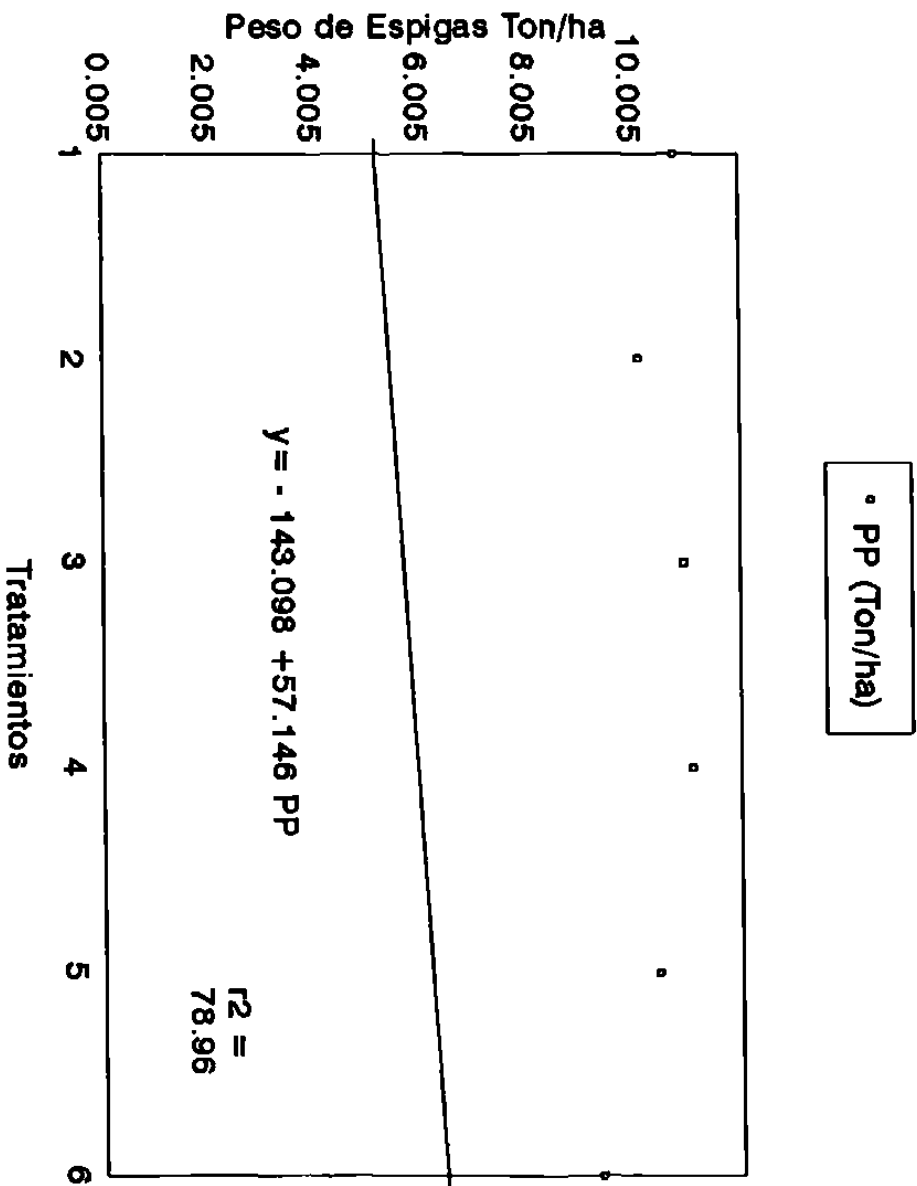


Figura 13. Modelo de regresión líneal múltiple para peso de espiga evaluada en trigo, en el ciclo O-I 93/94, FAUANL.

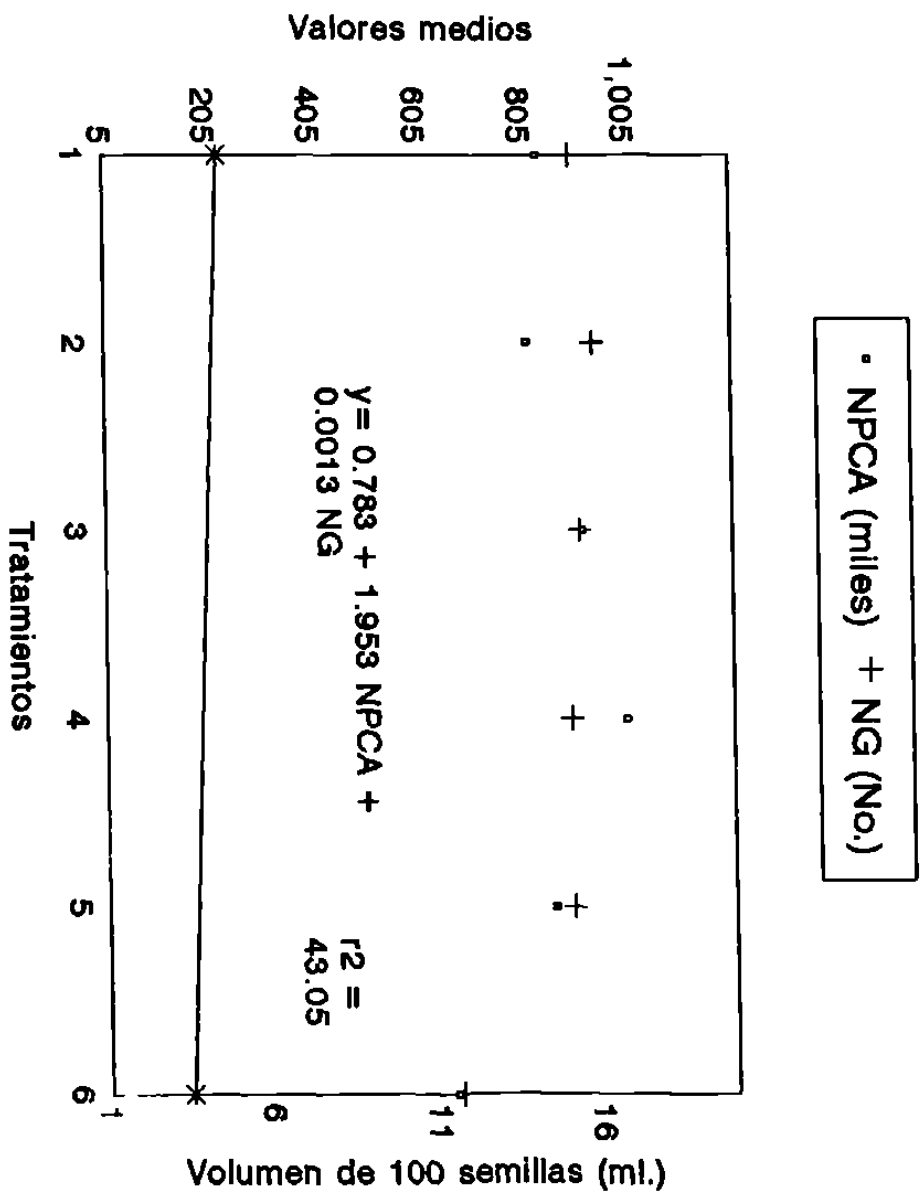


Figura 14. Modelo de regresión lineal múltiple para volumen de 100 semillas evaluadas en trigo, en el ciclo O-1 93/94, FAUANL.

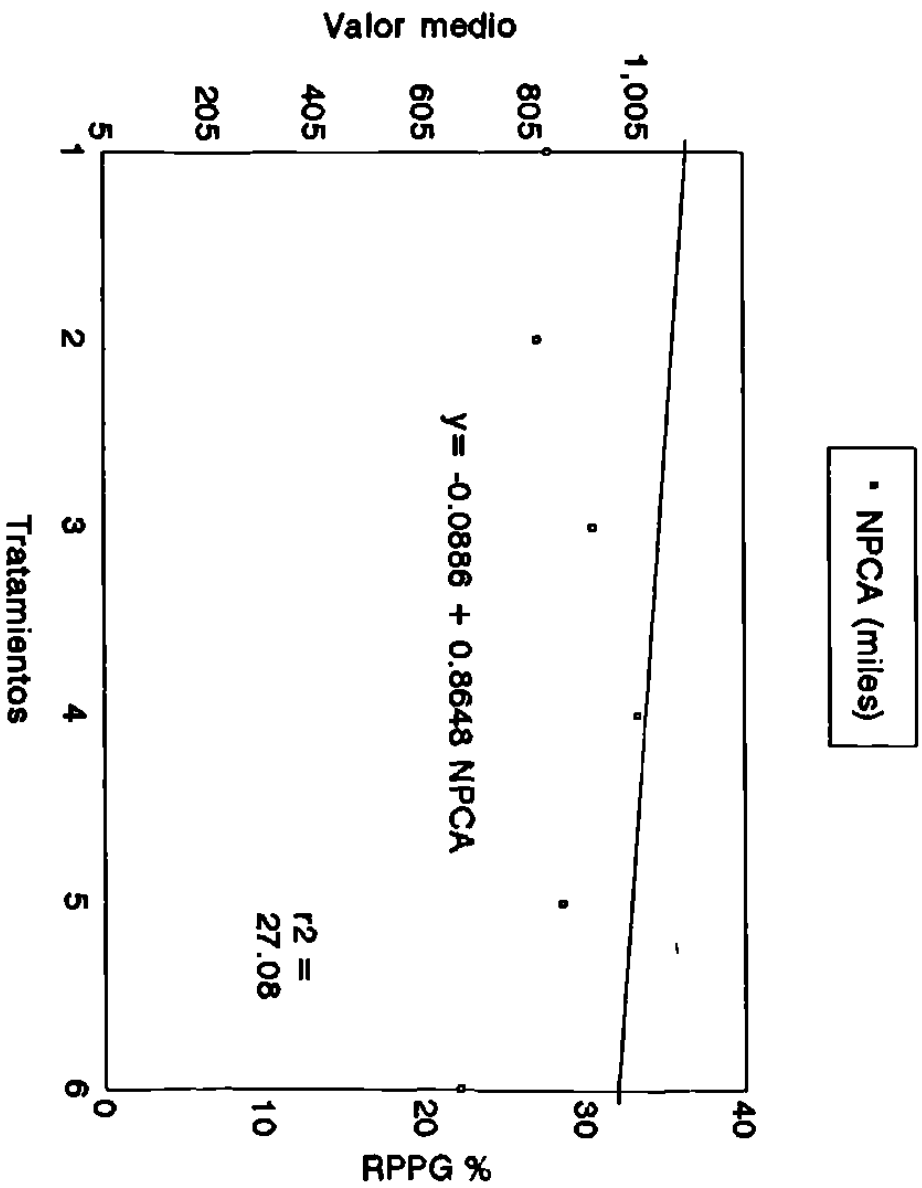


Figura 15. Modelo de regresión líneal múltiple para (RPPG) evaluada en trigo, en el ciclo O-1 93/94, FAUANL.

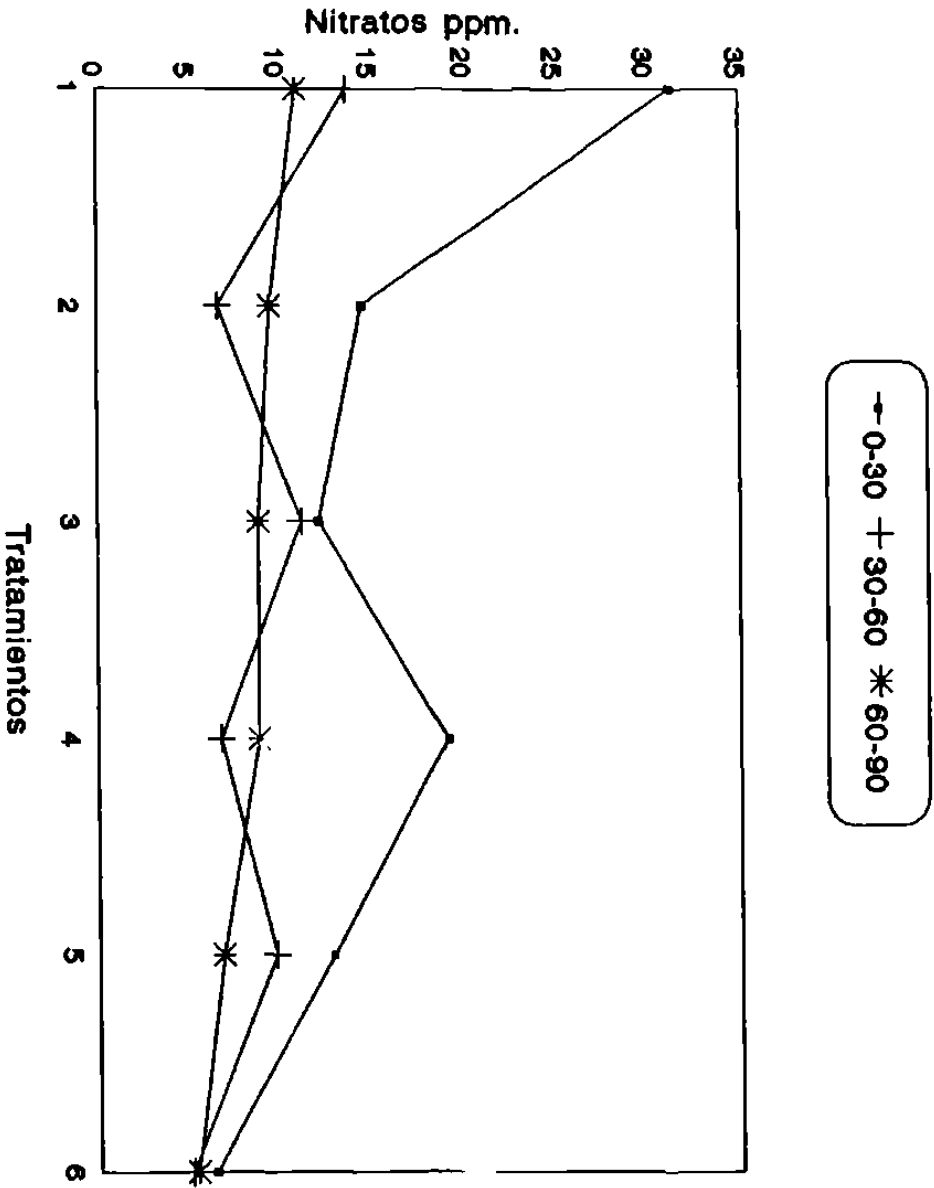


Figura 16. Contenido de nitratos en tres estratos del suelo evaluados en trigo, en el ciclo O-1 93/94, FAUANL.

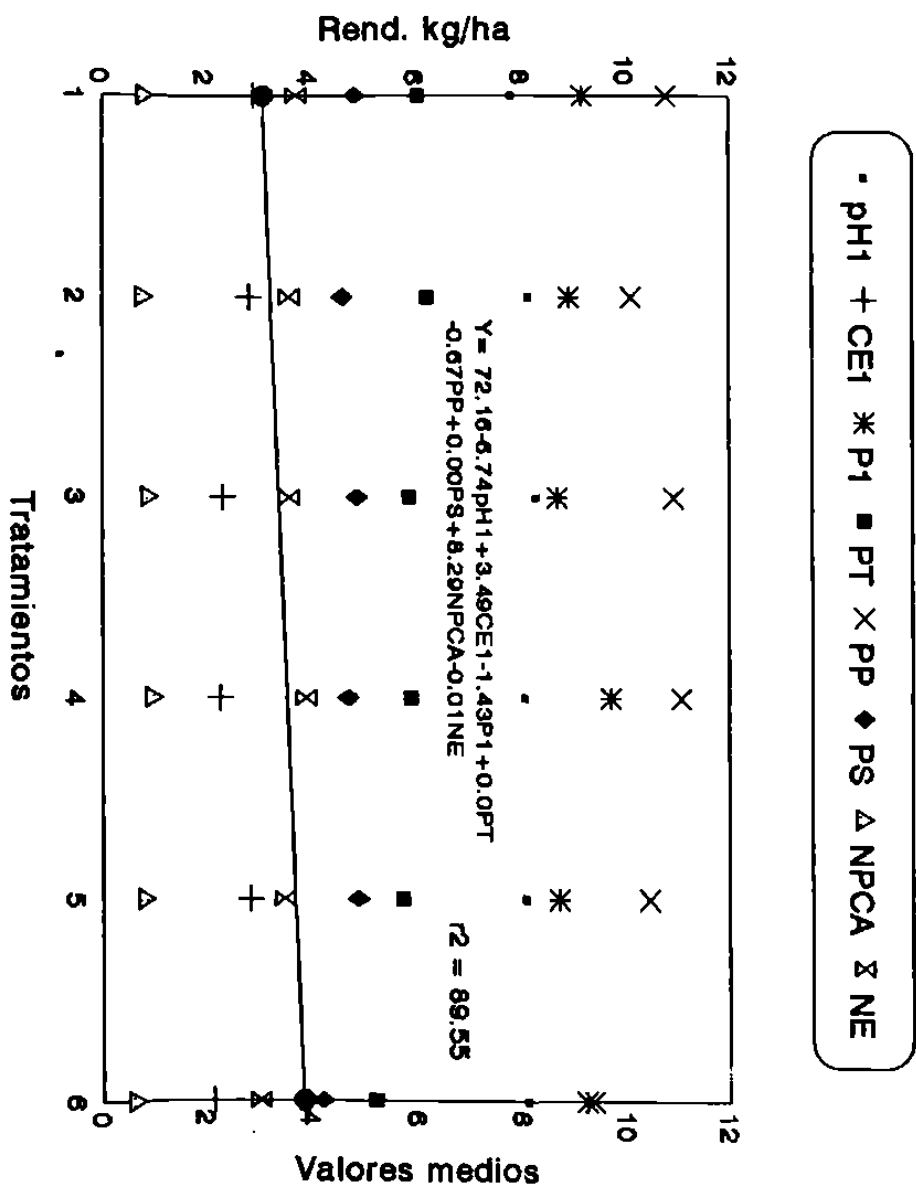


Figura 17. Modelo de regresión lineal múltiple para el rendimiento de grano y el conjunto de variables de planta y suelo evaluado en trigo, en el ciclo O-1 93/94, FAUANL.

