

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE AGRONOMIA

SUBDIRECCION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



RESPUESTA A LA APLICACION DE NITROGENO,
POTASIO Y AZUFRE EN DOS DENSIDADES DE
SIEMBRA EN MAIZ (*Zea mays* L.) EN SUELOS
CALCAREOS DEL NORTE DE TAMAULIPAS

TESIS

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

PRESENTA:

ING. RICARDO SANCHEZ DE LA CRUZ

MARIN, NUEVO LEON

ABRIL 1995

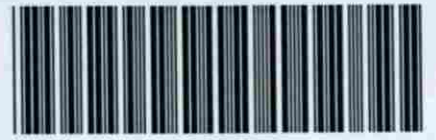
TM

SB191

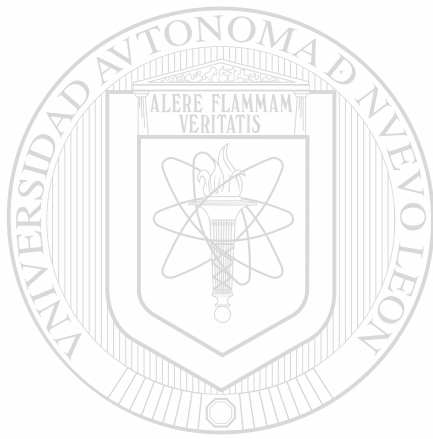
.M2

S2

c.1



1080063693



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

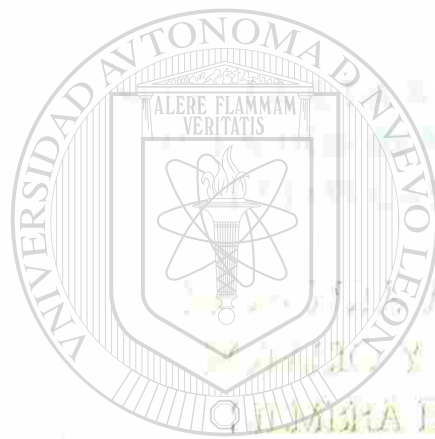
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

MT
17102
27
50

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

SECRETARÍA DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS
SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
FACULTAD DE AGRONOMÍA

INSTITUTO DE ESTUDIOS DE POSTGRADO (I.E.P.G.)



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS
ESPECIALIDAD EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

PRESENTA:

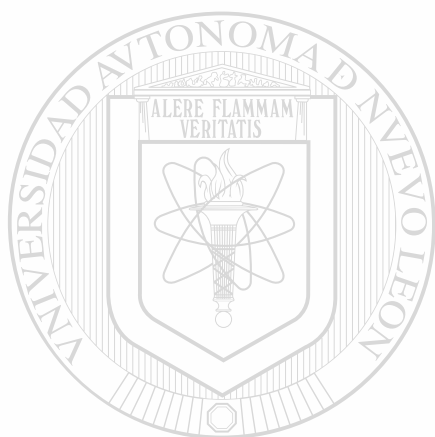
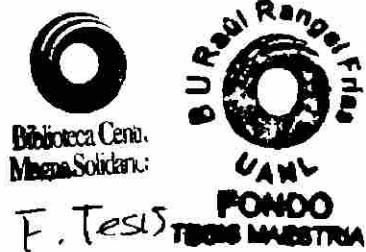
ING. RICARDO SANCHEZ DE LA CRUZ

ABRIL 1995

11951 e

BIBLIOTECA Agronomía UANL

TM
SB L91
.M2
52



045.633

FA1
1995
.5

UANL

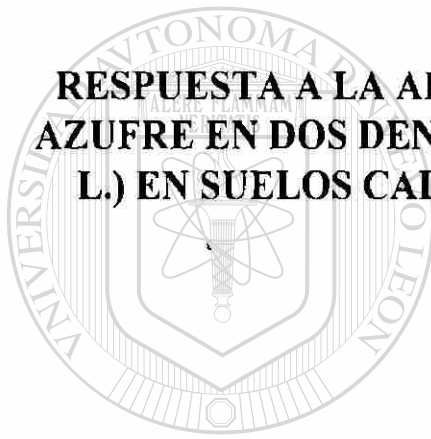
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

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

**RESPUESTA A LA APLICACION DE NITROGENO, POTASIO Y
AZUFRE EN DOS DENSIDADES DE SIEMBRA EN MAIZ (*Zea mays*
L.) EN SUELOS CALCAREOS DEL NORTE DE TAMAULIPAS**



UANL

TESIS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE MAESTRO
EN CIENCIAS EN LA ESPECIALIDAD DE
PRODUCCION AGRICOLA

PRESENTA:

ING. RICARDO SANCHEZ DE LA CRUZ

MARIN, NUEVO LEON

ABRIL 1995

RESPUESTA A LA APLICACION DE NITROGENO, POTASIO Y AZUFRE EN
DOS DENSIDADES DE SIEMBRA EN MAIZ (*Zea mays* L.) EN SUELOS
CALCAREOS DEL NORTE DE TAMAULIPAS.

TESIS

SOMETIDA AL CONSEJO DE GRADUADOS COMO REQUISITO
PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE



MAESTRO EN CIENCIAS

ESPECIALISTA EN PRODUCCION AGRICOLA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

APROBADA POR:

Ph. D. Emilio Olivares Sáenz
Asesor principal

Ph. D. Rigoberto Vázquez Alvarado
Asesor secundario

Ph. D. Francisco Zavala García
Asesor secundario

DEDICATORIA

A mi esposa e hijas

Ana María Salazar Montes, Ana Laura, Nubia Patricia y Ariana

Con amor eterno

A mis padres

Antonio Sánchez Veloquio y Purificación de la Cruz de Sánchez

Con cariño sincero

A mis hermanos

Antonio Javier, Héctor, María Josefina, Leticia, Agustín, Patricia, Idalia y
Maricruz

Con cariño sincero

A mi abuelita

Sra. Josefina Veloquio Vda. de Sánchez

Con cariño sincero

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

A mis sobrinos

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

A mis cuñadas y cuñados

A mis familiares y amigos

Por la gran comprensión y apoyo brindado para hacer posible mi superación profesional

A todos ¡MUCHAS GRACIAS!

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Emilio Olivares Sáenz por su dirección en el trabajo de tesis y estímulos brindados durante mi formación académica.

Al Dr. Rigoberto Vázquez Alvarado por sus consejos e interés mostrado en la realización de este trabajo.

Al Dr. Francisco Zavala García por la ayuda que me brindó y la asesoría en la culminación de este trabajo.

Al Ing. M. C. Ricardo D. Valdez Cepeda por su colaboración en la obtención de las variables estudiadas y asesoría en la técnica DRIS.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, a las autoridades del Centro de Investigación Regional del Noreste y Campo Experimental de Río Bravo, por la oportunidad y apoyo brindado para realizar mis estudios de postgrado.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por su apoyo económico durante mis estudios de postgrado.

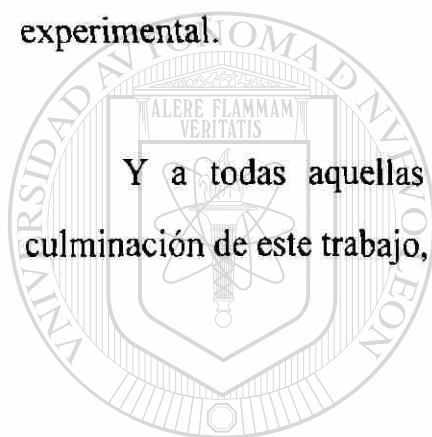
Al Patronato para la Investigación, Fomento y Sanidad Vegetal de H. Matamoros, Tamaulipas, por su apoyo económico durante mis estudios de postgrado.

A los directivos, profesores y personal administrativo de la Subdirección de Estudios de Postgrado de la FAUANL por su apoyo otorgado en todo momento.

Al Fondo de Aseguramiento Agrícola (PROAGRO)-Díaz Ordáz, Tam. por el apoyo brindado y el interés mostrado en esta investigación.

A la familia Olivares, en especial al Ing. José Olivares Sáenz por su colaboración desinteresada en el establecimiento y manejo de la parcela experimental.

Y a todas aquellas personas que intervinieron de alguna forma en la culminación de este trabajo, así como en esta etapa de mi formación académica.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

CONTENIDO

	Página
LISTA DE CUADROS Y FIGURAS	x
RESUMEN	xvii
SUMMARY	xxi
1. INTRODUCCION	1
2. LITERATURA REVISADA	5
2.1. Los suelos en el norte de Tamaulipas	5
2.1.1. Características de los suelos del norte de Tamaulipas	5
2.1.2. Origen de los suelos del norte de Tamaulipas	5
2.2. Suelos calcáreos	6
2.2.1. Que es un suelo calcáreo	6
2.2.2. Generalidades de los carbonatos	7
2.2.3. Principales minerales carbonatados	8
2.2.4. Reacción del fósforo en suelos calcáreos	9
2.3. Características de los suelos alcalinos	10
2.3.1. Influencia del pH en la utilidad del fósforo	11
2.3.2. Método de aplicación del fósforo	12
2.4. Nitrógeno	12
2.4.1. Formas utilizables del nitrógeno y su función en las plantas	12
2.4.2. Formas y movimiento del nitrógeno en el suelo	13
2.4.3. Época de aplicación del nitrógeno	14
2.4.4. Pérdidas del nitrógeno	16
2.5. Potasio (K)	17
2.5.1. El potasio en el suelo	17
2.5.2. Funciones del potasio en las plantas	18
2.5.3. Efectos del potasio en el crecimiento y desarrollo de las plantas	19
2.5.4. Concentración de potasio en las plantas de maíz	20
2.5.5. El potasio en suelos calcáreos	20

	Página
2.5.6. Respuesta a aplicaciones de potasio en suelos con concentración alta	21
2.5.7. Recomendaciones para la aplicación de potasio al suelo	21
2.5.8 Interacción de otros factores con la absorción de potasio en maíz	22
2.6 Azufre	23
2.6.1. Oxidación del S en el suelo	23
2.6.2. Mejoramiento en la utilidad de fertilizantes en suelos calcáreos	24
2.6.3. Corrección de pH por medio de acidificación del suelo	25
2.6.4. Acidificación en la banda del fertilizante.....	27
2.7. Densidad de población.....	28
2.7.1. Competencia como resultado de la densidad.....	29
2.7.2. Factores ambientales y características de la planta que afectan la densidad optima de plantas.....	30
2.7.3. Respuesta de la planta a cambios en la densidad.....	33
2.8. DRIS (Diagnosis and Recommendation Integrated System).....	35

3. MATERIALES Y METODOS.....

3.1. Localización.....	39
3.2. Características del clima	39
3.3. Diseño experimental, tratamientos y croquis.....	40
3.4. Preparación del suelo y material genético	41
3.5. Establecimiento del experimento y aplicación de tratamientos	43
3.6. Siembra	44
3.7. Riegos y labores culturales	44
3.8. Plagas y enfermedades.....	45
3.9. Suelo	46
3.10. Variables de estudio en etapa vegetativa.....	47
3.10.1. Altura de planta.....	47
3.10.2. Diámetro de tallo.....	48
3.10.3. Area foliar	49

	Página
3.10.4. Contenido de humedad del suelo	48
3.11. Variables de estudio en etapa de floración	49
3.11.1. Altura total de planta	49
3.11.2. Altura a la mazorca	49
3.11.3. Área foliar	49
3.11.4. Peso seco de maleza	50
3.12. Variables en la época de cosecha	50
3.12.1. Rendimiento de grano	51
3.13. Índice de cosecha	51
3.14. Determinación de pH y conductividad eléctrica	52
3.15. Determinación de nitrógeno, fósforo y potasio en tejido vegetal	52
3.16. Estado nutricional de las plantas según la técnica DRIS	52
3.17. Análisis estadístico	54
3.18. Análisis estadístico de la variable rendimiento por parcela útil	55
4. RESULTADOS	57
4.1. Etapa vegetativa	57
4.1.1. Área foliar	57
4.1.2. Diámetro de tallo	58
4.1.3. Altura de planta	59
4.1.4. Error de muestreo en las variables en la etapa vegetativa	62
4.2. Variables en la etapa de floración	62
4.2.1. Área foliar	62
4.2.2. Altura de mazorca	63
4.2.3. Altura de planta	64
4.3. Variables de suelo y maleza en la etapa de floración	65
4.3.1. pH del suelo	66
4.3.2. Conductividad eléctrica del suelo	67
4.3.3. Peso seco de maleza	68
4.4. Análisis foliares en la etapa de floración	69
4.4.1. Nitrógeno foliar	69
4.4.2. Fósforo foliar	70
4.4.3. Potasio foliar	71
4.4.4. Resultados de los análisis foliares con la metodología DRIS	73

	Página
4.5. Variables en la época de cosecha	73
4.5.1. Altura de planta	73
4.5.2. Altura a la mazorca	74
4.5.3. Peso seco total de planta	75
4.5.4. Peso de mazorca	76
4.5.5. Longitud de mazorca	78
4.5.6. Perímetro de mazorca	79
4.5.7. Longitud de mazorca sin llenado de grano	80
4.5.8. Hileras por mazorca	81
4.5.9. Granos por hilera	82
4.5.10. Peso de olote	84
4.5.11. Peso de 100 granos	85
4.5.12. Peso de grano	86
4.5.13. Índice de cosecha	87
4.5.14. Rendimiento por parcela útil	88
5. DISCUSIÓN	92
5.1. Aplicación de nitrógeno antes de la siembra	92
5.2. Aplicación de potasio	95
5.3. Aplicación de azufre agrícola	97
5.4. Densidad de población	98
5.5. Interpretación de los análisis foliares utilizando el criterio de los niveles críticos	101
5.5.1. Nitrógeno	101
5.5.2. Fósforo	102
5.5.3. Potasio	103
5.6. Interpretación de los análisis foliares utilizando el criterio DRIS	104
5.6.1. Nitrógeno	104
5.6.2. Potasio	104
5.6.3. Densidad	105
5.7. Análisis estadísticos utilizados en el rendimiento por parcela útil	105
5.8. Diseño de tratamientos	107
6. CONCLUSIONES	109
7. BIBLIOGRAFIA	111
8. APENDICE	118

LISTA DE CUADROS Y FIGURAS

	Página
Cuadro 1. Factores y niveles estudiados en el experimento "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94.....	40
Cuadro 2. Resultados del análisis de suelo del sitio experimental "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94.....	46
Cuadro 3. Efectos y grados de libertad (G. L.) en el diseño Taguchi L 8.....	55
Cuadro 4. Medias por factor y nivel de la variable área foliar en la etapa vegetativa en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94.....	58
Cuadro 5. Medias por factor y nivel de la variable diámetro de tallo en la etapa vegetativa en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94.....	59
Cuadro 6. Medias por factor y nivel de la variable altura de planta en la etapa vegetativa en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94.....	60
Cuadro 7. Medias de altura en la etapa vegetativa de los factores densidad y potasio en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94.....	61
Cuadro 8. Medias de altura en la etapa vegetativa de los factores nitrógeno y azufre en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94.....	61

Cuadro 9. Medias por factor y nivel de la variable área foliar en la etapa de floración en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.".
Ciclo O-I 1993-94..... 63

Cuadro 10. Medias por factor y nivel de la variable altura a la mazorca en la etapa de floración en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.".
Ciclo O-I 1993-94..... 64

Cuadro 11. Medias por factor y nivel de la variable altura de planta total en la etapa de floración en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.".
Ciclo O-I 1993-94..... 65

Cuadro 12. Medias por factor y nivel de la variable pH de suelo en la etapa de floración en el experimento "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.".
Ciclo O-I 1993-94..... 66

Cuadro 13. Medias por factor y nivel de la variable conductividad eléctrica del suelo en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.".
Ciclo O-I 1993-94..... 67

Cuadro 14. Medias por factor y nivel de la variable peso seco de maleza en la etapa de floración en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.".
Ciclo O-I 1993-94..... 69

Cuadro 15. Medias por factor y nivel de la variable % de nitrógeno foliar en la etapa de floración en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.".
Ciclo O-I 1993-94..... 70

Cuadro 16. Medias por factor y nivel de la variable % de fósforo foliar en la etapa de floración en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.".
Ciclo O-I 1993-94..... 71

Cuadro 17. Medias por factor y nivel de la variable % de potasio foliar en la etapa de floración en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam." . Ciclo O-I 1993-94.....	72
Cuadro 18. Medias de la variable % de potasio foliar en la etapa de floración de los factores potasio y azufre en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam." . Ciclo O-I 1993-94.....	72
Cuadro 19. Indices DRIS para nitrógeno, fósforo y potasio y el orden de requerimiento en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam." . Ciclo O-I 1993-94.....	73
Cuadro 20. Medias por factor y nivel de la variable altura total en la época de cosecha en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam." . Ciclo O-I 1993-94.....	74
Cuadro 21. Medias por factor y nivel de la variable altura a la mazorca en la época de cosecha en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam." . Ciclo O-I 1993-94.....	75
Cuadro 22. Medias por factor y nivel de la variable peso seco total de planta en la época de cosecha en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam." . Ciclo O-I 1993-94.....	76
Cuadro 23. Medias por factor y nivel de la variable peso de mazorca en la época de cosecha en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam." . Ciclo O-I 1993-94.....	77
Cuadro 24. Medias por factor y nivel de la variable longitud de mazorca en la época de cosecha en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam." . Ciclo O-I 1993-94.....	79

Cuadro 25. Medias por factor y nivel de la variable perímetro de mazorca en la época de cosecha en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94.....	80
Cuadro 26. Medias por factor y nivel de la variable longitud sin llenado de grano en la época de cosecha en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94.....	81
Cuadro 27. Medias por factor y nivel de la variable hileras por mazorca en la época de cosecha en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94.....	82
Cuadro 28. Medias por factor y nivel de la variable granos por hilera en la época de cosecha en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94.....	83
Cuadro 29. Medias por factor y nivel de la variable peso de olote en la época de cosecha en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94.....	85
Cuadro 30. Medias por factor y nivel de la variable peso de 100 granos en la época de cosecha en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94.....	86
Cuadro 31. Medias por factor y nivel de la variable peso de grano en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94.....	87
Cuadro 32. Medias por factor y nivel de la variable índice de cosecha en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94.....	88

Cuadro 33. Coeficientes de variación, F y P para tratamientos y covariables obtenidos con los diferentes métodos de análisis del rendimiento por parcela útil en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94..... 90

Cuadro 34. Medias ajustadas por covarianza por factor y nivel de la variable rendimiento de grano por parcela útil transformada a kg por hectárea en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94..... 91

APENDICE

Cuadro A1. Cuadrados medios para las variables área foliar, diámetro de tallo y altura de planta en la etapa vegetativa en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94. 118

Cuadro A2. Cuadrados medios para las variables área foliar, altura de mazorca y altura total en la etapa de floración en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94. 118

Cuadro A3. Cuadrados medios para las variables pH de suelo, conductividad eléctrica del suelo y peso seco de maleza en la etapa de floración en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94..... 119

Cuadro A4. Cuadrados medios para las variables % de nitrógeno foliar, % de fósforo foliar y % de potasio foliar determinados en la etapa de floración en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94..... 119

Cuadro A5. Cuadrados medios para las variables altura total, altura de mazorca, peso seco total de planta y peso de mazorca en la época de cosecha en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94. 120

Cuadro A6. cuadrados medios para las variables longitud de mazorca, perímetro de mazorca, longitud sin llenado de grano e hilera por mazorca determinados en la época de cosecha en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94.....	120
Cuadro A7. Cuadrados medios para las variables granos por hilera, peso de olote, peso de 100 granos y peso de grano determinados en la época de cosecha en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94.....	121
Cuadro A8. Cuadrados medios para la variable índice de cosecha y rendimiento por hectárea con la covariable humedad de suelo en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94.....	121
Cuadro A9. Medias por tratamiento de las variables área foliar, diámetro de tallo y altura de planta en la etapa vegetativa en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94.....	122
Cuadro A10. Medias por tratamiento de las variables área foliar, altura de mazorca y altura de planta en la etapa de floración en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94.....	122
Cuadro A11. Medias por tratamiento de las variables pH de suelo, conductividad eléctrica del suelo y peso seco de maleza en la etapa de floración en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94.....	123
Cuadro A12. Medias por tratamiento de las variables % de nitrógeno foliar, % de fósforo foliar y % de potasio foliar determinados en la etapa de floración en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94.....	123

Cuadro A13. Medias por tratamiento de las variables altura de planta, altura de mazorca, peso seco total de planta y peso de mazorca evaluados en la época de cosecha en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94..... 124

Cuadro A14. Medias por tratamiento de las variables longitud de mazorca, perímetro de mazorca, longitud sin llenado de grano y número de hileras por mazorca determinadas en la época de cosecha en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94..... 124

Cuadro A15. Medias por tratamiento de las variables granos por hilera, peso de olote, peso de 100 granos y peso de grano en la época de cosecha en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94..... 125

Cuadro A16. Medias por tratamiento de las variables índice de cosecha y rendimiento en kg ha⁻¹ en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94..... 125

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FIGURAS.

Figura 1. Distribución de los tratamientos en el campo del experimento "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94..... 42

Figura 2. Croquis del experimento en el campo con el número de tratamiento y errores estimados en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94..... 89

BIBLIOTECA Agronomía U. A. N. L.

RESUMEN

En el norte de Tamaulipas se sembraron en el ciclo O-I 93-94 236,000 hectáreas de maíz, por lo que este cultivo es el de mayor importancia en la región. La fertilización es uno de los factores que limitan el rendimiento de maíz en la región y es uno de los insumos más altos que elevan el costo de producción. Por lo que los objetivos del presente trabajo fueron 1) evaluar la fertilización nitrogenada aplicada antes de la siembra, 2) evaluar la respuesta a la aplicación de potasio, 3) determinar si existe diferencia entre densidades de población de un híbrido de maíz altamente productivo, así como la interacción de densidades con fertilización y 4) evaluar el efecto del azufre agrícola sobre el pH del suelo, rendimiento de maíz y la concentración foliar de N, P, K.

El estudio se llevó a cabo en el ciclo otoño-invierno 1993-94 en el municipio de Reynosa, Tamaulipas en la parcela ubicada en el canal sublateral 0-14 y lateral 61-7 comprendida en el área de riego del Distrito de Desarrollo Rural 2, Díaz Ordáz. El experimento se estableció bajo un diseño de bloques al azar con un arreglo ortogonal Taguchi L8; las unidades experimentales fueron de 5 surcos de 10 m de largo, utilizando como parcela útil tres surcos de 8 m. Los factores de estudio y sus niveles fueron: nitrógeno (N1=0 y N2=50 kg ha⁻¹), potasio (K1=0 y K2=80 kg ha⁻¹), azufre agrícola (S1=0 y S2=120 kg ha⁻¹) y densidad de población (D1=50,000 y D2=70,000 plantas ha⁻¹); los tratamientos evaluados fueron: 1) N1 K1 S1 D1, 2) N1 K1 S2 D2, 3) N1 K2 S1 D2, 4) N1 K2 S2 D1, 5) N2 K1 S1 D2, 6) N2 K1 S2 D1, 7) N2 K2 S1 D1 y 8) N2 K2 S2 D2.

Las variables evaluadas en la etapa vegetativa fueron: área foliar, diámetro de tallo y altura de planta; en la etapa de floración se midió área foliar, altura de mazorca, altura de planta, pH y conductividad eléctrica del suelo, peso seco de maleza y concentración de N, P, K en la hoja de la mazorca; en la cosecha se evaluó el rendimiento por parcela útil, además se cosecharon nueve plantas por parcela en donde se midió: altura de mazorca, altura de planta, peso seco total de planta, peso de mazorca, peso de grano, longitud de mazorca, perímetro de mazorca, longitud de mazorca sin polinizar, hileras por mazorca, granos por hilera, peso de olote, peso de 100 granos y rendimiento por área de las nueve plantas.

Los análisis de varianza mostraron diferencias significativas para nitrógeno en las variables altura de planta a los 45 días, altura de mazorca y altura de planta en la cosecha, longitud de mazorca, perímetro de mazorca, peso de olote, peso de grano rendimiento por área y rendimiento por parcela útil. En todas las variables se obtuvieron valores mayores con la aplicación de 50 kg ha⁻¹ de nitrógeno inicial. La diferencia en rendimiento entre los niveles de nitrógeno fue de 440 kg ha⁻¹, encontrando que al aplicar 50 kg ha⁻¹ de N al momento de la siembra se obtuvo una ganancia neta de \$186.00, considerando el precio de maíz en \$0.65 por kg, y el precio de un kg de N igual a \$2.0.

Para potasio se encontró diferencia significativa para rendimiento por hectárea y concentración de potasio en la hoja de la mazorca. El efecto de la aplicación de 80 kg ha⁻¹ de potasio fue de 302 kg, lo que equivale a una ganancia bruta de \$196.00; considerando el precio de un kg de potasio en \$3.00, se tiene una inversión de \$240.00 por hectárea al aplicar esta dosis, por lo que el incremento en rendimiento no compensó el costo del fertilizante.

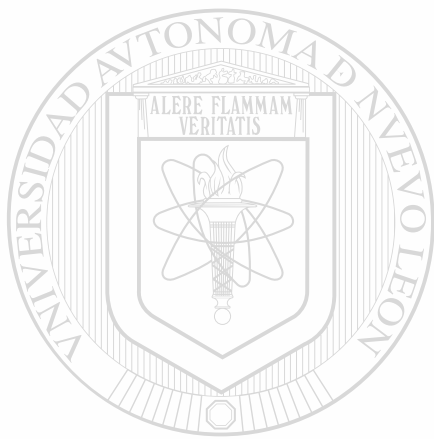
En cuanto al azufre agrícola, este solo tuvo efecto sobre el pH y conductividad eléctrica del suelo, las diferencias encontradas fueron mínimas a pesar de ser significativas. No se encontró efecto de este factor en el resto de las variables medidas ni sobre el rendimiento de grano.

Para densidad, se encontró mayor área foliar y un mayor desarrollo de mazorca en la densidad de 50,000 plantas ha⁻¹. En la densidad de 70,000 plantas ha⁻¹ se encontró una mayor altura de planta y mayor rendimiento por área. Al aumentar la densidad de 50,000 a 70,000 plantas ha⁻¹ se observó un incremento en rendimiento de 560 kg, con lo que se obtuvo una ganancia bruta de \$364.00. Si se considera la bolsa de semilla con 65,000 granos a \$250.00; el costo en el incremento de la densidad es de \$76.90, lo que da una ganancia neta de \$287.00.

En cuanto a la interpretación de los análisis foliares utilizando el criterio de los niveles críticos; se encontró que los niveles de nitrógeno y potasio estuvieron por debajo de los valores críticos, solo el fósforo estuvo dentro del rango de suficiencia reportado por la literatura. Al interpretar los análisis foliares por la técnica DRIS, los índices indicaron que para los niveles de nitrógeno estudiados, existió un mayor desbalance nutricional para el nivel N1 (0 kg ha⁻¹); para potasio, en general se observó un desbalance nutricional más fuerte para el nivel K1 (0 kg ha⁻¹); en el caso de densidad, se encontró un mayor desbalance nutricional en el nivel D2 (70,000 plantas por hectárea).

En el rendimiento por parcela útil se compararon varias técnicas de análisis estadístico, sobresaliendo la técnica de vecindad cercana con ajuste norte-sur y el análisis de covarianza usando como variable concomitante a la humedad de suelo. El

arreglo de tratamientos Taguchi L8 mostró buena eficiencia para comparar cuatro factores a dos niveles cada uno.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

SUMMARY

Corn is the most important crop at the North of Tamaulipas, Mexico, and fertilization is one of the major factors that impairs yield and increases the cost of the crop. Therefore, the purpose of this work was: 1) to evaluate if nitrogen fertilization before planting is a profitable practice; 2) to determine if potassium fertilization increases yield in a calcareous soil; 3) to determine if elemental sulfur decreases the soil pH and increases yield and mineral concentration in the leaf tissue; and 4) to evaluate two planting populations and its interaction with nitrogen, potassium and sulfur.

The experiment was carried out at the North of Tamaulipas Mexico on an irrigated field in the spring of 1994. The treatment design was a Taguchi L8 and the eight treatments were randomly distributed in a complete block experimental design with four replications. The studied factors and their levels were: nitrogen (N1=0 y N2=50 kg ha⁻¹), potassium (K1=0 y K2=80 kg ha⁻¹), elemental sulfur (S1=0 y S2=120 kg ha⁻¹) and plant density (D1=50,000 y D2=70,000 plants ha⁻¹); the treatments were: 1) N1 K1 S1 D1, 2) N1 K1 S2 D2, 3) N1 K2 S1 D2, 4) N1 K2 S2 D1, 5) N2 K1 S1 D2, 6) N2 K1 S2 D1, 7) N2 K2 S1 D1 and 8) N2 K2 S2 D2.

Plants were sampled at the 8 leave stage, leaf area, stem diameter, and plant height were measured. At the silking stage, the variables studied were leaf area, ear height, plant height, soil pH, soil electrical conductivity, weeds dry weight and foliar concentration of N, P and K. Nine plants per experimental unit were harvested and

the following variables were registered: ear height, plant height, dry weight per plant, ear weight, ear length, ear perimeter, length of ear without polinization, number of rows per ear, number of kernels per row, weight of cob, weight of 100 grains, and yield per area of the nine plants.

Analysis of variance showed significant differences between the nitrogen levels for plant height at the 8 leave stage, ear height, plant height at harvest, ear length, ear perimeter, weight of cob, kernel weight, and yield per plot. All variables showed higher values in the plots with 50 kg N ha⁻¹. Nitrogen application increased yield in 440 kg ha⁻¹, with a profit of \$186.00.

Potassium fertilization did not show any effect on plant growth or ear development. However, analysis of variance showed significant differences in yield per hectare and K concentration in the leave tissue. Potassium application increased yield in 302 kg ha⁻¹, however, this yield did not pay for the cost of potassium fertilizer.

Elemental sulfur decreased soil pH and increased soil electrical conductivity.

However, sulfur did not have any effect on variables related with plant growth and yield.

Plant density had a marked effect on yield. Plant density of 70,000 plants ha⁻¹ had higher yields (560 kg ha⁻¹) than the 50,000 plants ha⁻¹, with an estimated profit of \$287.00. However, the high density had a higher leaf area per plant and a better ear growth.

Nitrogen and potassium tissue concentrations were below of the critical range reported for corn, and phosphorus was within the critical range. DRIS (Diagnostic Recommendation Integrated System) indices were computed for nitrogen phosphorus and potassium tissue concentrations. The indices showed a greater nutrient imbalance for the N1 level of nitrogen (0 kg ha^{-1}), compared with the N2 level (50 kg ha^{-1}). Level K1 (0 kg ha^{-1}) of potassium showed a greater nutrient imbalance than level K2 (80 kg ha^{-1}). The higher plant density ($70,000 \text{ plants ha}^{-1}$) showed a greater nutrient imbalance than the low density ($50,000 \text{ plants ha}^{-1}$).

Yield per plot was analyzed using different statistical techniques. Nearest neighbor analysis (adjusted by north-south direction) and covariance analysis with soil water content as covariable were the statistical analysis that gave the lowest coefficient of variation. The treatment design (Taguchi L8) showed to be a good technique to test four factors in a field experiment.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN[®]
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

INTRODUCCION

En el área de riego del norte de Tamaulipas se sembraron aproximadamente 236,000 hectáreas de maíz en el ciclo agrícola otoño/invierno 1993-1994 (Rosales, 1994). Específicamente, en el Distrito de Desarrollo Rural 2 Díaz Ordáz, se sembraron 72,169, siendo el primero en orden de importancia, por lo que la economía del norte de Tamaulipas se basa principalmente en la producción de este cultivo. Sin embargo, los altos costos de producción y la política económica gubernamental hacia el campo en respuesta al Tratado de Libre Comercio, hacen que este cultivo sea menos redituable que en años anteriores. Esta situación obliga a los agricultores a ser más eficientes, reduciendo insumos sin bajar el rendimiento. La fertilización es uno de los insumos más importantes, por lo que es necesario realizar investigación encaminada a eficientar el uso de los fertilizantes.

En la región, la fertilización es una práctica generalizada, debido a que éstas tierras tienen más de 50 años de estar abierta al cultivo, por lo que cada año se realizan aplicaciones de nitrógeno y fósforo para satisfacer las demandas nutricionales de los cultivos. Actualmente, la dosis de fertilización recomendada para maíz de riego en suelos de primera clase es de 140-40-0 (Reyes *et al.*, 1990). Generalmente, la fertilización nitrogenada se efectúa en forma dividida, aplicando un tercio de la dosis en presembrado y el resto en planta; es probable que la fertilización en presembrado no tenga un efecto importante sobre el rendimiento del cultivo debido a que el fertilizante se aplica dos meses antes de la siembra, por lo que pueden existir pérdidas por lixiviación (Mora, 1982; Rodríguez, 1981).

Por otro lado, la fertilización con potasio en la región se está llevando a cabo por algunos agricultores en forma empírica. La respuesta del potasio aún no ha sido bien definida, sin embargo, debido al uso intensivo que se ha dado al suelo de ésta región, a las características físicas y químicas de los suelos y a la introducción de materiales genéticos con altos potenciales de rendimiento, es probable que se tenga una respuesta favorable a la aplicación de éste elemento.

Los suelos del norte de Tamaulipas son calcáreos con pH superiores a 7.5 (PIFSV, 1985), por lo que la disponibilidad de algunos nutrientes como fósforo, fierro, manganeso y zinc puede ser reducida. Estos elementos pudieran ser aprovechados en forma más eficiente por el cultivo de maíz bajando el pH del suelo en la banda donde se aplica el fertilizante con algún acidificante como el azufre agrícola.

La densidad de población y el uso de nuevos materiales genéticos son factores que están muy asociados con la fertilización. Normalmente, la respuesta de un cultivo al cambio de estos factores de la producción no es aditiva, debido a la interacción que éstos tienen entre sí, por lo que la respuesta al cambio de un factor determinado, estará definida por los niveles del resto de los factores; un cambio en cualquiera de éstos, alterará la forma de respuesta.

Debido a lo anterior, es importante evaluar la respuesta del potasio en ésta región; la efectividad de las aplicaciones de nitrógeno en forma dividida, conjuntamente con la densidad de población y tratar de reducir el pH con aplicaciones de azufre para que la disponibilidad de algunos elementos se vea favorecida.

Según las consideraciones anteriores, en el presente estudio se plantean los siguientes objetivos e hipótesis:

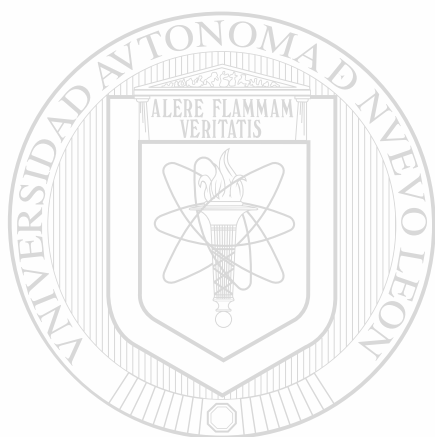
Objetivos

- 1.- Evaluar la fertilización nitrogenada aplicada antes de la siembra.
- 2.- Evaluar la respuesta a la aplicación de potasio en suelos calcáreos del norte de Tamaulipas.
- 3.- Comparar densidades de población en un híbrido de maíz altamente productivo, así como la interacción de este factor con fertilización.
- 4.- Evaluar el efecto del azufre agrícola sobre el pH del suelo, el rendimiento de maíz y la concentración foliar de N, P y K.

Hipótesis

- 1.- La aplicación de nitrógeno en presiembra no tienen ningún efecto en el rendimiento de maíz comparado con las aplicaciones fraccionadas.
- 2.- Los suelos calcáreos tienen altos niveles de potasio, por lo que pueden suministrar este elemento por períodos prolongados de tiempo; sin embargo, puede existir respuesta en el rendimiento de maíz a la aplicación de potasio en estos suelos con un uso de suelo de 50 años.

- 3.- Los nuevos materiales genéticos de alto rendimiento que se utilizan en el norte de Tamaulipas pueden sembrarse a altas densidades de población.
- 4.- El pH es uno de los factores que afectan la disponibilidad de nutrientes, por lo que al bajar el pH con aplicaciones de azufre en la banda donde quedan ubicados los fertilizantes, aumentará la disponibilidad de nutrientes y así puede aumentar el rendimiento de maíz.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

2. LITERATURA REVISADA

2.1. Los suelos en el norte de Tamaulipas.

2.1. 1. Características de los suelos del norte de Tamaulipas.

Los suelos de los distritos de riego de la zona norte de Tamaulipas comprenden 310,546 hectáreas que, según los estudios agrológicos regionales, estos se diferencian en cuanto a textura en seis grupos : I) arcillas pesadas, II) arcillas intermedias, III) arcillas friables, IV) francos con tendencia a finos, V) francos con tendencia a gruesos y VI) arenas finas.

— Algunas de las características generales de estos suelos son: ligeramente ondulados (40-60 cm km⁻¹), la altitud de los terrenos varían de 5 a 60 m sobre el nivel del mar, en general no poseen buen drenaje interno, son pobres en materia orgánica, fertilidad media con deficiencias de nitrógeno y fósforo y pH superiores a 7.5 (PIFSV 1985).

2.1.2. Origen de los suelos del norte de Tamaulipas.

Los suelos del norte de Tamaulipas corresponden a la clasificación de Rendzinias y Rendzinias degradadas. Por su origen, se consideran como suelos secundarios formados por aluviones de muy reciente deposición, cuyo material

madre a sido de tres clases: 1) pizarra, que a dado origen a la formación de suelos con alto contenido de arcilla (los suelos que predominan en la región son de textura arcillosa, cubriendo un 77% de los distritos de riego); 2) arena, arena media y fina depositada por el mar, la cual a dado lugar a suelos ligeros y 3) materiales calcáreos (Morales *et al.*, 1980).

2.2. Suelos calcáreos.

2.2.1 Que es un suelo calcáreo.

La sociedad Americana del suelo (Soil Science Society of America) define un suelo calcáreo como aquel que contiene suficiente carbonato de calcio libre o carbonato de calcio-magnesio, el cual efervesce visiblemente cuando es tratado con ácido clorídrico al 0.1 N (SSSA, 1979). Sin embargo, Duchaufour (citado por Covarrubias, 1977) menciona que, desde el punto de vista de clasificación pedológica, el grupo de "suelos calcáreos" no existe como tal. Sin embargo, los suelos derivados de materiales parentales calizos, quedan incluidos dentro de los suelos calcimórficos, siendo la denominación "suelos calcáreos" sólo un término generalizado. También menciona que son suelos intrazonales, formados sobre materiales calcáreos o residuos de ciertas rocas calizas. Poseen un horizonte superficial con reacción alcalina, neutra o a veces ligeramente ácida.

Las principales limitantes para los suelos calcáreos del noreste de México son pH altos (7-8.5), bajo contenido de materia orgánica (1-2%), textura arcillosa y alto contenido de carbonatos de calcio (>10%) (Sánchez, 1989).

2.2.2. Generalidades de los carbonatos.

Los carbonatos de calcio están ampliamente distribuidos en los suelos, presentándose por separado o asociado con otras sales. Las propiedades más importantes de los carbonatos son: 1) relativamente solubles en agua, que contenga CO_2 disuelto y por lo tanto pueda ser rápidamente perdido o retribuido al suelo; 2) cuando se presentan en cantidades mayor al 1% pueden dominar el desarrollo del suelo, ya que esta cantidad es suficiente para elevar el pH, con valores arriba de la neutralidad y mantener un alto nivel de la actividad biológica; 3) los carbonatos de calcio, son las primeras sustancias que empiezan a acumularse cuando el clima se vuelve árido; y 4) los carbonatos son regularmente adicionados a muchos suelos ácidos para elevar los valores de pH para un óptimo crecimiento de las plantas (Fitzpatrick, 1984).

Los efectos de los carbonatos en el suelo, particularmente del carbonato de calcio, se pueden considerar bajo tres formas:

1. Efectos físicos. En suelos ácidos, la influencia de los carbonatos permite fomentar una estructura granular favorable, influyendo así para que se modifiquen otras características físicas, tales como textura, permeabilidad, aireación, etc.

2. Efectos químicos. Uno de los efectos químicos más importantes de los carbonatos, es el efecto indirecto sobre el aprovechamiento nutricional de otros elementos, debido al efecto sobre el pH en los suelos. Los carbonatos en suelos alcalinos controlan la acidez del suelo y en suelos ácidos se aplican para incrementar el pH.

3. Efectos biológicos. Dentro de los efectos biológicos, el más importante es estimular el metabolismo general de los organismos heterótrofos del suelo.

La importancia de los carbonatos en el suelo, se debe a la influencia que tienen de manera directa o indirecta en el desarrollo de las características de la fertilidad y formación de los suelos (Buckman y Brady, 1977; Lindsay, 1979).

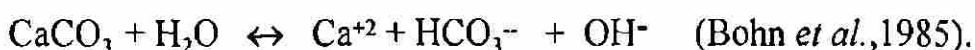
2.2.3. Principales minerales carbonatados.

Los carbonatos se presentan principalmente como cal o calcita (CaCO_3) y en ocasiones como dolomita ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$). Cuando se encuentra poca o ninguna dolomita, se producen las calizas dolomíticas y si hay muy poco carbonato cálcico-magnésico e impurezas, se usa la palabra dolomita (Buckman y Brady, 1977). Siendo la calcita y dolomita los carbonatos predominantes en los minerales del suelo.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

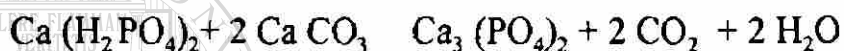
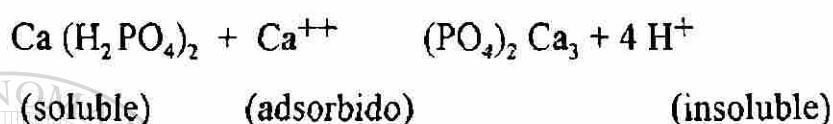
Los carbonatos pueden estar repartidos en forma variable en las distintas fracciones minerales del suelo. La caliza que forma parte de las arenas es poco soluble y por lo tanto es química y fisiológicamente inactiva. Por el contrario, la caliza químicamente activa se haya en estado muy fino y se encuentra en los limos.

El carbonato de calcio (calcita) es el mayor constituyente de algunos suelos. Una suspensión de calcita en agua pura, tiene un pH de 8.3 y la reacción de solubilidad se representa de la siguiente manera:



2.2.4. Reacción del fósforo en suelos calcáreos.

La reacción del CaCO_3 con el ion fosfato en suelos alcalinos provoca la precipitación de fosfatos. Los fosfatos aprovechables reaccionan tanto con el ion calcio como con su carbonato. Al añadir superfosfato concentrado a un suelo calizo las reacciones que tienen lugar son:



(Vazquez, 1989; Buckman y Brady, 1977).

En el suelo alcalino o calcáreo, el fósforo reacciona en la superficie de los CaCO_3 formando precipitados de fosfatos de calcio, provocando así una fuerte fijación de fósforo en el suelo (Tisdale y Nelson, 1982). Así mismo, Young *et al.* (1985) mencionó que en un suelo calcáreo o alcalino, el fosfato soluble puede revertirse a fosfato dicálcico y tricálcico insoluble, o a un compuesto de fosfato de calcio. El ion fosfato también puede ser unido a formas inutilizables sobre la superficie de las partículas de CaCO_3 y sobre arcillas de Ca saturadas. No obstante, este compuesto precipitado, tiene grandes áreas de contacto con la solución del suelo y mucho del fósforo puede ser lentamente liberado y usado por las plantas.

En los suelos calcáreos, las sales solubles de calcio disminuyen la solubilidad de los fertilizantes fosforados, formando fosfatos dicálcico (CaHPO_4) y tricálcico $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ de baja solubilidad.

El fosfato monocálcico $[\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2]$ se disuelve en la solución del suelo, formando aniones fosfóricos (H_2PO_4^-) y cationes cálcicos (Ca^{2+}), una vez ionizados los aniones fosfóricos se fijan en la arcilla, humus y caliza, lo que inmoviliza el fertilizante.

Los aniones fosfóricos son retenidos en el exterior e interior de las micelas, directamente en la capa de aluminio o por medio de calcio en las láminas de sílice. Los fosfatos fijados en los espacios interlaminares no participan del cambio iónico, por lo que quedan inmovilizados en la arcilla sin ser absorbidos por las plantas (Sánchez, 1988).

2.3. Características de los Suelos Alcalinos.

Los suelos alcalinos presentan pH superiores a 7. Las reacciones químicas envuelven un número esencial de nutrientes de las plantas que dependen del pH del suelo. La química de los suelos alcalinos está determinada por los carbonatos de calcio encontrados en el suelo. Cuando los contenidos de carbonatos de calcio en el suelo son mayores de 2-3% por peso, el pH generalmente se encuentra entre los rangos de 7.6 a 8.3.

Las cantidades de CaCO_3 en el suelo pueden exceder el 50% del peso del suelo en algunos suelos altamente calcáreos. No obstante, el pH del suelo generalmente se encuentra en el rango de 7.6 a 8.3. Dentro de este rango, el dióxido de carbono contenido en la atmósfera de los suelos puede tener una mayor influencia en el pH de los suelos calcáreos. Un incremento en el CO_2 contenido en la solución

del suelo (debido a un incremento en la respiración de microbios y/o raíz), generalmente resulta en un decremento en el pH del suelo, debido a que se incrementa el ácido carbónico (H_2CO_3) el cual vuelve a incrementar el H^+ en el suelo (Kissel *et al.*, 1985).

Brady (1974) mencionó que un exceso de CaCO_3 tiene efectos perjudiciales para los cultivos, tales como deficiencias en la disponibilidad de fierro y manganeso y cobre y/o zinc.

Fasbender (1980) indicó que las condiciones de excesiva humedad en los suelos calcáreos favorecen el ascenso del pH (resultado de la hidrólisis del CaCO_3), lo cual motiva la insolubilidad del fierro en dichos suelos.

2.3.1. Influencia del pH en la utilidad del fósforo.

Young *et al.* (1985) mencionaron que el pH del suelo tiene influencia en la utilidad del fósforo por las plantas de dos maneras: 1) el pH en la solución del suelo es determinada por la forma del ion que está presente. Dentro del rango de pH de 5 a 7.2 la forma iónica que domina es H_2PO_4^- , mientras que entre pH de 7.2 a 9 el ion dominante es HPO_4^{2-} ; siendo el primero el ion fácilmente absorbido por las plantas. 2) el pH del suelo también controla el tipo y solubilidad de los minerales, los cuales pueden proceder de la reacción de productos de fertilizantes minerales primarios y secundarios.

2.3.2. Método de aplicación del fósforo.

Algunos investigadores han encontrado que la eficiencia de los fertilizantes fosfóricos se incrementa según el método de aplicación que se utilice. Kissel *et al.* (1985) mencionaron que las aplicaciones de fertilizante fosfórico en banda, en algunos suelos tiene una respuesta en el incremento de los rendimientos, debido al aumento en la utilidad del fósforo, comparado con aplicaciones al voleo. En suelos con bajo contenido de fósforo utilizable y en temporadas durante las cuales ocurren condiciones climáticas adversas, la diferencia en eficiencia entre las aplicaciones de fósforo en banda y al voleo son mayores. Las diferencias han sido notables cuando el frío y las condiciones húmedas limitan la extracción del fósforo por los cultivos. La relativa eficiencia (banda/voleo) puede variar de 3:1, en suelos con bajo contenido de fósforo, a 1:1 para suelos con medio o alto contenido de fósforo.

2.4. Nitrógeno.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

2.4.1. Formas utilizables del nitrógeno y su función en las plantas.

El nitrógeno es un elemento vital para la nutrición de las plantas y su suministro puede ser controlado por el hombre. Las formas más comúnmente asimilables por las plantas son los iones de nitrato (NO_3^-) y el amonio (NH_4^+). Independientemente de la forma en que es absorbido por las plantas este es transformado en su interior a las formas $-\text{N}^=$, $-\text{NH}^-$, ó $-\text{NH}_2$, el cual es elaborado a compuestos más complejos y finalmente transformado en proteínas.

El nitrógeno es un constituyente esencial de toda materia viviente. Además de su papel en la formación de proteínas, el nitrógeno es parte integral de la molécula de clorofila, interviene también en la formación de aminoácidos y ácidos nucleicos (Thompson y Troeh, 1982).

En cantidades adecuadas, el nitrógeno asimilable proporciona las siguientes características (Thorne y Peterson, 1981; PIFSV, 1985):

- 1.- Plantas color verde obscuro.
- 2.- Células grandes con paredes celulares más delgadas.
- 3.- Aumenta la proporción de agua y reduce el % de Ca en los tejidos de las plantas.
- 4.- Fomenta el desarrollo vegetativo.
- 5.- Proporciona mayor capacidad de absorber los demás nutrientes.
- 6.- Produce plantas vigorosas.

2.4.2. Formas y movimiento del nitrógeno en el suelo.

El nitrógeno del suelo puede clasificarse como inorgánico y orgánico, siendo la mayor parte como integrante de los materiales orgánicos con los tejidos del suelo. Las formas inorgánicas del nitrógeno del suelo incluyen NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , N_2O y nitrógeno elemental, siendo este último inerte, excepto para su utilización por *Rhizobia*. Desde el punto de vista de la fertilidad del suelo, las formas NH_4^+ , NO_2^- y NO_3^- son las de mayor importancia; el óxido nitroso y el óxido nítrico también son importantes desde el punto de vista negativo, ya que representan formas del nitrógeno que se pierden en el proceso de desnitrificación.

Las sales nitrogenadas se mueven hacia arriba y hacia abajo en la solución del suelo, dependiendo de la dirección del movimiento del agua. De los dos tipos generales de sales nitrogenadas, los nitratos se mueven más fácilmente por que no se unen a las partículas del suelo. Por otra parte, el nitrógeno amoniacal es adsorvido por los coloides del suelo (Tisdale y Nelson, 1982).

Las formas orgánicas del nitrógeno del suelo se hallan como aminoácidos y proteínas consolidadas, aminoácidos libres, aminoazúcares y otros complejos generalmente compuestos no identificados.

2.4.3. Época de aplicación del nitrógeno.

La época en que se aplica un fertilizante nitrogenado depende del tipo de suelo, clima, cantidad de fertilizante a aplicar y cultivo. Con respecto al factor suelo, éstos difieren en la velocidad con que el agua se mueve a través de ellos. En cuanto al clima, la cantidad de lluvia entre el tiempo de aplicación y el tiempo de utilización por la planta influirá en la eficiencia del fertilizante. La temperatura afecta la liberación de nitrógeno de la materia orgánica así como el proceso de nitrificación y amonificación.

Teóricamente, es más deseable añadir nitrógeno lo más próximo posible al requerimiento máximo del cultivo, para lo cual numerosos autores (Mora, 1982; Rodríguez, 1981; PIFSV, 1985) coinciden en que la mayor demanda de nitrógeno en maíz se lleva a cabo alrededor del período de floración.

La recomendación dada para la época de aplicación de la dosis de fertilización nitrogenada en el área de riego del norte de Tamaulipas es que puede ser aplicada en dos partes; un tercio de la dosis desde 60 días antes de la siembra y el resto hasta 30 días después de emergidas las plantas (Reyes *et al.*, 1990).

Bullock *et al.* (1993) cuantificaron el efecto sobre el crecimiento y ontogenia del maíz por la fertilización nitrogenada inicial. Encontraron que en las primeras etapas de desarrollo del maíz, el peso seco del cultivo se incrementó de un 15 a 20% sin afectar el peso seco final. Del mismo modo, el peso seco de las hojas y el índice de área foliar se incrementó en las primeras fases. Sin embargo, en las fases intermedias no fueron afectados y en las etapas finales los índices se redujeron. La duración de área foliar no fue afectada. La tasa de asimilación neta se incrementó en las primeras etapas, pero no fue afectada en el llenado de grano.

Los cambios ontológicos normales en la tasa de crecimiento del cultivo fueron también acelerados por la fertilización inicial. El rendimiento de grano no fue afectado. Los autores proponen que para el híbrido usado y para la localidad en donde se desarrolló el trabajo, la falta de incremento final en el tamaño de la planta y en el rendimiento de grano fue debido a la aceleración en la maduración, la cual limitó el beneficio de incrementar el índice de área foliar en las primeras fases de desarrollo.

2.4.4. Pérdidas del nitrógeno.

Muchas veces las aplicaciones de compuestos nitrogenados pueden perderse de diferentes formas, entre las que se encuentran las pérdidas por volatilización, lixiviación, y las causadas por la erosión.

Las formas en que se pierde nitrógeno por volatilización son: el nitrógeno molecular (N_2), el amoníaco (NH_3) y los óxidos de nitrógeno (NO). Se han sugerido tres mecanismos como causa de esa pérdida: (1) desnitrificación, que es la reducción bioquímica de los nitratos bajo condiciones anaeróbicas; (2) reacciones químicas que implican a los nitritos, bajo condiciones aeróbicas; y (3) pérdidas volátiles de gas amoníaco (NH_3) de la superficie de los suelos alcalinos (Thompson y Troeh 1982; Tisdale y Nelson 1982).

Mora (1982) y Rodríguez (1981) mencionaron que una forma en que se pierde nitrógeno es por lixiviación, ya que éste pasa rápidamente a la forma nítrica y debido a precipitaciones pluviales y los sucesivos riegos a que es sometido el maíz, los nitratos son fácilmente lixiviados hacia estratos inferiores del suelo.

Siever y Holts (citados por Mora, 1982) demostraron que en suelos pesados se perdió gran parte de los nitratos producidos durante un semibarbecho de verano, los cuales fueron arrastrados por lluvias invernales hasta una profundidad que osciló entre los 60 y 180 cm.

Stregs (citado por Thompson y Troeh, 1982) demostró que una sola lluvia persistiendo 24 horas en College Station, Texas, es capaz de arrastrar los nitratos

desde la superficie del suelo hasta una profundidad de 60 cm. Una lluvia adicional los llevaría fuera del alcance de las raíces de las plantas.

Otra forma de pérdida de nitrógeno es la ocasionada por la erosión, Thompson y Troeh (1982) mencionaron que por cada tonelada de suelo que pierde un campo, arrastra nitrógeno consigo. Un suelo con 4% de materia orgánica supone 40 kg por tonelada, de los cuales, aproximadamente 2 kg (una vigésima parte) son de nitrógeno. Así, una pérdida de 10 toneladas de suelo con un 4% de materia orgánica representa una fuga de 20 kg de nitrógeno.

2.5. Potasio (K).

2.5.1. El potasio en el suelo.

El potasio comprende el 2.6% de la litosfera, es el séptimo elemento más abundante; después del hierro, calcio y sodio, es el cuarto mineral más abundante como nutriente de las plantas. El contenido de potasio libre del suelo varía de 0.1 a 3% de potasio, siendo más frecuente cerca de 1%. Esto resulta en un rango en el contenido de potasio total en el suelo entre 3,000 y 10,000 kg ha⁻¹ en los primeros 20 cm de suelo. De este contenido total de potasio, el 98% está confinado en los minerales, mientras menos del 2% está contenido o adsorbido en las formas orgánicas o en la solución del suelo (Schroeder, 1978).

El potasio en el suelo se encuentra bajo varias formas: a) potasio de cambio, se trata en este caso de iones de K⁺ retenidos por las cargas eléctricas negativas de

los coloides arcillo-húmicos, en equilibrio con los iones disueltos de la solución del suelo; b) potasio en combinaciones orgánicas que se hace utilizable al mineralizarse la materia orgánica; c) potasio fijado, se trata de iones K^+ alojados en las cavidades exagonales que se forman entre las láminas de arcilla; y d) potasio en combinación mineral (Bonciarelli, 1979).

Las plantas solo pueden tomar el potasio en la forma aprovechable. A pesar de que el potasio mineral constituye una reserva muy grande, este puede ser movilizado solo de una porción variable.

2.5.2. Funciones del potasio en las plantas.

Steineck y Header (1978) resumen las funciones más importantes del potasio en los siguientes puntos:

1.- La participación indirecta del potasio en los procesos de crecimiento se basa sobre el control de funciones en varios procesos sintéticos, particularmente en la utilización de la luz en la fotosíntesis.

2.- El mejoramiento de la fotosíntesis total es el resultado del incremento en el contenido de clorofila, la capacidad de fijación de CO_2 de los cloroplastos, incrementos en el área foliar y en la turgencia de los tejidos de la planta y mejoramiento en el uso eficiente del agua.

- 3.- El potasio favorece la traslocación de metabolitos y así indirectamente favorece la fotosíntesis al remover productos de los sitios de actividad fotosintética.
- 4.- Un efecto indirecto del potasio resulta de incrementar la capacidad de distribución, aumentando así la demanda de asimilados.
- 5.- Como resultado de la participación en el metabolismo, el potasio influye en los componentes morfológicos de rendimiento.
- 6.- El potasio determina el uso eficiente del nitrógeno que es utilizado por las plantas, el cual tiene influencia directa en el rendimiento.
- 7.- La nutrición de potasio puede siempre ser considerada en relación al abastecimiento del nitrógeno, la función de los dos elementos está intrínsecamente conectada.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN[®]
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

2.5.3. Efectos del potasio en el crecimiento y desarrollo de las plantas.

El potasio incrementa la resistencia a las enfermedades. En maíz, la pudrición del tallo y el acame son más severos en suelos deficientes en potasio. Esto se debe a que las deficiencias de potasio impiden la lignificación adecuada del tejido vascular. Otra de las causas mencionadas por Quintanilla (1978), por las cuales el maíz se acama cuando tiene deficiencias de potasio es que reduce el desarrollo de raíces, especialmente las raíces adventicias

2.5.4. Concentración de potasio en las plantas de maíz.

El potasio acumulado por el grano es relativamente poco comparado con el potasio que se queda en el tejido vegetal, el cual normalmente se incorpora al suelo (Larson y Hanway, 1977). De acuerdo con datos presentados por Mengel y Kirkby (1982), el maíz con rendimiento de 9.5 ton/ha de grano extrae 37 kg de potasio; 11 toneladas de paja extraen 135 kg. Barber y Olsen (1968) reportaron que la concentración de potasio en la hoja de la mazorca está en el rango de 1.75 a 2.25%. Estos resultados coinciden con los reportados por Jones y Eck (1973) así como los de Summer (1979), quienes mencionaron que la concentración normal de potasio en la hoja de la mazorca esta entre 1.7 y 2.5% al momento del despegue del jilote. Estos autores, también mencionaron que las plantas deficientes en potasio, tienen una concentración menor de 1.21%; sin embargo, Quintanilla (1978) mencionó que el nivel crítico de potasio en las hojas está entre 1.3 y 1.8%.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

2.5.5. El potasio en suelos calcáreos.

Los suelos de regiones áridas son generalmente ricos en potasio y normalmente no se utiliza este elemento como fertilizante en el Norte de México. Sin embargo, hay evidencias de que el potasio interacciona con el calcio en suelos calcáreos reduciendo su disponibilidad.

En 20 suelos calcáreos de España, se encontró que la concentración de potasio en la solución del suelo fue reducida a medida que se incrementaba la concentración de calcio en el suelo (Díez, 1979). El autor reportó que la

concentración de potasio en la solución del suelo fue baja en 15 de los 20 suelos calcáreos estudiados; además, la mayoría de los suelos mostraron valores bajos de potasio intercambiable.

2.5.6. Respuesta a aplicaciones de potasio en suelos con concentración alta.

Algunos investigadores han encontrado respuesta a la aplicación de potasio en suelos donde hay suficiente cantidad de este elemento. Barbarick (1985) encontró incrementos en rendimiento de alfalfa en un suelo con adecuados niveles de potasio. Los resultados mostraron que la aplicación de potasio disminuyó la absorción de sodio. Por lo que se sugirió que en suelos con altos niveles de potasio y sodio se pueden obtener incrementos de rendimiento al aplicar potasio debido a una disminución en la absorción de sodio.

2.5.7. Recomendaciones para la aplicación de potasio al suelo.

En suelos con suficiente cantidad de potasio se sugiere que se aplique en cantidades iguales a la cantidad de potasio removida por los cultivos y lixiviado, para mantener el balance de este elemento en el suelo y mantener el nivel de fertilidad. Barber y Olsen (1968) sugirieron que para mantener el nivel de fertilidad de los suelos se aplique una mayor cantidad de potasio del que es removido debido a la fijación de este elemento por el suelo.

2.5.8. Interacción de otros factores con la absorción de potasio en maíz.

Se ha reportado que los requerimientos de potasio se incrementan en sistemas de producción de alta tecnología. Heckman y Kamprath (1992) sugirieron que prácticas tales como irrigación, mayor población de plantas y aplicaciones de nitrógeno pueden incrementar los requerimientos de potasio.

Algunos investigadores, entre ellos Makey y Barber (1985) reportaron que la absorción de potasio por el maíz, es mayor cuando se tienen niveles adecuados de humedad. Estos investigadores atribuyeron este resultado a que cuando no hay suficiente humedad en el suelo, la difusión de potasio disminuye, así como el crecimiento radicular.

La respuesta a la aplicación de potasio depende del nivel de nitrógeno en el suelo. Generalmente, entre más nitrógeno se encuentre en el suelo, mayores son los requerimientos de potasio. También ocurre una mayor respuesta a aplicaciones de nitrógeno en presencia de adecuados niveles de potasio. Steineck y Haeder (1978) mencionaron que hay una interacción entre el potasio y el nitrógeno. Sugirieron que esto se debe a que el potasio tiene funciones regulatorias específicas en el metabolismo del nitrógeno. Faizy (1979) también reportó una interacción significativa entre el nitrógeno y el potasio, encontrando que la concentración en el tejido de estos elementos debería estar en proporción (N/K) entre 2 y 4.

El calcio y el magnesio compiten con el potasio al entrar a la planta. Tisdale *et al.*, (1985) mencionaron que la absorción de potasio se reduce en suelos altos en calcio, así como la absorción de calcio y magnesio se reduce en presencia de altos

niveles de potasio. En maíz se ha encontrado que la concentración de potasio en la hoja de la mazorca es menor en plantas con alta concentración de magnesio.

2.6 Azufre.

2.6.1. Oxidación del S en el suelo.

Una de las condiciones para que el azufre pueda oxidarse es la presencia de bacterias del género *Thiobacillus*. Beaton *et al.* (1985) y Kanopka *et al.* (1986) reportan que el azufre elemental es convertido a SO_4^{2-} por oxidación biológica. Las bacterias autotróficas y heterotróficas, los hongos y los actinomicetos son capaces de oxidar el azufre elemental, aunque la más importante es la bacteria autotrófica del género *Thiobacillus*. Así mismo, las temperaturas entre 30 y 40 °C y contenidos altos de humedad en el suelo favorecen la oxidación del S elemental, así como cuando esta mezclado con el suelo. Por otro lado, Weir (citado por Kanopka *et al.*, 1986) mencionó que algunos factores que tienen influencia en la oxidación del azufre en los suelos son: tamaño de la partícula de S, tipo de suelo, pH, temperatura, contenido de humedad del suelo y la influencia de la aplicación de insecticidas al suelo.

Aburto (1987) estudió, bajo condiciones de invernadero, la oxidación de diferentes fuentes de azufre agrícola en suelos alcalinos de Nuevo México, en presencia de dos especies de bacterias del género *Thiobacillus*, las cuales fueron *thiooxidans* y *thioparus*. Las fuentes de azufre fueron S precipitado (Sp), S Dispersul (Sd), S humectable (Sw) y S líquido (Sf). Este autor encontró que al adicionarlos

a un suelo calcáreo, los niveles de oxidación de Sp, Sd y Sw se incrementó. *T. thiooxidans*, no oxidó el azufre líquido (Sf). *T. thioparus* oxidó todas las fuentes en el siguiente orden de mayor a menor grado de oxidación: Sp, Sd, Sw y Sf.

El mismo autor evaluó fuentes (Sp y Sw) y niveles de azufre (0, 9.1, 18.2, 36.4 y 72.8 g parcela⁻¹), técnicas de aplicación (en banda y al boleó), especies de *Thiobacillus* (*T. thiooxidans* y *T. thioparus*) y tipo de conducción (en suelo turba y cultura de fluidos) así como su efecto sobre la clorosis en sorgo (*Sorghum bicolor* L), peso seco, pH y CE. Los resultados no fueron consistentes en ninguno de los tratamientos. El azufre más turba, tuvo el efecto más drástico en el crecimiento de las plantas y la clorosis, independientemente de la inoculación con *Thiobacillus*. Sin embargo, la turba fue aplicada como tipo de conducción y no como una fuente de fierro. La inoculación con *Thiobacillus* bajó el pH del suelo en comparación con lo no inoculado, aunque esta respuesta no se manifestó en la planta.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

2.6.2. Mejoramiento en la utilidad de fertilizantes en suelos calcáreos.

La disponibilidad de numerosos elementos nutritivos se ve influenciada por la presencia de CaCO₃ y la asociación de pH altos, por lo que la eficacia de estos tiende a aumentar al acidificar este tipo de suelos. Sánchez *et al.* (citados por Castorena, 1994) encontraron que aplicaciones de 20, 160 y 320 meq de azufre 100 g⁻¹ de suelo incrementaron la solubilidad del manganeso en 66.3, 136.6 y 153.6 ppm, respectivamente, después de dos semanas de incubación del azufre. Así mismo, la solubilidad del zinc tuvo su máximo incremento en el mismo tiempo de incubación y para el caso del cobre no se detectó ningún efecto. En cuanto al pH los resultados

mostraron que con 20 meq de azufre por 100 g⁻¹ de suelo después de dos semanas el pH bajó hasta la neutralidad.

Mathers (citado por Beaton *et al.*, 1985) encontró que la productividad de un suelo calcáreo con respecto al rendimiento de sorgo de grano, fue mejorado en gran medida por la aplicación de 560 kg ha⁻¹ de H₂SO₄ o un nivel similar de Fe en la forma de FeSO₄. Por otro lado, Clement (citado por Beaton *et al.*, 1985), comparó el efecto de tres fuentes de S y la aplicación de P soluble en agua sobre la extracción de P en lechuga en cuatro suelos calcáreos. Encontró que el tratamiento de S, especialmente el H₂SO₄, incrementó en gran medida la extracción de fósforo; determinando que en promedio, por cada 0.1 unidad que decrece el pH del suelo, la utilidad del P en el suelo se incrementa 3.2 mg kg⁻¹.

2.6.3. Corrección de pH por medio de acidificación del suelo.

Los materiales más comúnmente usados para la acidificación del suelo son H₂SO₄, S, FeSO₄, (NH₄)₂SO₄, Al₂(SO₄)₃ y FeS₂; aunque el S elemental y el H₂SO₄ son los acidificantes más usados (Aburto, 1987). Un trabajo sobre el efecto de la acidificación, resultado de la adición de S en la utilidad de los nutrientes fue reportado por Hussan y Olson (citados por Beaton *et al.*, 1985). Ellos aplicaron niveles de S de 0, 50, 500 y 5,000 mg kg⁻¹ en tres suelos que variaron de ácidos a calcáreos. El S aplicado incrementó la extracción de nutrientes para maíz en invernadero como sigue: P en suelos neutros y calcáreos; S y Mg (hasta en niveles bajos de S) en todos los suelos; Zn en las primeras etapas de desarrollo del cultivo, en todos los suelos, con ligeros beneficios extendidos sobre la última cosecha en

suelos calcáreos; Fe en los suelos calcáreos y Cu hasta la cosecha temprana en todos los suelos y durante toda la última cosecha en suelos neutrales y calcáreos (Beaton *et al.*, 1985).

Albalate (1992) estudió, bajo condiciones de laboratorio, la oxidación del azufre durante un período de 1, 2 y 4 semanas después de aplicar 0, 20, 60 y 320 meq S 100 g^{-1} de suelo. Encontró que la aplicación de azufre redujo significativamente el pH del suelo, siendo más marcado el efecto con la aplicación de 320 meq 100 g^{-1} . Sin embargo, por razones prácticas, recomendó la dosis de 20 meq S 100 g^{-1} , la cual redujo el pH del suelo hasta la neutralidad después de dos semanas de incubación. Así mismo, encontró que al incrementar las dosis de azufre, la conductividad del suelo aumentó debido al incremento de la cantidad de sales solubles.

Díaz (1991) estudió el efecto del azufre, sulfato de amonio y nitrato de amonio sobre la hidrólisis de la urea y la nitrificación de la misma, bajo condiciones de laboratorio. El tiempo de estudio de la hidrólisis de la urea fue de 4, 8 y 16 días, después de aplicar dosis de 0 y 150 mg de N g^{-1} de suelo y de 0 y 20 meq de S 100 g^{-1} de suelo. Encontró que el mayor efecto acidificante fue cuando se aplicaron las fuentes fertilizantes junto con el azufre, siendo más marcado sobre el nitrato de amonio; así mismo, observó que la conductividad eléctrica se incrementó cuando se aplicó S debido a la oxidación del mismo y a la formación de sales con el CaCO_3 .

El efecto acidificante retardó la hidrólisis de la urea de 36 a 96 horas cuando esta se aplicó junto a 20 meq de S 100 g^{-1} de suelo, aumentando con esto la permanencia de N-NH_4^+ en el suelo. La permanencia fue mayor cuando se aplicó

sulfato de amonio más azufre, siguiendo, en forma descendiente, la urea y el nitrato de amonio, ambos con azufre. La producción de NO_3^- durante la nitrificación de la urea, sulfato de amonio y nitrato de amonio fue menor cuando se aplicaron junto con S, debido a que este inhibe la producción de NO_3^- . Sin embargo, la producción de NO_3^- fue mayor con la urea que con las otras dos fuentes.

Rodríguez (1993) trabajando con pasto raigrás en invernadero, planteó un experimento tratando de encontrar la dosis de azufre y la fuente nitrogenada que al combinarse entre sí, produjeran un efecto acidificante en el suelo que favoreciera el aprovechamiento del nitrógeno, así como la solubilización de otros nutrientes. El rendimiento de materia verde y seca del pasto raigrás se incrementó con la aplicación de nitrato de amonio y urea mezclados con azufre. La altura de planta y diámetro de la corona basal se incrementaron con la aplicación de nitrato de amonio y azufre, mientras que en producción de materia verde y seca, la mejor combinación fue urea más azufre.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

2.6.4. Acidificación en la banda del fertilizante.

En muchos suelos calcáreos y con pH altos, es antieconómico el uso de acidificantes para neutralizar el suelo en el volumen total de las raíces. Mc George (citado por Beaton, 1985) sugirió que no es necesario neutralizar toda la alcalinidad del suelo. Menciona que es más práctico aplicar . . . azufre en las zonas donde crecen las raíces y donde los nutrientes pueden ser extraídos, esto puede lograrse colocando los tratamientos de azufre en bandas, en surcos, en hoyos, etc. Una disminución en el pH del suelo, en las áreas alrededor de la banda de una mezcla de tiosulfato de

amonio y polifosfato de amonio, fue determinada por Leiker (citado por Beaton, 1985); acompañado de ésta acidificación del suelo hubo un incremento en la utilización de Fe y Mg.

2.7. Densidad de población.

La densidad de población de plantas es uno de los factores tomados muy en cuenta por agricultores e investigadores, debido a que este tiene un efecto directo en el rendimiento. Esto se debe a la interacción de una serie de factores entre los que se encuentran la preparación del suelo, fecha de siembra, fertilidad del suelo, método de siembra, combate de plagas y enfermedades, cantidad de agua disponible en el suelo, condiciones climáticas, etc. En términos generales, se sabe que cuando los factores ambientales son limitantes para la producción, la densidad de población debe ser baja. Cuando el ambiente es favorable la densidad de población debe ser alta. Sin embargo, el rango de variación en la densidad de población no es el mismo en todos los cultivos, ni incluso entre variedades de un mismo cultivo.

La densidad óptima es el número de plantas por unidad de superficie cultivada que produce el máximo rendimiento (Robles, 1983). Se puede mencionar que el rendimiento máximo, es la mayor cantidad posible de biomasa que produce una planta en una superficie determinada, bajo las condiciones más favorables de suelo y la máxima población ya que la cantidad que realmente se produce, aún en condiciones iguales, tiende gradualmente a un límite considerado como óptimo (Teuscher y Adler, 1965).

El empleo del número adecuado de plantas por unidad de área, su distribución en el terreno, la dosis indicada de fertilizante que deberá emplearse en determinadas circunstancias, el híbrido o material genético y las condiciones climáticas figuran entre los factores más importantes para obtener los máximos rendimientos por área (Blum, 1970; Sprague 1985).

Sprague (1985) mencionó que hay un gran número de publicaciones, en las cuales se reporta la densidad óptima de plantas para híbridos de maíz bajo ciertas condiciones ambientales. Los resultados muestran que la población óptima varía de cerca de 40,000 a más de 100,000 plantas por hectárea.

2.7.1. Competencia como resultado de la densidad.

Los resultados de investigadores sobre densidad de población, muestran que a medida que hay un incremento en la población de plantas, la media del rendimiento por planta decrece; esto no es causado por la disminución de los factores ambientales, los cuales son más o menos constantes, sino porque con el aumento de plantas por unidad de área, cada planta se ve obligada a compartir estos factores, surgiendo así la competencia (Torres, 1992).

La competencia entre plantas no se da, mientras que el contenido de agua, nutrientes, luz y calor rebasen las necesidades de éstas. La competencia realmente empieza cuando el suplemento de un factor cae debajo de las demandas combinadas de las plantas.

2.7.2 Factores ambientales y características de la planta que afectan la densidad óptima de plantas.

1.- **Luz.** La eficiente intercepción de la energía radiante en la superficie de los cultivos, depende de una área foliar adecuada, distribuída uniformemente sobre el terreno en forma completa. Esto es factible manipulando la densidad de plantas y su distribución sobre la superficie del terreno (Gardner *et al.*, 1985). Shina y Khanna (1975) señalaron que en plantas como maíz, sorgo y trigo, la variación en el número de hojas es pequeño, por lo que el tamaño de hojas puede ser el principal componente del área foliar y no tanto el número de hojas.

En la determinación del área foliar Montgomery (citado por Sosa, 1973) fue el primer investigador que midió el área foliar de las hojas individuales de maíz mediante la ecuación: largo X ancho máximo X 0.75.

Watson (1952) fue el primero en expresar a la cubierta fotosintética en una comunidad como una relación de área foliar con el área de terreno en donde crece esa área foliar, la llamó índice de área foliar (IAF) y es especialmente importante en el crecimiento de comunidades de plantas o para el estudio de la intercepción de luz por el dosel vegetal.

Sprague (1985) mencionó que el IAF varía con el ancho de surco, el híbrido y las prácticas de manejo. Actualmente el IAF óptimo para maíz, parece ser que esta cerca de 3.5 para una variedad de amplia adaptación. En muchas áreas, con un nivel de manejo alto, una población alrededor de 50,000 plantas por hectárea produce un IAF de cerca de 3.5.

Mediciones del IAF y la tasa de crecimiento del cultivo, revelan mucho sobre como los cultivos obtienen altos rendimientos. Sin embargo, esto es difícil de medir, así que una práctica razonable en el manejo de los cultivos es el uso de densidades de plantas (Gardner *et al.*, 1985).

Los incrementos del rendimiento en siembras en surcos, particularmente con altas poblaciones de plantas puede ser explicado por la gran intercepción de energía solar. Denmead *et al.* (citados por Sprague, 1985) estimaron que la energía utilizable para la fotosíntesis, puede ser de 15-20% más en espaciamientos equidistantes comparado con la misma población en surcos separados a 105 cm. Yao y Shaw (citados por Sprague, 1985) encontraron que la relación de radiación neta sobre el cultivo baja al disminuir el espaciamiento entre surcos, mientras que el uso eficiente del agua y el rendimiento se incrementan.

2.- Tamaño de la planta. El tamaño de la planta refleja primeramente el área foliar por planta, el cual determina el número de plantas necesarias para desarrollar un crítico IAF. Los híbridos de maíz adaptados a las latitudes norte, tienen una o tres hojas menos que aquellos en el sur de E.U., los cuales requieren de altas densidades para obtener máximos rendimientos. La inclinación de las hojas puede modificar el IAF crítico y por consiguiente, la densidad puede ser ajustada.

3.- Ramificación y/o ahijamiento. El ahijamiento es un camino efectivo para incrementar el área foliar por planta. En sorgo, con el ahijamiento, el número de panojas por hectárea se incrementa solo ligeramente cuando la densidad cambia de 32,000 a 128,000 plantas ha^{-1} , presentando tres hijuelos por planta en 32.000 plantas ha^{-1} . Cuando la densidad de plantas fue duplicada de 128,000 a 256,000 plantas ha^{-1}

las panojas por hectárea también fueron duplicadas, indicando que el ahijamiento ocurrió a 128,000 plantas por hectárea. El incremento en la densidad de plantas no incrementó el rendimiento de grano, por que al incrementarse las panojas por hectárea, el número de granos por panoja bajó proporcionalmente. En las variedades modernas de maíz no se da el ahijamiento. Cuando la densidad de plantas es baja, solo produce una mazorca por planta. El rendimiento de grano de maíz es más sensible a la densidad de plantas que el sorgo, ya que en ambos cultivos, el IAF y el número de mazorcas por hectárea se incrementan o disminuyen con la densidad de plantas. El maíz no tiene la flexibilidad de ahijar, por lo que no puede incrementar el área foliar y el número de unidades reproductivas por hijuelos en densidades bajas (Gardner *et al.*, 1985).

4.- Acame. Incrementos en la densidad de plantas provoca plantas y tallos delgados y débiles, frecuentemente altos. Así, los cultivares con tallos fuertes demandan densidades de plantas bajas para reducir el acame (inclinación o caída de las plantas). El acame baja los rendimientos por que los granos se encuentran fuera del alcance del equipo de cosecha; además, el rendimiento disminuye porque en las plantas acamadas, las hojas no interceptan adecuadamente la luz, disminuyendo la actividad fotosintética.

5.- Reducción en la producción de frutos. Al incrementar la densidad, baja el potencial de producción de flores y frutos, algunos son abortados o no permanecen en la planta. Otra posible reducción de rendimiento puede ser debido al decremento de la cantidad total de sustancias nutritivas que la semilla puede retener.

Otros factores ambientales que también influyen en la densidad óptima de plantas son: (1) la irradiación, (2) la humedad, (3) la fertilidad del suelo y (4) la maleza (Gardner *et al.*, 1985).

2.7.3. Respuesta de la planta a cambios en la densidad.

La respuesta en el rendimiento de las plantas cultivadas esta influenciada por la competencia que se genera debido a la densidad de plantas utilizada. Donald (1963) mencionó dos tipos de competencia: la competencia interplanta que se verifica entre plantas vecinas, y la competencia intraplanta que se lleva a cabo dentro de una misma planta. Indica que el peso de semilla y número de semillas por inflorescencia en densidades intermedias, es debido a estos dos tipos de competencia. En espaciamientos amplios (baja densidad de plantas), ambos tipos de competencia están ausentes durante las etapas de crecimiento. La competencia inter e intraplanta se incrementa después de la floración y formación del fruto. La gran cantidad de inflorescencias crea la competencia por asimilados entre las inflorescencias y semillas de la planta, de tal manera que se desarrolla la competencia intraplanta.

En densidades moderadas, la competencia interplanta empieza a operar en la época de iniciación o formación de flores. El número de primordios florales por planta se reduce; el número de semillas por inflorescencia y las semillas por unidad de área alcanzan sus máximos valores. No obstante, las altas densidades de planta pueden reducir el número de semillas causando reducción en el rendimiento, por que la competencia interplanta es intensa en la época de formación de primordios.

En cuanto a maíz, existen híbridos que reaccionan de distinta manera al incremento en las densidades de población. En la cruza Hx2 y OH7, los mejores rendimientos se registran con densidades relativamente altas, por lo general más de 60,000 plantas ha⁻¹. Este híbrido es tolerante a altas densidades de población, el cual produce mazorcas buenas y sanas y por lo tanto buen rendimiento; mientras que la cruza HFq y C103 es un híbrido sensible al incremento de la densidad de población. Este último híbrido, sembrado a densidades entre 35,000 y 40,000 plantas ha⁻¹, produce una mazorca grande y buena en todas las plantas y tiene buen rendimiento. Sin embargo, en densidades de 50,000 plantas ha⁻¹, se presenta una pequeña cantidad de plantas estériles y si sube a 60,000 pueden ser estériles más de la mitad de las plantas, el resto de las plantas presentan mazorcas imperfectas reduciendo el rendimiento (Aldrich y Leng, 1974).

Arizpe (1985) encontró una relación lineal positiva entre rendimiento unitario (de grano y mazorca) y la densidad de población; los mejores resultados fueron obtenidos con 55,555 plantas ha⁻¹ (7.76 y 6.50 ton. ha⁻¹ para rendimiento de mazorca y grano respectivamente). Finalmente, indicó que al aumentar la densidad de población, se vieron afectados desfavorablemente en mayor proporción las características: ancho de la hoja de la mazorca principal, diámetro de tallo, número de mazorcas por planta, diámetro de mazorca, peso de mazorca por planta y peso de grano por planta.

Reyes y García (1994) estudiaron dos densidades de población en maíz (50,000 y 70,000 plantas ha⁻¹) en la región de Río Bravo, Tamaulipas; encontrando una respuesta significativa para rendimiento, siendo los valores más altos para la

densidad de 70,000 plantas ha⁻¹. El porcentaje de mazorcas sanas estuvo más asociado con fechas de siembra.

Tanaka *et al.* (citado por Tanaka y Yamaguchi, 1981) al probar dos líneas de maíz con tres niveles de fertilización nitrogenada y tres distancias de plantas, encontraron que mientras mayor fue el nivel de nitrógeno o menor la distancia entre plantas, mayor fue el rendimiento de ambas variedades.

El nitrógeno incrementó la altura de plantas en distancias cortas, pero sin nitrógeno, las plantas fueron de porte bajo debido a la falta de dicho elemento. El grosor de tallos aumentó con la distancia entre plantas y fue menor el incremento con la adición de nitrógeno. El IAF fue mayor en distancias cortas entre plantas y aumentó con un incremento en la aplicación de nitrógeno. El número de hileras de grano por mazorca fue casi constante. El número de granos por hilera fue mayor en distancias entre plantas amplias o en altos niveles de nitrógeno. El número de granos por unidad de área, aumentó al disminuir la distancia entre plantas y al aumentar el nitrógeno aplicado. El peso de 1000 granos aumentó al incrementarse la distancia entre plantas y la aplicación de nitrógeno. El rendimiento de grano estuvo correlacionado positivamente con la producción de materia seca después de la emisión de estigmas.

2.8. DRIS (Diagnosis and Recommendation Integrated System).

La interpretación tradicional de los análisis foliares para diagnosticar deficiencias, se basa en la comparación de la concentración de nutrientes en la muestra con la concentración crítica, o se compara con el rango de suficiencia

reportado en la literatura. Este criterio para diagnosticar las condiciones nutricionales de los cultivos, ha sido ampliamente criticado, debido a que la concentración de nutrientes de un cultivo depende de factores independientes de la fertilidad del suelo, como las condiciones climáticas, la variedad de la especie cultivada, la época de siembra, la edad de la planta y el tipo de tejido vegetal muestreado (Elwali *et al.*, 1985).

La técnica de diagnóstico DRIS, ha sido empleada en una gran cantidad de investigaciones en sustitución de la técnica tradicional con buenos resultados. Esta técnica fue propuesta por Beaufils en el año de 1973; desde entonces ha sido ampliamente utilizada para diagnosticar las condiciones nutricionales de una gran cantidad de cultivos. Una de las ventajas del DRIS es su insensibilidad a las condiciones locales de clima, variedad de la especie cultivada, características del suelo y otros factores. Esto se debe a que no considera la concentración actual de los nutrientes en el tejido vegetal, sino las proporciones de las concentraciones (N/P, N/K, P/K, etc.).

El DRIS asume que los desbalances nutricionales en el cultivo pueden detectarse estimando las proporciones de las concentraciones. La identificación de las proporciones de nutrientes más importantes se realiza comparando las medias y las varianzas de poblaciones de predios con altos y bajos rendimientos. Con la información de las muestras de los predios de altos rendimientos se estiman las normas locales.

Para diagnosticar las condiciones nutricionales de una muestra vegetal en particular, se estiman las proporciones de nutrientes. Si n y p son dos nutrientes,

entonces se calcula la proporción n/p . Posteriormente, se calcula una función que representa la comparación de los valores actuales en la muestra (n/p) respecto a los valores en las normas locales (N/P). La función se calcula de la siguiente forma (Beverly, 1991):

Si $n/p > N/P$ entonces

$$f(n/p) = \frac{\left[\left(\frac{n/p}{N/P} \right) - 1 \right]}{0.01CV}$$

Donde CV es el coeficiente de variación de la norma.

Si $n/p < N/P$ entonces

$$f(n/p) = \frac{\left[1 - \left(\frac{N/P}{n/p} \right) \right]}{0.01CV}$$

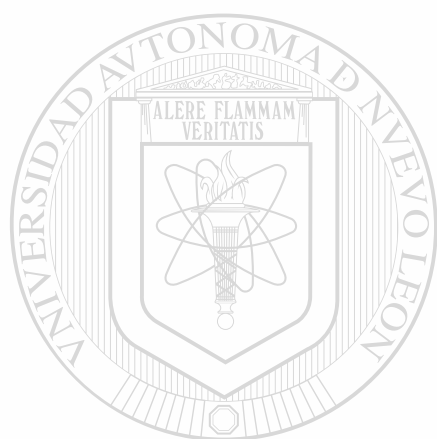
Después de calcular la función para cada proporción de nutrientes, se calcula un índice para cada nutriente. La ecuación para calcular el índice es:

$$Dn = -Dn = \frac{f(n/A) + f(n/B) + \dots - f(G/n) - f(H/n)}{\text{número de nutrientes}}$$

Donde A, B, G, M, etc. son nutrientes diferentes a n.

Cuando se calculan los índices para todos los nutrientes analizados en la muestra utilizando la ecuación anterior, la suma de los índices deberá ser igual a cero.

Los índices miden la desviación relativa de la concentración de nutrientes en la muestra respecto a las normas (población ideal). En la interpretación de los índices se considera que hay desbalance de nutrientes cuando los índices se desvían de cero considerablemente (Sumner *et al.*, 1983).



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. Localización .

El estudio se realizó en el ciclo Otoño-Invierno (O-I) 1993-1994, con un agricultor cooperante cuya parcela se encuentra en el municipio de Reynosa, Tamaulipas en el canal sublateral 0-14 y lateral 61-7, dentro del área de riego del Distrito de Desarrollo Rural Integral (DDRI) 2 de Díaz Ordáz, Tamaulipas. El distrito está ubicado en las coordenadas geográficas 26° 13.6' latitud norte y los 98° 35.1' longitud oeste, con una altitud de 40 msnm y una área de riego de 64,000 hectáreas, comprende los municipios de Miguel Alemán, Camargo, Díaz Ordáz, Reynosa y parte de Río Bravo (García, 1994).

3.2. Características del Clima.

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

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

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

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

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

La precipitación promedio anual es de 540 mm.

3.3. Diseño Experimental, Tratamientos y Croquis.

El experimento se estableció bajo un diseño de Bloques al Azar con un arreglo Ortogonal Taguchi L8, en el cual se evaluaron ocho tratamientos en cuatro repeticiones. Las unidades experimentales fueron de cinco surcos de 10 m de largo con una separación entre bloques de 1m. Como parcela útil se utilizaron los tres surcos centrales, eliminando un metro de los extremos. Los factores de estudio y sus niveles se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Factores y niveles estudiados en el experimento "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94.

FACTORES	NIVEL 1	NIVEL 2
Nitrógeno (N)	Sin nitrógeno inicial (N1)	50 kg ha ⁻¹ (N2)
Potasio (K)	Sin potasio (K1)	80 kg ha ⁻¹ (K2)
Azufre (S)	Sin azufre(S1)	120 kg ha ⁻¹ (S2)
Densidad de plantas (D)	50.000 plantas ha ⁻¹ (D1)	70.000 plantas ha ⁻¹ (D2)

Los tratamientos evaluados fueron los siguientes:

- 1.- N1 K1 S1 D1
- 2.- N1 K1 S2 D2
- 3.- N1 K2 S1 D2
- 4.- N1 K2 S2 D1
- 5.- N2 K1 S1 D2
- 6.- N2 K1 S2 D1
- 7.- N2 K2 S1 D1
- 8.- N2 K2 S2 D2

Para la aplicación de los tratamientos se utilizó sulfato de amonio como fuente de nitrógeno, cloruro de potasio para potasio y azufre agrícola elemental para azufre.

— Los tratamientos quedaron distribuidos en el experimento como se describe en el croquis (Figura 1).

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

3.4. Preparación del Suelo y Material Genético.

El experimento se estableció en el centro de una parcela comercial de maíz de 20 hectáreas. Por lo que las labores culturales, riegos, aplicación de agroquímicos, etc. fueron realizados en forma normal para siembras extensivas comerciales de maíz.

La primera labor de preparación antes de la siembra fue el desvare de la soca de maíz, la cual se realizó en el mes de septiembre (1993); posteriormente se efectuó un rastreo con el fin de incorporar los residuos de cosecha. En los meses de octubre-noviembre se barbechó, rastreó, cruzó y bordeó; y en el mes de diciembre se preparó para la aplicación del riego de asiento con la construcción de surcos melgueros y regaderas.

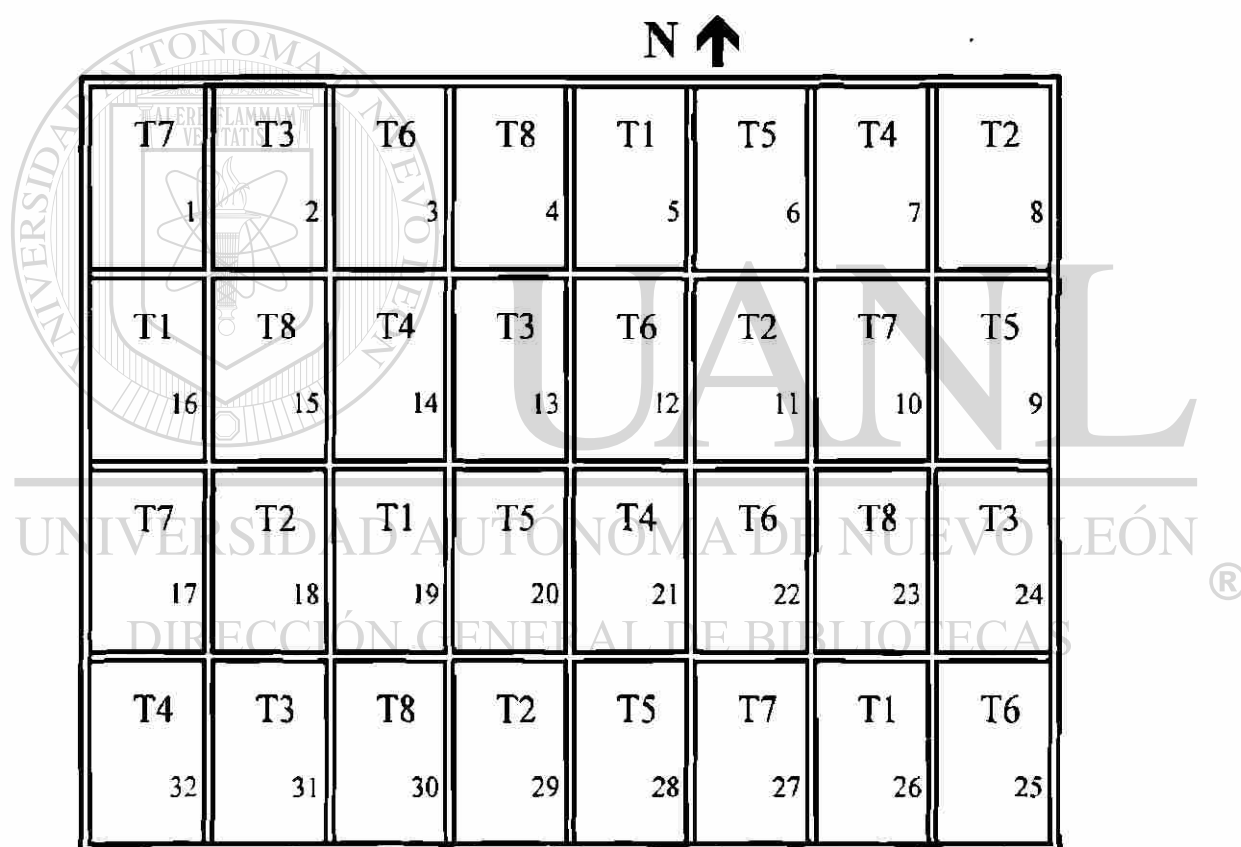


Figura 1. Distribución de los tratamientos en el campo del experimento "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94.

El material genético utilizado fue un híbrido experimental de cruza simple de la Compañía Pioneer, el cual es un maíz de grano blanco, de ciclo intermedio de

140-145 días de la siembra a la cosecha. Este híbrido ha presentado un buen comportamiento en cuanto a adaptación y rendimiento en las pruebas preliminares de rendimiento establecidas en el norte de Tamaulipas.

3.5. Establecimiento del Experimento y Aplicación de Tratamientos.

Los tratamientos de fertilización se aplicaron el día 29 de noviembre de 1993 en forma manual, pesando la cantidad correspondiente de fertilizante por surco y distribuyéndolo de acuerdo a lo establecido en el croquis del experimento.

El terreno se encontraba bordeado por lo que el fertilizante quedó establecido en el fondo del surco, en seguida el agricultor contrabordeó, de tal manera que el fertilizante quedó ubicado a una profundidad aproximada de 15 cm, evitando el contacto con la semilla al momento de sembrar. La siembra se efectuó en el lomo del surco, quedando el fertilizante colocado adecuadamente para ser aprovechado por las plantas. En ésta misma fecha el productor aplicó en el experimento fósforo en una dosis de 70 kg ha^{-1} usando como fuente super fosfato de calcio triple.

El tratamiento de densidad de población se estableció el día 16 de febrero de 1994 cuando ya estaba emergida la plántula. Se sembró a una densidad de $70,000 \text{ plantas ha}^{-1}$, la cual se consideró como el nivel 2 de éste factor; para el nivel 1 se eliminaron plantas para dejar la densidad adecuada ($50,000 \text{ Plantas ha}^{-1}$).

3.6. Siembra.

La siembra se realizó en surcos a tierra venida, en forma mecánica, utilizando la sembradora hidrostática de plato de succión Max Emerge; la fecha de siembra fue el 6 de febrero de 1994, rajando bordo a una profundidad de 8 cm, depositando de 7-8 semillas por metro, para obtener una población aproximada de 70,000 plantas ha⁻¹. La distancia entre surcos fue de 92 cm con una distancia entre plantas de 14 cm .

A los cinco días de emergida la plántula se evaluó la germinación, se encontró que en forma general el cultivo se encontraba libre de plagas y enfermedades, presentando una germinación uniforme y buen vigor de planta.

3.7. Riegos y Labores Culturales.

La recomendación del paquete tecnológico para producir maíz de riego en el norte de Tamaulipas es de un riego de asiento y tres de auxilio, aplicándose al experimento y al resto de la parcela el riego de asiento el día 29 de diciembre de 1993. Posteriormente, el día 5 de abril de 1994 se aplicó el primer riego de auxilio, el segundo de auxilio fue el día 28 de abril y el tercero el 16 de mayo. El riego se aplicó utilizando el método de sifones, por lo que el control y distribución del agua se hicieron en forma adecuada. Los riegos se aplicaron en forma oportuna, por lo que no se presentaron síntomas de estrés por falta de humedad durante el desarrollo del cultivo.

Las labores de cultivo realizadas fueron: tumba de bordo y dos cultivos. Se tuvo presencia de maleza, principalmente del genero *Amaranthus spp.* después de la aplicación del tercer riego de auxilio. En el primer cultivo se aplicaron 80 unidades de nitrógeno, utilizando como fuente amoníaco anhidro (NH₃).

3.8. Plagas y Enfermedades.

Las plagas que se presentaron durante el desarrollo del cultivo fueron gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), diabrotica (*Diabrotica spp.*) y gusano elotero (*Heliotis zea*). No se encontraron daños considerables, por lo que no fue necesario aplicar ningún tipo de control. Se observó una gran cantidad de insectos adultos de diabrotica pero no se observaron plantas acamadas por daño a las raíces, aunque si se vieron daños en los estigmas, al momento de la cosecha se detectaron granos faltantes en algunas mazorcas. El daño fue cuantificado en porciento.

Las enfermedades del follaje se monitorearon durante el desarrollo del cultivo, así como las que se presentaron al momento de la cosecha; en las primeras fases no se encontraron enfermedades que limitaran el desarrollo del cultivo; en cosecha se evaluaron las mazorcas que presentaban daños por los siguientes organismos fitopatógenos: fusarium (*Fusarium moniliforme* Sheld.), carbón común o huitlacoche [*Ustilago maydis* (D.C.) Cda.], *Penicillium spp.* y *Aspergillus spp.*

3.9. Suelo.

Se realizó un muestreo de suelo a dos profundidades (0-30 cm y 30-60 cm) para determinar algunas de las propiedades físicas y químicas del lote experimental. El análisis se llevo a cabo en el laboratorio de suelos de la FAUANL (Cuadro 2).

Cuadro 2. Resultados del análisis de suelo del sitio experimental "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I, 1993-94.

Propiedad	0-30 cm	30-60 cm
Color seco	Gris café claro	Café pálido
Color húmedo	Café oscuro	Café amarillo
pH	8.0	8.1
Textura	Arena 54%, limo 16% arcilla 30%	Arena 48%, limo 20% arcilla 32%
	Migajón arenoso	Franco
Materia orgánica	1.72%	1.38
	Medianamente pobre	Medianamente pobre
Nitrógeno total	0.066% Pobre	0.069% Pobre
Fósforo aprovechable	0.70 ppm Pobre	0.61 ppm Pobre
Potasio aprovechable	375.9 kg ha ⁻¹	284.9 kg ha ⁻¹
	Muy rico	Rico
Sales solubles	0.90 mmhos cm ⁻¹	0.70 mmhos cm ⁻¹
	No salino	No salino

Según los resultados del análisis de suelo, el sitio es pobre en contenido de nitrógeno, fósforo y materia orgánica; para potasio es muy rico en el primer estrato muestreado (30 cm.) y pobre en el segundo estrato (30-60 cm). El pH es alcalino, lo que pudiera limitar la solubilidad de algunos nutrientes como el fósforo, fierro y zinc, principalmente; de aquí la importancia de probar el efecto acidificante del azufre en este tipo de suelos, para tratar de aumentar la disponibilidad de los nutrientes antes mencionados.

Por otro lado, la textura es una de las más favorables para el desarrollo del cultivo de maíz; en general, son suelos profundos, con buen drenaje interno, sin problemas de salinidad y con buen nivel productivo.

3.10. Variables de Estudio en Etapa Vegetativa.

En el estudio se consideró la etapa vegetativa desde la nacencia de las plantas hasta la floración. Cuando las plantas tenían 45 días después de nacidas (ddnp) se tomó altura de planta, y a los 65 ddnp, diámetro de tallo, área foliar y porcentaje de humedad del suelo.

3.10.1. Altura de planta.

Para determinar la altura de plantas se tomaron seis plantas al azar dentro de la parcela útil, a cada planta se le midió la altura utilizando una cinta métrica, ésta

lectura se tomó recogiendo las hojas hacia arriba y midiendo desde la base del tallo la máxima longitud que daban las hojas.

3.10.2. Diámetro de tallo.

Para evaluar el diámetro de tallo se tomaron cinco plantas al azar dentro de la parcela útil, a cada planta se le midió el diámetro en centímetros utilizando un bernier tomando la lectura aproximadamente 5 cm arriba de la superficie del suelo, ésta lectura se tomó 65 ddnp.

3.10.3. Área foliar.

Para la determinación del área foliar, se tomaron tres plantas al azar dentro de la parcela útil 65 ddnp. A cada planta se le midió en centímetros el largo y ancho de la hoja de la mazorca. El área foliar se calculó mediante el producto del largo por ancho y multiplicando por el factor 0.75.

3.10.4. Contenido de humedad del suelo.

Para evaluar la humedad del suelo, se tomaron muestras del mismo a una profundidad de 30 cm utilizando una barrena helicoidal, se guardó la muestra en bolsas de polietileno para su transportación y se determinó la humedad del suelo por el método gravimétrico. Este muestreo se tomó 65 ddnp.

3.11. Variables de Estudio en Etapa de Floración.

En ésta etapa fenológica (100 ddnp) se tomaron las variables de altura total, altura a la mazorca área foliar y peso seco de maleza.

3.11.1 Altura total de planta.

Para tomar la altura total de planta en la época de floración, se tomaron cinco plantas al azar de la parcela útil, midiendo la altura en centímetros utilizando un estadal. Esta variable se tomó midiendo de la base del tallo a la base de la espiga.

3.11.2 Altura a la mazorca.

La altura a la mazorca se tomó de cinco plantas tomadas al azar de la parcela útil, utilizando un estadal. La variable se tomó midiendo de la base del tallo a la base de la mazorca.

3.11.3. Area foliar.

Para la determinación de ésta variable se tomaron tres plantas al azar de la parcela útil. A cada planta se le midió en centímetros el largo y ancho de la hoja de la mazorca. El área foliar se obtuvo mediante el producto del largo por ancho y multiplicado por el factor 0.75.

3.11.4. Peso seco de maleza.

Para la determinación de esta variable se utilizó un cuadro de madera de 1m X 0.92m, muestreando por parcela la cantidad de maleza comprendida en esta área. Posteriormente, se seco en la estufa por 48 h a una temperatura de 70° C.

3.12. Variables en la Época de Cosecha.

Al momento de la cosecha se tomaron en cada surco de la parcela útil las siguientes variables: número de plantas cosechadas y peso de mazorca. También se cosecharon nueve plantas completas de cada unidad experimental en las cuales, se determinó en forma individual las siguientes variables: altura a la mazorca, altura total de planta, peso seco total de planta, peso seco de mazorca, peso de grano, longitud de mazorca, perímetro de mazorca, longitud de mazorca sin llenado de grano, número de hileras por mazorca, número de granos por hilera y peso de 100 granos.

De las nueve plantas cosechadas en forma individual, las variables altura total de planta y altura a la mazorca se tomaron de la forma descrita en la época de floración pero individualmente; para peso seco total de planta y mazorca, se determinaron colocando las plantas en la estufa a 70° C por 72 horas y posteriormente pesándolas en báscula granataria; las variables longitud de mazorca, perímetro de mazorca y longitud sin polinizar se evaluaron en centímetros utilizando cinta métrica; la variable número de hileras por mazorca se determinó por conteo directo de cada mazorca; el número de granos por hilera fue un promedio de granos de tres hileras

por mazorca; y el peso de 100 granos se tomó de una muestra al azar de los granos totales de la mazorca desgranada.

3.12.1. Rendimiento de grano.

La cosecha se realizó el día 25 de junio de 1994 en forma manual. Se cosecharon los tres surcos centrales eliminando un metro de cabecera, lo cual correspondió a la parcela útil. En el campo se pesó el rendimiento de mazorca por surco individual utilizando báscula de reloj. Posteriormente se corrigió por porcentaje de olote el cual fue evaluado al momento de la cosecha; así como por porcentaje de humedad de grano. El rendimiento por surco individual de la parcela útil fue transformado a rendimiento de grano en kg ha⁻¹ ajustado a 14% de humedad.

3.13. Índice de Cosecha.

Con la información generada de rendimiento de grano y peso seco total de planta de las nueve plantas cosechadas individualmente, se obtuvo el índice de cosecha (IC), el cual fue calculado mediante la siguiente fórmula: $IC = \text{Peso de Grano} / \text{Peso Seco Total de la Planta}$.

3.14. Determinación de pH y Conductividad Eléctrica.

Para la determinación de pH y Conductividad Eléctrica se tomaron muestras de suelo por parcela a una profundidad de 30 cm, a una distancia de 10 cm de la hilera de plantas. Las muestras se tomaron 65 ddnp y fueron analizadas en el laboratorio de suelos de la FAUANL, utilizando los métodos del Potenciómetro y Puente de Wheatstone, respectivamente.

3.15. Determinación de Nitrógeno, Fósforo y Potasio en Tejido Vegetal.

Para la determinación de nitrógeno, fósforo y potasio se tomaron dos plantas al azar de la parcela útil, se seleccionó la hoja de inserción de la mazorca de cada una de ellas. El muestreo se realizó en la etapa fenológica de floración.

Los métodos utilizados para las determinaciones fueron: para nitrógeno Macro Kjeldahl, para fósforo Amarillo de Vanadato y para potasio se usó la técnica de absorción atómica. Los análisis se realizaron en el laboratorio de suelos de la FAUANL.

3.16. Estado Nutricional de las Plantas según la Técnica DRIS

Se utilizó la metodología descrita por Beverly (1991) para calcular los índices DRIS y poder hacer una mejor interpretación de los análisis foliares.

Para el cálculo de los índices DRIS se usaron las siguientes normas internacionales para maíz.

$$N/P \text{ media} = 9.035 \quad \text{desviación estándar} = 2.136$$

$$N/K \text{ media} = 1.463 \quad \text{desviación estándar} = 0.426$$

$$P/K \text{ media} = 0.169 \quad \text{desviación estándar} = 0.054$$

Los índices DRIS se calcularon de acuerdo con el siguiente procedimiento: Para cada par de concentración nutrientes en la muestra, por ejemplo n y p , se calculó la proporción n/p . Posteriormente se calculó una función que representa la comparación de los valores actuales en la muestra respecto a los valores en las normas locales (N/P). Las función se calculó de la siguiente forma:

Si $n/p > N/P$ entonces

$$f(n/p) = \frac{\left[\left(\frac{n/p}{N/P} \right) - 1 \right]}{0.01CV}$$

En donde CV es el coeficiente de variación de la norma.

Si $n/p < N/P$ entonces

$$f(n/p) = \frac{\left[1 - \left(\frac{N/P}{n/p} \right) \right]}{0.01CV}$$

Después de calcular la función para cada proporción de nutrientes, se calculó un índice para cada nutriente. Los índices se calcularon con la siguiente ecuación:

$$Dn = -Dn = \frac{f(n/A) + f(n/B) + \dots - f(G/n) - f(H/n)}{\text{número de nutrientes}}$$

Donde A, B, G, M, etc. son nutrientes diferentes a n.

3.17. Análisis Estadístico.

Para analizar las variables estudiadas, se utilizó un diseño Taguchi L8, el cual permite evaluar varios factores simultáneamente en un experimento con menos tratamientos que un factorial completo (Stuart, 1993). En este diseño, los siete grados de libertad de tratamientos se descomponen en uno para cada efecto principal e interacción de segundo orden y uno para la confusión de dos interacciones de primer orden (Cuadro 3).

En el Cuadro 3 se observa que los efectos principales están confundidos intencionalmente con las interacciones de segundo orden (de tres factores), mientras que las interacciones de primer orden están confundidas entre sí. La confusión de efectos permite evaluar más factores con menos tratamientos. La confusión de efectos principales con las interacciones de segundo orden no es preocupante debido a que este tipo de interacción raramente es superior a la magnitud del error experimental, por lo que normalmente no es significativa en el análisis de varianza. En cuanto a las interacciones de primer orden, si son significativas, se deberá decidir entre los dos tipos de interacción involucrados en el efecto de acuerdo con las características de los factores involucrados, y con el estudio de las gráficas de medias.

Cuadro 3. Efectos y grados de libertad (G. L.) en el diseño Taguchi L 8.

EFECTOS		G. L.
N	K x S x D	1
K	N x S x D	1
S	N x K x D	1
D	N x K x S	1
N x K	S x D	1
N x S	K x D	1
N x D	K x S	1

3.18. Análisis Estadístico de la Variable Rendimiento por Parcela Útil.

Tomando en cuenta la variabilidad espacial de los suelos debido a diversos factores, tanto físicos como químicos, para el análisis de la variable rendimiento por parcela útil se utilizó la técnica de Vecindad Cercana propuesta por Papadakis en 1939, la cual se describe en seguida (Brownie *et al.*, 1993).

Para cada parcela se estima el residual, restando el rendimiento en la parcela de la media del tratamiento en el experimento. Se calcula una media del potencial del rendimiento de la parcela (X_{ij}), la cual es igual al promedio de los residuales de las parcelas vecinas. El ajuste se puede hacer con las parcelas orientadas hacia el nort-sur, este-oeste o con todas las parcelas vecinas. Con los valores obtenidos (X_{ij}) se corre un análisis de covarianza.

Se realizaron análisis de varianza para rendimiento por parcela útil transformado a kg ha^{-1} considerando los siguientes métodos:

- 1.- Bloques al azar sin covarianza.
- 2.- Análisis de covarianza considerando como covariable la humedad del suelo (Cov. H. S.).
- 3.- Análisis de vecindad cercana con ajuste este-oeste (Cov. E. O.).
- 4.- Análisis de vecindad cercana con ajuste norte-sur (Cov. N. S.).
- 5.- Análisis de vecindad cercana con ajuste de todas las parcelas vecinas (Cov.T.).
- 6.- Análisis de vecindad cercana con ajuste E-O y N-S como dos covariables.
- 7.- Análisis de vecindad cercana con ajuste de humedad de suelo y N-S como dos covariables.

Los análisis estadísticos se llevaron a cabo utilizando el paquete computacional SPSS. En el análisis de vecindad cercana, los errores fueron estimados usando el paquete computacional LOTUS 1-2-3.

4. RESULTADOS

4.1. Etapa Vegetativa.

En la etapa vegetativa se midieron las variables de área foliar, diámetro de tallo y altura de planta, analizándolos por bloques al azar y posteriormente descomponiendo los tratamientos en efectos principales y sus interacciones. Los resultados de estas variables se presentan a continuación.

4.1.1. Área foliar

Los resultados del análisis de varianza para la variable área foliar (Cuadro A1), al descomponer los tratamientos en efectos principales y sus interacciones, indicaron que existe diferencia altamente significativa ($p = 0.0031$) para el factor densidad de población. La densidad de 50,000 plantas ha^{-1} fue superior a la de 70,000 plantas ha^{-1} con una diferencia entre los niveles de 33.79 cm^2 (Cuadro 4).

La variación de las medias por tratamiento del área foliar fue de 52 cm^2 , siendo el tratamiento 7 ($N_2 K_2 S_1 D_1$) el que obtuvo la mayor área foliar con 605.59 cm^2 y el que presentó la menor área fue el tratamiento 3 ($N_1 K_2 S_1 D_2$) con 552.81 cm^2 (Cuadro A9).

Cuadro 4. Medias por factor y nivel de la variable área foliar en la etapa vegetativa en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94.

FACTOR	AREA FOLIAR (cm ²)	
N1	576.73	a'
N2	584.07	a
K1	576.45	a
K2	584.35	a
S1	577.46	a
S2	583.33	a
D1	597.29	a
D2	563.50	b

Letras iguales dentro de factores indican que no hay diferencia entre los niveles.

4.1.2. Diámetro de tallo

Los resultados obtenidos del análisis de varianza para la variable diámetro de tallo (Cuadro A1), indicaron una diferencia altamente significativa ($p = 0.0003$) para el factor densidad de plantas, no encontrando diferencia estadística para el resto de los factores. La densidad de 50,000 plantas ha⁻¹ fue mejor que la de 70,000 plantas ha⁻¹ con una diferencia entre los niveles de 0.16 cm (Cuadro 5).

Se observó en las medias por tratamiento, que independientemente de los factores N, K, y S, los tratamientos con el nivel de densidad 1 (tratamientos 1, 4, 6 y 7 a los que corresponden 50,000 plantas ha⁻¹) presentaron los valores más altos de diámetro de tallo comparado con los tratamientos con el nivel 2 de densidad (70,000 plantas ha⁻¹); así mismo dentro del grupo de tratamientos con la densidad 1, los tratamientos con el nivel 2 de N (tratamiento 6 y 7 los cuales contenían aplicación

de N inicial) obtuvieron los mayores diámetros de tallo con 2.30 y 2.31 cm, respectivamente (Cuadro A9), aunque en el análisis de varianza esta diferencia no fue significativa.

Cuadro 5. Medias por factor y nivel de la variable diámetro de tallo en etapa vegetativa en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94.

FACTOR	DIAMETRO (cm)
N1	2.13 a ¹
N2	2.19 a
K1	2.15 a
K2	2.17 a
S1	2.16 a
S2	2.16 a
D1	2.24 a
D2	2.08 b

¹Letras iguales dentro de factores indican que no hay diferencia entre los niveles

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

4.1.3. Altura de planta.

Con relación a la variable altura de planta, el análisis estadístico (Cuadro A1) indicó una diferencia altamente significativa ($p = 0.0012$) para el factor N, así como una diferencia significativa ($p = 0.0390$) para la interacción KxD y/o NxS. Se encontró que para el nivel N₂ (50 kg ha⁻¹ de N inicial) la altura fue de 103.15 cm y para N₁ (0 kg ha⁻¹) 98.25 cm existiendo una diferencia de 4.90 cm entre ambos niveles (Cuadro 6).

Cuadro 6. Medias por factor y nivel de la variable altura de planta en etapa vegetativa en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94.

FACTOR	ALTURA (cm)	
N1	98.25	b ¹
N2	103.15	a
K1	100.11	a
K2	101.29	a
S1	100.63	a
S2	100.76	a
D1	99.76	a
D2	101.64	a

Letras iguales dentro de factores indican que no hay diferencia entre los niveles

En el estudio de la interacción KxD, la cual está confundida con la interacción NxS, se encontró que las densidades no tuvieron diferencia significativa en presencia del nivel 1 de potasio (0 kg ha^{-1}), sin embargo, cuando se aplicó potasio (50 kg ha^{-1}) las densidades mostraron una diferencia significativa, encontrando mayor altura en la densidad de $70,000 \text{ plantas ha}^{-1}$ (Cuadro 7). En cuanto a la interacción NxS se encontró una mayor diferencia entre los niveles de nitrógeno cuando se aplicó azufre, comparado con la diferencia entre los niveles de nitrógeno cuando no se aplicó azufre (Cuadro 8). Debido a la confusión entre ambas interacciones, no es posible determinar cual de las dos es realmente significativa. Considerando los efectos de azufre en otras variables y la ausencia de estas interacciones en otras etapas vegetativas, es posible que los efectos encontrados se deban a el error tipo I en la prueba de hipótesis.

Cuadro 7. Medias de altura en etapa vegetativa de los factores densidad y potasio en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94.

	K1	K2	Media
D1	100.54 a	98.98 b	99.76
D2	99.67 a	103.61 a	101.64
Media	100.11	101.29	

¹ Letras iguales dentro de factores indican que no hay diferencia entre los niveles. DMS = 3.719.

Cuadro 8. Medias de altura en etapa vegetativa de los factores nitrógeno y azufre en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94.

	S1	S2	Media
N1	99.57 a	96.94 b	98.25
N2	101.71 a	104.58 a	103.15
Media	100.63	100.76	

¹ Letras iguales dentro de factores indican que no hay diferencia entre los niveles. DMS = 3.719

Al obtener las medias por tratamiento, se observó que los tratamientos 5, 6, 7 y 8 los cuales contienen aplicación de N inicial obtuvieron las alturas de planta mayores en comparación con los tratamientos a los que no se les aplicó N inicial (Cuadro A9).

4.1.4. Error de muestreo en las variables en la etapa vegetativa.

En los análisis de varianza para las variables estudiadas en la etapa vegetativa (área foliar, diámetro de tallo y altura), se encontró que la varianza del error experimental fue significativa, comparada con la varianza de muestreo, lo que indica que en esta etapa la variabilidad del error experimental fue debida a la variabilidad entre plantas dentro de las parcelas más variabilidad entre parcelas. La variabilidad entre las parcelas pudo ser debida a las diferencias de humedad de suelo encontradas en el experimento (Cuadro A1).

4.2. Variables en la Etapa de Floración.

En ésta etapa se tomaron las variables de área foliar, altura a la mazorca y altura total de planta, analizándose de la misma forma que las variables de la etapa de diferenciación floral.

4.2.1. Area foliar

Los resultados del análisis de varianza para la variable área foliar se presentan en el Cuadro A2, en el cual se observa que se encontró diferencia altamente significativa ($p = 0.0058$) para el factor densidad. Se observó que la densidad con mayor área foliar fue la de 50,000 plantas ha^{-1} obteniendo en promedio 589.89 cm^2 en comparación con la de 70,000 plantas ha^{-1} , en la cual se obtuvo 559.73 cm^2 ; siendo la diferencia entre ambos niveles de 30.16 cm^2 (Cuadro 9).

De acuerdo a las medias obtenidas (Cuadro A10), los tratamientos 1, 4, 6 y 7 presentaron los valores más altos de área foliar (584.25, 579.16, 593.97 y 602.17 cm², respectivamente) los cuales, independientemente de los factores N, K y S, tuvieron en común la densidad de 50,000 plantas ha⁻¹.

Cuadro 9. Medias por factor y nivel de la variable área foliar en la etapa de floración en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94.

FACTOR	AREA FOLIAR (cm ²)	
N1	569.10	a ¹
N2	580.52	a
K1	572.67	a
K2	576.94	a
S1	578.55	a
S2	571.06	a
D1	589.89	a
D2	559.73	b

Letras iguales dentro de factores indican que no hay diferencia entre los niveles.

4.2.2. Altura de mazorca.

Los resultados para la variable altura de mazorca en la etapa de floración mostraron una diferencia altamente significativa ($p = 0.0019$) para el factor N en el análisis de varianza (Cuadro A2), no encontrando diferencia para el resto de los factores. Se observó que el nivel N1 (0 kg ha⁻¹) presentó en promedio una altura de mazorca de 65.61 cm y el nivel N2 (50 kg ha⁻¹) 69.90 cm; por lo tanto, la fertilización de N inicial incrementó la altura de mazorca en la etapa de floración en 4.29 cm en relación al tratamiento sin aplicación de N inicial (Cuadro 10).

El rango de variación de altura a la mazorca entre tratamientos fue de 7.05 cm, siendo el tratamiento 8 ($N_2 K_2 S_2 D_2$) el que mostró la mayor altura con 70.85 cm y el tratamiento 2 ($N_1 K_1 S_2 D_2$) la menor con 63.80 cm (Cuadro A10).

Cuadro 10. Medias por factor y nivel de la variable altura a la mazorca en la etapa de floración en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94.

FACTOR	ALTURA (cm)	
N1	65.61	b ¹
N2	69.90	a
K1	67.07	a
K2	68.44	a
S1	68.27	a
S2	67.24	a
D1	67.21	a
D2	68.30	a

¹ Letras iguales dentro de factores indican que no hay diferencia entre los niveles

4.2.3. Altura de planta.

Los resultados de los análisis de varianza para altura total de planta en la etapa de floración (Cuadro A2) solo mostraron diferencia significativa ($p = 0.055$) para el factor nitrógeno, no encontrando diferencia para el resto de los factores ni para las interacciones estudiadas. Las medias obtenidas por factor indicaron que el nivel 1 de nitrógeno (0 kg ha^{-1}) presentó una altura de 163.25 cm y el nivel 2 (50 kg ha^{-1}) 166.78cm, existiendo una diferencia entre ambos niveles de 3.53 cm a favor de la fertilización inicial de 50 kg ha^{-1} de nitrógeno (Cuadro 11). El rango de variación

entre tratamientos fue de 160.25 a 168.35 cm, correspondiendo a los tratamientos 2 y 8, respectivamente (Cuadros A10).

Cuadro 11. Medias por factor y nivel de la variable altura de planta total en la etapa de floración en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94.

FACTOR	ALTURA (cm)
N1	163.25 a ¹
N2	166.78 a
K1	163.81 a
K2	166.09 a
S1	165.25 a
S2	164.65 a
D1	164.46 a
D2	165.44 a

¹ Letras iguales dentro de factores indican que no hay diferencia entre los niveles.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

4.3. Variables de Suelo y Maleza en la Etapa de Floración.

La conductividad eléctrica y el pH del suelo se estudiaron con la finalidad de observar cambios en estas dos características del suelo debido a la aplicación de los tratamientos, principalmente el azufre agrícola..

4.3.1. pH del suelo.

Los resultados del análisis de varianza para la variable pH del suelo (Cuadro A3) indicaron que solo hubo diferencia significativa ($p = 0.0188$) para el factor azufre, no encontrando diferencias para el resto de los factores. El nivel 2 de este factor, al cual corresponde aplicación de 120 kg ha^{-1} de azufre elemental, obtuvo un pH de 8.03 que fue significativamente diferente al nivel 1 (sin aplicación de azufre) con un pH de 8.14. La diferencia entre ambos niveles fue de 0.11 unidades en la escala de pH (Cuadro 12).

El valor más bajo de pH fue de 7.89, que corresponde al tratamiento 8 (N2 K2 S2 D2), el cual incluye la aplicación de los fertilizantes evaluados así como la densidad de población alta, y el tratamiento que obtuvo el valor más alto de pH fue el tratamiento 1 (N1 K1 S1 D1) con 8.14 (Cuadro A11).

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
 Cuadro 12. Medias por factor y nivel de la variable pH de suelo en la etapa de floración en experimento "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94.

FACTOR	pH	
N1	8.11	a ¹
N2	8.06	a
K1	8.12	a
K2	8.05	a
S1	8.14	a
S2	8.03	b
D1	8.10	a
D2	8.07	a

¹ Letras iguales dentro de factores indican que no hay diferencia entre los niveles.

4.3.2. Conductividad eléctrica del suelo.

Los resultados del análisis de varianza (Cuadro A3) para la variable conductividad eléctrica del suelo mostraron que para los factores N, K y D no se encontró diferencia significativa, solo el factor S fue significativamente diferente ($p = 0.0298$). El nivel 2 de este factor (aplicación de 120 kg ha^{-1}) presentó en promedio una conductividad eléctrica de 1.71 y el nivel 1 (0 kg ha^{-1}) 1.20, observándose una diferencia entre ambos niveles de 0.51 (Cuadro 13).

El rango de conductividad eléctrica entre los tratamientos estuvo entre 1.14 y 2.28, correspondiente a los tratamientos 5 ($N_2 K_1 S_1 D_2$) y 8 ($N_2 K_2 S_2 D_2$), respectivamente; los tratamientos con aplicación de 120 kg ha^{-1} de azufre elemental (S2) fueron los que presentaron los mayores valores de conductividad eléctrica (Cuadro A11).

Cuadro 13. Medias por factor y nivel de la variable conductividad eléctrica del suelo en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94.

FACTOR	CE
N1	1.38 a ¹
N2	1.52 a
K1	1.40 a
K2	1.51 a
S1	1.20 b
S2	1.71 a
D1	1.29 a
D2	1.61 a

¹ Letras iguales dentro de factores indican que no hay diferencia entre los niveles.

4.3.3. Peso seco de maleza.

El peso seco de la maleza (*Amaranthus spp.*) se midió con la finalidad de estimar el efecto de los factores estudiados sobre el crecimiento de malas hierbas.

Los resultados del análisis de varianza para la variable peso seco de maleza evaluados en la etapa de floración del cultivo se presentan en el Cuadro A3, en donde se observó que solo para los factores N y D se encontró diferencia altamente significativa ($p = 0.0004$ y 0.0001 , respectivamente). Para el resto de los factores no existió diferencia estadística significativa. El nivel 2 del factor N (50 kg ha^{-1}) superó en 19.25 g de peso seco de maleza al nivel 1 (0 kg ha^{-1}). Para el factor densidad la diferencia entre los dos niveles estudiados fue de 22.53 g de peso seco. Se encontró un mayor desarrollo de la maleza en el nivel D1 ($50,000$ plantas por hectárea) comparado con el nivel D2 ($70,000$ plantas por hectárea) (Cuadro 14).

Al obtener los pesos medios por tratamiento (Cuadro A11), se observó un rango de variación de 54.50 a 103.03 g , los cuales corresponden a los tratamientos 3 ($N_1 K_2 S_1 D_2$) y 6 ($N_2 K_1 S_2 D_1$), respectivamente. Los tratamientos 6 ($N_2 K_1 S_2 D_1$) y 7 ($N_2 K_2 S_1 D_1$) presentaron los pesos más altos de esta variable; estos tratamientos tienen en común aplicación de N inicial así como densidad de población de $50,000$ plantas por hectárea (N_2 y D_1).

Cuadro 14. Medias por factor y nivel de la variable peso seco de maleza en la etapa de floración en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94.

FACTOR	PESO (g)	
N1	68.52	b ¹
N2	87.77	a
K1	79.59	a
K2	76.71	a
S1	76.22	a
S2	80.07	a
D1	89.41	a
D2	66.88	b

¹ Letras iguales dentro de factores indican que no hay diferencia entre los niveles.

4.4. Análisis Foliar en la Etapa de Floración.

En la etapa de floración se tomaron muestras de hojas de la mazorca con la finalidad de evaluar el efecto de los factores estudiados sobre las concentraciones foliares de nitrógeno, fósforo y potasio.

4.4.1. Nitrógeno foliar.

El análisis estadístico para nitrógeno foliar se presenta en el Cuadro A4, en el cual se observa que no hubo diferencia significativa para ninguno de los factores estudiados. Los valores promedios de ésta variable por factor y nivel se presentan en el Cuadro 15. El rango de variación de la concentración de nitrógeno en la hoja de la mazorca por tratamiento se presenta en el Cuadro A12, el cual fue de 2.22 a 2.40,

correspondiendo a los tratamientos 2 ($N_1 K_1 S_2 D_2$) y 4 ($N_1 K_2 S_2 D_1$), respectivamente.

Cuadro 15. Medias por factor y nivel de la variable % de nitrógeno foliar en la etapa de floración en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94.

FACTOR	% N FOLIAR
N1	2.28 a ¹
N2	2.30 a
K1	2.27 a
K2	2.32 a
S1	2.32 a
S2	2.27 a
D1	2.32 a
D2	2.27 a

¹ Letras iguales dentro de factores indican que no hay diferencia entre los niveles.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

4.4.2. Fósforo foliar.

El análisis de varianza para la concentración de fósforo en la hoja de la mazorca se presenta en el Cuadro A4, el cual indica que no existe diferencia significativa para ninguno de los factores estudiados. Los resultados promedio por factor y nivel se pueden observar en el Cuadro 16. Los valores de ésta concentración por tratamiento fluctuaron entre 0.22 y 0.33% (Cuadro A12).

Cuadro 16. Medias por factor y nivel de la variable % de fósforo foliar en la etapa de floración en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94.

FACTOR	% P FOLIAR
N1	0.29 a ¹
N2	0.24 a
K1	0.27 a
K2	0.26 a
S1	0.26 a
S2	0.27 a
D1	0.26 a
D2	0.27 a

¹ Letras iguales dentro de factores indican que no hay diferencia entre los niveles.

4.4.3. Potasio foliar.

El análisis estadístico para la variable concentración de potasio en la hoja de la mazorca mostró una diferencia significativa ($p = 0.0134$) para el factor K así como para la interacción NxS y/o KxS ($p = 0.0446$); el resto de los factores e interacciones estudiados fueron no significativos estadísticamente (Cuadro A4). La mayor concentración de potasio se obtuvo con el nivel 2 de este factor (80 kg ha^{-1} de K) obteniendo en promedio 1.61% y el nivel 1 (0 kg ha^{-1} de K) 1.51%; existiendo una diferencia entre los niveles de 0.10% (Cuadro 17).

De acuerdo a las medias por tratamiento los que presentaron la mayor concentración de potasio fueron los tratamientos 2 y 3, ambos con 1.64% y el de menor fue el tratamiento 1 con 1.39 % (Cuadro A12).

Cuadro 17. Medias por factor y nivel de la variable % de potasio foliar en la etapa de floración en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94.

FACTOR	% K FOLIAR
N1	1.57 a ¹
N2	1.55 a
K1	1.51 a
K2	1.61 b
S1	1.53 a
S2	1.59 a
D1	1.53 a
D2	1.59 a

Letras iguales dentro de factores indican que no hay diferencia entre los niveles.

En cuanto a las interacciones NxD y KxS, la interacción con más posibilidades de significancia es la de KxS debido a la naturaleza de la variable. En el estudio de esta interacción se encontró que los niveles de potasio fueron diferentes significativamente en el nivel 1 de azufre (0 kg ha⁻¹), sin embargo, no se encontró diferencia significativa entre los niveles de potasio en el nivel 2 de azufre (120 kg ha⁻¹) (Cuadro 18).

Cuadro 18. Medias de la variable % de potasio foliar en la etapa de floración de los factores potasio y azufre en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94.

	S1	S2	Media
K1	1.44 b	1.57 a	1.51
K2	1.62 a	1.60 a	1.61
Media	1.53	1.59	

Letras iguales dentro de factores indican que no hay diferencia entre los niveles. DMS = 0.109

4.4.4. Resultados de los análisis foliares con la metodología DRIS.

En el Cuadro 19 se muestran los índices DRIS y el orden de requerimiento de los nutrientes de los factores estudiados. En la columna de orden del Cuadro 19 el nutriente a la izquierda indica que es más requerido que el que se encuentra a la derecha.

Cuadro 19. Índices DRIS para nitrógeno, fósforo y potasio y el orden de requerimiento en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94.

FACTOR	N	P	K	IDN	Orden
N1	-4.773	5.638	0.865	11.27	N>K>P
N2	2.063	-3.845	1.782	7.69	P>K>N
K1	-1.846	3.205	-1.359	6.41	N>K>P
K2	-0.672	-0.379	1.051	2.10	N>P>K
S1	1.067	-0.306	-0.761	2.13	K>P>N
S2	-2.690	2.390	0.300	5.38	N>K>P
D1	0.269	0.491	-0.761	1.52	K>N>P
D2	-2.690	2.387	0.303	5.38	N>K>P

4.5. Variables en la Epoca de Cosecha.

4.5.1. Altura de planta.

Para la variable altura total de planta, los valores promedio por tratamiento (Cuadro A13) fluctuaron entre 1.58 y 1.63 m, mostrando el análisis estadístico

(Cuadro A5) que no hubo diferencia significativa entre los factores estudiados; en el Cuadro 20 se presentan las medias por factor y nivel.

Cuadro 20. Medias por factor y nivel de la variable altura total en la época de cosecha en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94.

FACTOR	ALTURA TOTAL(cm)	
N1	159.51	a ¹
N2	161.41	a
K1	160.15	a
K2	160.76	a
S1	160.33	a
S2	160.59	a
D1	159.59	a
D2	161.33	a

¹ Letras iguales dentro de factores indican que no hay diferencia entre los niveles.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



4.5.2. Altura a la mazorca.

El análisis de varianza (Cuadro A5) para la variable altura a la mazorca en la época de cosecha mostró una diferencia altamente significativa ($p = 0.0034$) para el factor nitrógeno, no encontrando diferencia para el resto de los factores ni para las interacciones estudiadas. En el nivel N2 (50 kg ha⁻¹) se obtuvo una altura promedio de mazorca de 68.60 cm, superando al nivel N1 (0 kg ha⁻¹), en el cual se obtuvo en promedio una altura a la mazorca de 64.77 cm (Cuadro 21).

Los resultados de las medias por tratamientos (Cuadro A13) indicaron que los tratamientos 5, 6, 7 y 8, los cuales contienen fertilización nitrogenada inicial, fueron los que presentaron los valores máximos promedio, 66.86, 68.37, 68.19 y 70.97 cm, respectivamente.

Cuadro 21. Medias por factor y nivel de la variable altura a la mazorca en la época de cosecha en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94.

FACTOR	ALTURA MZ. (cm)	
N1	64.77	b ¹
N2	68.60	a
K1	65.69	a
K2	67.67	a
S1	66.41	a
S2	66.94	a
D1	66.49	a
D2	66.88	a

¹ Letras iguales dentro de factores indican que no hay diferencia entre los niveles.

4.5.3. Peso seco total de planta.

Los valores para peso seco total de la planta en la cosecha mostraron una diferencia altamente significativa para los factores nitrógeno y densidad ($p = 0.001$ y 0.000 , respectivamente) (Cuadro A5). El nivel N2 (50 kg ha^{-1}) superó al nivel N1 (0 kg ha^{-1}) alcanzando un peso promedio de 323.15 y 308.29 g , respectivamente; existiendo una diferencia entre ambos niveles de 14.86 g de peso. Por otro lado, en el nivel de baja densidad ($50,000 \text{ plantas ha}^{-1}$) se observó un mayor peso seco por planta que en el de nivel de alta densidad ($70,000 \text{ plantas ha}^{-1}$), los promedios de

peso seco de planta para estos niveles fueron 331.22 y 300.21 g, respectivamente; observando una diferencia de peso entre ambos niveles de 31.01 g, siendo más marcada la diferencia que para el factor N (Cuadro 22).

Los pesos promedios por tratamiento variaron de 288.43 a 340.24 g, como puede verse en el Cuadro A13, siendo los tratamientos 6 (N₂ K₁ S₂ D₁) y 7 (N₂ K₂ S₁ D₁) los que presentaron los valores más altos con 340.24 y 336.06 g, respectivamente. Estos tratamientos tienen en común los niveles N₂ y D₁.

Cuadro 22. Medias por factor y nivel de la variable peso seco total de planta en la época de cosecha en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94.

FACTOR	PESO(g)	
N1	308.29	b ¹
N2	323.15	a
K1	315.55	a
K2	315.88	a
S1	316.21	a
S2	315.21	a
D1	331.22	a
D2	300.21	b

¹ Letras iguales dentro de factores indican que no hay diferencia entre los niveles.

4.5.4. Peso de mazorca.

Los resultados del análisis estadístico para la variable peso de mazorca se presentan en el Cuadro A5, en el cual se observa una diferencia significativa ($p=0.0117$) para el factor nitrógeno, así como una diferencia altamente significativa

($p = 0.0000$) para el factor densidad; para el resto de los factores estudiados, así como para las interacciones, no se encontró diferencia estadística. El nivel 2 del factor N (50 kg ha^{-1}) registró un peso promedio de 152.60 g y el nivel 1 (0 kg ha^{-1}) tuvo un peso de 143.80 g , encontrando una diferencia entre los niveles de 8.80 g , favorable al nivel 2. Para el factor densidad la variación fue de 20.44 g a favor del nivel de baja densidad ($50,000 \text{ plantas ha}^{-1}$), el cual presentó un peso promedio de mazorca de 158.42 g y el nivel de alta densidad ($70,000 \text{ plantas ha}^{-1}$) 137.98 g (Cuadro 23).

La variación entre tratamientos del peso de la mazorca fluctuó entre 130.56 y 162.79 g , correspondiendo a los tratamientos 2 ($N_1 K_1 S_2 D_2$) y 7 ($N_2 K_2 S_1 D_1$), respectivamente. El tratamiento 2 tiene alta densidad sin nitrógeno, mientras que el tratamiento 7 tiene baja densidad y aplicación de nitrógeno. La diferencia entre ambos tratamientos fue de 32.23 g por mazorca (Cuadro A13).

Cuadro 23. Medias por factor y nivel de la variable peso de mazorca en la época de cosecha en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94.

FACTOR	PESO(g)	
N1	143.80	a ¹
N2	152.60	b
K1	147.98	a
K2	148.42	a
S1	148.77	a
S2	147.61	a
D1	158.42	a
D2	137.98	b

¹ Letras iguales dentro de factores indican que no hay diferencia entre los niveles.

4.5.5. Longitud de mazorca.

Los resultados obtenidos del análisis de varianza (Cuadro A6) para la variable longitud de mazorca mostraron una diferencia significativa ($p = 0.0413$) para el factor nitrógeno, así como una diferencia altamente significativa ($p = 0.0000$) para el factor densidad; no encontrando diferencia significativa para el resto de los factores y sus interacciones. El nivel N2 (50 kg ha^{-1}) presentó la máxima longitud de mazorca con 14.79 cm en comparación con el nivel N1 (0 kg ha^{-1}), en el cual se observaron 14.25 cm , existiendo una variación entre los niveles de 0.54 cm en favor del nivel 2, el cual corresponde a la aplicación de 50 kg ha^{-1} de nitrógeno inicial. Por otro lado el nivel 1 del factor densidad ($50,000 \text{ plantas ha}^{-1}$) presentó una longitud promedio de mazorca de 15.16 cm y el nivel 2 ($70,000 \text{ plantas ha}^{-1}$) de 14.08 cm , existiendo una diferencia de 1.08 cm entre ambos niveles (Cuadro 24).

En los resultados de las medias por tratamientos (Cuadro A14), se encontró un rango de variación de 13.83 a 15.48 cm que corresponden a los tratamientos 3 ($N_1 K_2 S_1 D_2$) y 6 ($N_2 K_1 S_2 D_1$), respectivamente. El tratamiento 3 tiene densidad alta sin aplicación de nitrógeno, mientras que el tratamiento 6 tiene densidad baja con aplicación de nitrógeno.

Cuadro 24. Medias por factor y nivel de la variable longitud de mazorca en la época de cosecha en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94.

FACTOR	LONGITUD (cm)	
N1	14.25	a ¹
N2	14.79	b
K1	14.67	a
K2	14.57	a
S1	14.56	a
S2	14.68	a
D1	15.16	a
D2	14.08	b

Letras iguales dentro de factores indican que no hay diferencia entre los niveles.

4.5.6. Perímetro de mazorca.

Los resultados de los análisis de varianza para la variable perímetro de mazorca mostraron una diferencia altamente significativa ($p = 0.0041$) para el factor nitrógeno, así como una diferencia altamente significativa ($p = 0.0001$) para el factor densidad; no encontrando diferencia significativa para el resto de los factores y las interacciones estudiadas (Cuadro A6). Se observó que en el nivel 2 (50 kg ha^{-1}) del factor nitrógeno se observó un promedio de 15.0 cm de perímetro de mazorca y en el nivel 1 (0 kg ha^{-1}) de 14.79 cm , existiendo una diferencia de 0.21 cm entre ambos niveles. Por otro lado, para el factor densidad existió una diferencia de 0.35 cm entre los niveles estudiados, siendo el nivel 1 ($50,000 \text{ plantas ha}^{-1}$) el que obtuvo un valor promedio de 15.07 cm de perímetro de mazorca y el nivel 2 ($70,000 \text{ plantas ha}^{-1}$) presentó un promedio de 14.72 cm (Cuadro 25).

Los resultados de las medias por tratamiento mostraron un rango de variación entre tratamientos de 14.47 a 15.20 cm, correspondiendo a los tratamientos 2 ($N_1 K_1 S_2 D_2$) y 6 ($N_2 K_1 S_2 D_1$), respectivamente. Los máximos valores corresponden a los tratamientos 6 y 7 los cuales tienen aplicación inicial de nitrógeno, así como una densidad de 50,000 plantas por hectárea (N_2 y D_1), siendo los factores en los que se encontró diferencia significativa (Cuadro A14).

Cuadro 25. Medias por factor y nivel de la variable perímetro de mazorca en la época de cosecha en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94.

FACTOR	PERIMETRO (cm)
N1	14.79 b ¹
N2	15.00 a
K1	14.89 a
K2	14.90 a
S1	14.91 a
S2	14.88 a
D1	15.07 a
D2	14.72 b

¹ Letras iguales dentro de factores indican que no hay diferencia entre los niveles.

4.5.7. Longitud de mazorca sin llenado de grano.

El análisis de varianza (Cuadro A6) para la variable longitud de mazorca sin llenado de grano mostró una diferencia significativa ($p = 0.0436$) para el factor azufre, no encontrando diferencia significativa para el resto de los factores ni para las interacciones bajo estudio. La máxima longitud sin llenado de grano se encontró con el factor S2 (120 kg ha⁻¹ de azufre elemental) el cual obtuvo en promedio 1.79

cm en comparación con S1 el cual promedió 1.58 cm, encontrando una diferencia de 0.21 cm entre los dos niveles (Cuadro 26).

El rango de variación por tratamiento fue de 1.51 a 1.96 cm correspondiendo a los tratamientos 1 ($N_1 K_1 S_1 D_1$) y 8 ($N_2 K_2 S_2 D_2$), respectivamente. En general, los tratamientos que no incluyeron aplicación de azufre (S1) presentaron los valores más bajos en promedio de longitud de mazorca sin llenado de grano (Cuadro A14).

Cuadro 26. Medias por factor y nivel de la variable longitud sin llenado de grano en la época de cosecha en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94.

FACTOR	LONGITUD (cm)	
N1	1.65	a ¹
N2	1.73	a
K1	1.66	a
K2	1.71	a
S1	1.58	a
S2	1.79	b
D1	1.63	a
D2	1.74	a

¹ Letras iguales dentro de factores indican que no hay diferencia entre los niveles.

4.5.8. Hileras por mazorca.

Los resultados del análisis de varianza para la variable hileras por mazorca indicaron una diferencia significativa ($p = 0.0352$) para el factor densidad, no encontrando diferencia significativa para el resto de los factores ni para las interacciones estudiadas (Cuadro A6). La densidad con mayor número de hileras fue

la de 50,000 plantas ha^{-1} , obteniendo en promedio 13.71, comparado con la densidad de 70,000, con promedio de 13.32 hileras (Cuadro 27).

La fluctuación en promedio de los tratamientos (Cuadro A14) fue de 12.89 a 13.91 hileras por mazorca, correspondiendo a los tratamientos 2 ($N_1 K_1 S_2 D_2$) y 1 ($N_1 K_1 S_1 D_1$), respectivamente. En general, los tratamientos con densidades de 50,000 plantas por hectárea (D1) presentaron los máximos valores para ésta variable.

Cuadro 27. Medias por factor y nivel de la variable hileras por mazorca en la época de cosecha en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94.

VARIABLE	NUMERO DE HILERAS	
N1	13.47	a ¹
N2	13.56	a
K1	13.55	a
K2	13.49	a
S1	13.67	a
S2	13.36	a
D1	13.71	a
D2	13.32	b

¹ Letras iguales dentro de factores indican que no hay diferencia entre los niveles.

4.5.9 Granos por hilera.

En el análisis de varianza (Cuadro A7) para la variable granos por hilera, se observó una diferencia altamente significativa ($p = 0.0001$) para el factor densidad, no encontrando diferencia significativa para el resto de los factores ni para las interacciones evaluadas. El promedio obtenido para el nivel D1 (50,000 plantas ha^{-1})

fue de 35.46 y para el nivel D2 (70,000 plantas ha⁻¹) 32.28 granos por hilera. La diferencia entre los niveles fue de 3.18 granos por hilera (Cuadro 28).

El rango de variación en los promedios por tratamiento (Cuadro A15) fue de 31.69 a 35.86 granos por hilera, el cual correspondió a los tratamientos 3 (N₁ K₂ S₁ D₂), y 7 (N₂ K₂ S₁ D₂), respectivamente; los máximos valores fueron 35.28, 35.36, 35.34 y 35.86 granos por hilera los cuales fueron obtenidos con los tratamientos 1, 4, 6 y 7, respectivamente, los cuales tienen en común densidades de 50,000 plantas por hectárea.

Cuadro 28. Medias por factor y nivel de la variable granos por hilera en la época de cosecha en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94.

FACTOR	GRANOS POR HILERA	
N1	33.61	a ¹
N2	34.13	a
K1	33.93	a
K2	33.81	a
S1	33.96	a
S2	33.77	a
D1	35.46	a
D2	32.28	b

¹ Letras iguales dentro de factores indican que no hay diferencia entre los niveles.

4.5.10. Peso de olote.

Los resultados del análisis de varianza mostraron una diferencia altamente significativa ($p = 0.0026$) para el factor nitrógeno, así como una diferencia altamente significativa ($p = 0.0000$) para el factor densidad; para el resto de los factores así como para las interacciones estudiadas no se encontró diferencia significativa (Cuadro A7). Los valores promedio obtenidos para el nivel N1 (0 kg ha^{-1}) fueron 21.84 g y para el nivel N2 (50 kg ha^{-1}) 23.40 g ; encontrando una diferencia de 1.56 g en el peso de olote entre los niveles del factor N. Por otro lado, para el factor densidad, el nivel D1 ($50,000 \text{ plantas ha}^{-1}$) obtuvo 24.23 g de peso de olote y el nivel D2 ($70,000 \text{ plantas ha}^{-1}$) 21.02 g , observándose una diferencia entre ambos niveles de 3.21 g ; siendo mayor el nivel D1 ($50,000 \text{ plantas ha}^{-1}$) comparado con el nivel D2 ($70,000 \text{ plantas ha}^{-1}$) (Cuadro 29).

Según los resultados de las medias por tratamiento (Cuadro A15) el rango de variación encontrado fue de 20.04 g a 25.56 g , obtenidos por los tratamientos 2 ($N_1 K_1 S_2 D_2$) y 6 ($N_2 K_1 S_2 D_1$), respectivamente; los tratamientos con los máximos valores fueron el 6 ($N_2 K_1 S_2 D_1$) y 7 ($N_2 K_2 S_1 D_1$) los cuales tienen en común aplicación de 50 kg ha^{-1} de nitrógeno inicial así como densidad de $50,000$ plantas por hectárea.

Cuadro 29. Medias por factor y nivel de la variable peso de olote en la época de cosecha en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94.

FACTOR	PESO (g)	
N1	21.84	b ¹
N2	23.40	a
K1	22.48	a
K2	22.76	a
S1	22.27	a
S2	22.97	a
D1	24.23	a
D2	21.02	b

¹ Letras iguales dentro de factores indican que no hay diferencia entre los niveles

4.5.11. Peso de 100 granos.

Los resultados del análisis de varianza para la variable peso de 100 granos (Cuadro A7) mostraron una diferencia altamente significativa ($p=0.0025$) para el factor nitrógeno; no encontrando diferencia significativa para el resto de los factores ni para las interacciones estudiadas. El nivel N1 (0 kg ha^{-1}) presentó en promedio 28.93 g por cada 100 granos y el nivel N2 (50 kg ha^{-1}) tuvo un promedio de 29.86 g, observando una diferencia entre estos niveles de 0.93 g (Cuadro 30).

Se observó un rango de variación entre las medias por tratamiento de 28.20 a 30.11 g, correspondiendo a los tratamientos 3 ($N_1 K_2 S_1 D_2$) y 8 ($N_2 K_2 S_2 D_2$), respectivamente; en general los máximos valores fueron obtenidos por los tratamientos 6, 7 y 8, los cuales incluyeron fertilización con 50 kg ha^{-1} de N inicial (N2) que fue el factor en el que se encontró diferencia significativa (Cuadro A15).

Cuadro 30. Medias por factor y nivel de la variable peso de 100 granos en la época de cosecha en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94.

FACTOR	PESO (g)	
N1	28.93	b'
N2	29.86	a
K1	29.34	a
K2	29.45	a
S1	29.15	a
S2	29.64	a
D1	29.61	a
D2	29.18	a

Letras iguales dentro de factores indican que no hay diferencia entre los niveles.

4.5.12. Peso de grano.

El análisis de varianza para la variable peso de grano, indicó diferencia significativa para el factor nitrógeno inicial y diferencia altamente significativa para el factor densidad; no encontrando diferencias para el resto de los factores e interacciones estudiadas (Cuadro A7). El nivel N1 (0 kg ha^{-1}) presentó en promedio 121.88 g y el nivel N2 (50 kg ha^{-1}) tuvo en promedio 129.26 g, observándose una diferencia entre ambos niveles de 7.38g. Para el nivel D1 ($50,000 \text{ plantas ha}^{-1}$) se obtuvo en promedio 139.21 g y para el nivel D2 ($70,000 \text{ plantas ha}^{-1}$) 116.92 g existiendo una diferencia de 22.29g entre ambos niveles (Cuadro 31).

Cuadro 31. Medias por factor y nivel de la variable peso de grano en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94.

FACTOR	PESO (g)	
N1	121.88	b'
N2	129.26	a
K1	125.48	a
K2	125.58	a
S1	126.50	a
S2	124.64	a
D1	139.21	a
D2	116.92	b

4.5.13. Índice de cosecha.

Los resultados del análisis de varianza para la variable índice de cosecha (Cuadro A8) mostraron una diferencia significativa ($p=0.050$) para el factor nitrógeno y altamente significativa para densidad ($p=0.000$); no encontrando diferencia significativa para el resto de los factores ni para las interacciones estudiadas. El nivel N1 (0 kg ha^{-1}) presentó un índice de cosecha de 0.3939 y el nivel N2 (50 kg ha^{-1}) tuvo un promedio de 0.3985 (Cuadro 32).

Se observó un rango de variación entre las medias por tratamiento de 0.3815 a 0.4078, correspondiendo a los tratamientos 2 ($N_1 K_1 S_2 D_2$) y 7 ($N_2 K_2 S_1 D_1$), respectivamente; en general los valores más bajos de índice de cosecha fueron encontrados en los tratamientos sin nitrógeno y densidad alta. (Cuadro A16).

Cuadro 32. Medias por factor y nivel de la variable índice de cosecha en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94.

FACTOR	IC	
N1	0.3939	b ¹
N2	0.3985	a
K1	0.3960	a
K2	0.3964	a
S1	0.3984	a
S2	0.3938	a
D1	0.4045	a
D2	0.3879	b

† Letras iguales dentro de factores indican que no hay diferencia entre los niveles.

4.5.14. Rendimiento por parcela útil.

El rendimiento por parcela útil se analizó considerando diferentes técnicas estadísticas, las cuales se describen en el capítulo de materiales y métodos. Primeramente se estimaron los errores experimentales en cada una de las parcelas (Figura 2), con la finalidad de determinar si existía alguna tendencia en la distribución de estos en el campo. Errores negativos indican rendimientos por abajo del promedio del tratamiento, mientras que errores positivos indican rendimientos superiores al promedio del tratamiento, por lo que en la Figura 2 se puede observar que existe un área de bajo rendimiento en la parte norte-este y un área de alto rendimiento en la parte sur-oeste. Esta distribución agrupada de los residuales invalida la suposición de independencia de los errores requerida en el análisis de varianza.

Figura 2. Croquis del experimento en el campo con el número de tratamiento y errores estimados en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94.

N ↑

T 9	T 3	T 6	T 8	T 1	T 5	T 4	T 2
-199	36	60	101	-1022	-310	-232	-587
T 1	T 8	T 4	T 3	T 6	T 2	T 7	T 5
603	157	229	58	-370	-147	39	-9
T 7	T 2	T 1	T 5	T 4	T 6	T 8	T 3
44	463	267	274	-324	234	-231	-103
T 4	T 3	T 8	T 2	T 5	T 7	T 1	T 6
327	8	-26	271	44	115	153	76

Los análisis de varianza y covarianza mostraron que la técnica de vecindad cercana con ajuste N-S resultó con el menor coeficiente de variación y con la mayor F para la covariable. Los análisis de vecindad cercana E-O y con todas las parcelas vecinas no mostraron una mejoría en precisión comparado con el análisis normal de bloques al azar sin covarianza (Cuadro 33). El análisis de covarianza para rendimiento utilizando como covariable la humedad de suelo resultó con el coeficiente de variación (CV) más bajo, comparado con el CV de los análisis de vecindad cercana.

Cuadro 33. Coeficientes de variación, F y P para tratamientos y covariables obtenidos con los diferentes métodos de análisis del rendimiento por parcela útil en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94.

Método	CV	F trat.	P > F	F Cov.	P > F Cov.
Sin Cov.	4.135	6.958	0.000		
Cov. H.S.	3.636	9.880	0.000	7.150	0.015
Cov. E.O.	4.226	6.608	0.000	0.107	0.747
Cov. N.S.	3.537	7.549	0.000	8.697	0.000
Cov. T.D.	3.947	7.756	0.000	3.039	0.097
Cov. E.O. y N.S.	3.566	6.585	0.000	0.669	0.424
N.S.				9.071	0.007
Cov. H.S. y N.S.	4.168	8.906	0.000	3.496	0.007
N.S.				4.778	0.042

Sin Cov. = Sin covarianza Cov. H. S. = Covariable humedad de suelo Cov. E. O. = Covariable Este-Oeste

Cov. N. S. = Covariable Norte-Sur Cov. T. D. = Covariable Todas Direcciones Cov. E. O. y N. S. = Covariables Este-Oeste y Norte-Sur
Cov. H. S. y N. S. = Covariables Humedad de suelo y Norte-Sur

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

Cuando se incluyeron dos covariables (E.O. y N.S.) en el modelo, no se incrementó significativamente la precisión del análisis. Tampoco hubo incremento en la precisión cuando se incluyó la humedad del suelo y el ajuste N.S. como covariables.

Para interpretar el efecto de los factores estudiados sobre el rendimiento de la parcela útil se consideró el análisis de covarianza utilizando como covariable la humedad del suelo. En éste análisis estadístico se encontraron diferencias significativas para los factores nitrógeno ($p = 0.0006$), potasio ($p = 0.0145$) y densidad ($p = 0.0000$). No se encontró efecto significativo de las interacciones (Cuadro A8).

El nivel N1 (0 kg ha⁻¹) presentó en promedio 7655.29 kg ha⁻¹ y el nivel N2 (50 kg ha⁻¹) tuvo un promedio de 8095.26 kg ha⁻¹, observando una ganancia en rendimiento de 439.97 kg ha⁻¹ debido a la aplicación de nitrógeno inicial. En cuanto a la aplicación de potasio se obtuvo una ganancia en rendimiento de 301.93 kg ha⁻¹; y la diferencia en rendimiento entre los niveles de densidad fue de 560.20 kg ha⁻¹ a favor de la densidad de 70,000 plantas ha⁻¹ (Cuadro 34).

Los promedios de rendimiento menores y mayores fueron 7157.28 y 8467.85, correspondiendo a los tratamientos 1 (N₁ K₁ S₁ D₁) y 8 (N₂ K₂ S₂ D₂), respectivamente (Cuadro A16). El tratamiento 8 contiene los niveles altos de los factores (N, K y D) que promovieron un mayor rendimiento, mientras que el tratamiento 1 contiene los niveles bajos de estos factores.

Cuadro 34. Medias ajustadas por covarianza por factor y nivel de la variable rendimiento de grano por parcela útil transformado a kg por hectárea en el estudio "Respuesta a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de maíz en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94.

FACTOR	RENDIMIENTO (kg ha ⁻¹)
N1	7655.29 b ¹
N2	8095.26 a
K1	7724.31 b
K2	8026.24 a
S1	7921.04 a
S2	7829.50 a
D1	7545.17 b
D2	8205.37 a

¹ Letras iguales dentro de factores indican que no hay diferencia entre los niveles.

5. DISCUSIÓN

5.1. Aplicación de Nitrógeno antes de la Siembra.

En la etapa vegetativa (45 días después de la siembra), el nitrógeno inicial no tuvo efecto significativo sobre el área foliar y el diámetro de tallo; en esta etapa solo se encontró diferencia significativa para altura de planta. En floración, únicamente hubo respuesta significativa para altura de mazorca; en la época de cosecha también se encontraron diferencias significativas para altura de mazorca. En ambos casos se encontró mayor altura en las parcelas fertilizadas con nitrógeno inicial. El efecto del nitrógeno sobre la altura, está asociado con la función de este nutriente en la fisiología de la planta, ya que cantidades adecuadas de este elemento producen plantas vigorosas fomentando el desarrollo vegetativo. Tanaka *et al.* (1981) reportaron que plantas de maíz fertilizadas con nitrógeno tuvieron una altura superior a plantas sin fertilización nitrogenada, concluyendo que el nitrógeno tiene un efecto importante sobre la altura de maíz.

En el presente estudio, al momento de la cosecha se encontraron diferencias significativas en las variables: peso seco de planta, peso de mazorca, longitud de mazorca, perímetro de mazorca, peso de olote, peso de 100 granos y peso de grano; encontrando que en todos los casos se obtuvieron en promedio valores mayores en las parcelas en donde se aplicó nitrógeno inicial. Estos resultados no coinciden con la hipótesis planteada y con los presentados por Bates (1971) y Bullock *et al.* (1993), quienes reportaron respuesta en las primeras etapas de desarrollo de plantas

de maíz a aplicaciones iniciales de nitrógeno; pero no encontraron diferencia en rendimiento de grano y peso de plantas.

Como una observación colateral del efecto del nitrógeno, se midió el desarrollo de la maleza en la etapa de floración, encontrando un mayor desarrollo en las parcelas donde se aplicó nitrógeno inicial, siendo significativa esta diferencia. El nitrógeno se aplicó en noviembre 29 de 1993 y el efecto sobre la maleza se observó cinco meses después. Este resultado indica que el nitrógeno permaneció en el suelo, probablemente en forma de NH_4^+ adsorbido por las partículas del suelo, lo que indica que hubo una pérdida muy pequeña por lixiviación de NO_3^- y desnitrificación. La presencia del nitrógeno en el suelo por un largo periodo de tiempo puede indicar una actividad microbiana baja, debido a que el proceso de nitrificación fue lento. Otras evidencias de poca actividad microbiana fueron: 1) la presencia de residuos de cosecha del año anterior en las muestras de suelo colectadas cinco meses después de aplicado el fertilizante, 2) una oxidación del azufre muy lenta y 3) un bajo contenido de materia orgánica del suelo.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

La aplicación de nitrógeno inicial también tuvo un efecto importante en el rendimiento de grano por hectárea. En la hipótesis original planteada, se mencionó que no se esperaba respuesta a la aplicación de nitrógeno antes de la siembra, debido a que en experimentos previos (García, 1994; Castro, 1991; Bullock *et al.*, 1993; Bates, 1971) y en algunas observaciones de agricultores de la región no se habían encontrado efectos significativos a estas aplicaciones, probablemente debido a las altas dosis de nitrógeno que se aplicaban en el primer cultivo bajo este sistema de producción. Sin embargo, los resultados obtenidos en el presente trabajo rechazan esta hipótesis.

Estos resultados pueden interpretarse de tres formas.

Primero, que el suelo sea altamente deficiente de nitrógeno, por lo que es necesario aplicar altas dosis antes de la siembra y en el primer cultivo.

Segundo, que la aplicación de nitrógeno en el primer cultivo no haya sido eficiente; de acuerdo con las observaciones y resultados obtenidos, es probable que la causa del efecto del nitrógeno inicial sea la falta de fertilizante en el primer cultivo; la fuente de nitrógeno que se aplicó en el primer cultivo fue un fertilizante líquido (32-0-0), existiendo la sospecha de que no tenía las unidades de nitrógeno declaradas o que se aplicó una dosis menor a la reportada. Otra evidencia del poco efecto de esta fertilización fue la presencia de síntomas de deficiencia de nitrógeno en las plantas de maíz en las parcelas donde no se aplicó nitrógeno antes de la siembra.

Tercero, que el híbrido utilizado tiene la capacidad de responder a la fertilización inicial; Teare y Wright (1990) reportaron que existe una interacción entre híbrido-fertilización inicial, ellos encontraron que algunos híbridos consistentemente rinden más con una fertilización inicial (Funks G4733, Asgrow RX777, Sunbelt 1880, Pioneer 3320, Jacques JX247, Jacques 8400, Northrup King PX9581 y Coker 8660); mientras otros híbridos rinden menos o no responden a la fertilización inicial (Northrup King 508, DeKalb DK748, Agratech GK900, Paymaster 7990, Mc Curdy 7800, DeKalb XL71 y Coker 21). Debido a lo anterior se recomienda que esta hipótesis sea probada nuevamente en futuros experimentos.

El análisis económico del efecto de la fertilización inicial en este experimento, mostró que el incremento en rendimiento de 440 kg ha⁻¹ debido a la

fertilización inicial, equivale a una ganancia neta de \$186.00, considerando el precio de una tonelada de maíz igual a \$650.00 y el precio de un kilo de nitrógeno aplicado al suelo igual a \$2.00. Este análisis demuestra la ventaja de la fertilización nitrogenada inicial en el sistema de producción de maíz donde se realizó el experimento.

5.2. Aplicación de Potasio.

De todas las variables medidas durante el desarrollo del cultivo, solo se encontró diferencia significativa para rendimiento por hectárea y concentración de potasio en la hoja de la mazorca; observando en ambos casos, valores promedio mayores en las parcelas donde se aplicó potasio. En general, el resto de las variables mostraron valores mayores con la aplicación de potasio, pero no se encontraron diferencias estadísticas.

En el norte de Tamaulipas los suelos son calcáreos, los análisis de suelo han reportado altos contenidos de potasio. Sin embargo, los reportes sobre los efectos del potasio en el rendimiento de maíz han sido contradictorios. En algunos casos se han encontrado efectos importantes sobre el rendimiento, pero en otros no se ha encontrado respuesta a este nutriente. En el valle del Río Grande, Texas se recomienda este nutriente en la mayoría de los cultivos.

Los resultados obtenidos en el presente experimento, demuestran que existe respuesta en el rendimiento de grano de maíz a las aplicaciones de potasio. Esta respuesta puede deberse a alguno de los siguientes factores:

a) Los suelos del norte de Tamaulipas han sido reportados como altos en potasio (PIFSV, 1985). Sin embargo, el suelo donde se realizó el experimento ha estado sometido a una agricultura intensiva en los últimos 50 años y no se había aplicado potasio en ciclos anteriores. Es probable que la concentración de este nutriente en la solución del suelo pudiera estar disminuyendo. En otros estudios sobre la fertilidad con potasio se han encontrado respuestas a la aplicación de este nutriente en suelos que fueron reportados con niveles altos en este nutriente (Barbarick, 1985)

b) Hay algunos reportes bibliográficos de respuesta al potasio en suelos calcáreos, esto debido a un antagonismo en el mecanismo de absorción con el calcio. Este efecto fue reportado por Díez (1979) en un experimento, donde se encontró que la concentración de potasio en la solución del suelo, fue reducida a medida que se incrementaba la concentración de calcio; también reportó que la concentración de potasio en la solución del suelo fue baja en 15 de los 20 suelos calcáreos estudiados. La mayoría de los suelos mostraron valores bajos en potasio intercambiable.

c) Los nuevos materiales genéticos y el sistema de producción de maíz en donde se estableció el experimento están diseñados para producir altos rendimientos, por lo que el requerimiento de nutrientes es alto. Esto ha sido reportado por varios autores. Hechman y Kamprath (1992) mencionaron que cuando el maíz es sometido a prácticas intensivas de producción (irrigación, altas densidades de población, altas dosis de nitrógeno y fósforo, aplicaciones de insecticidas, etc.), pudieran incrementarse los requerimientos de potasio, así como pudiera esperarse respuestas a aplicaciones de potasio en suelos cuyos análisis marcan altos contenidos de este elemento. Steineck y Header (1979), Faizy (1978) y Mackey y Barber (1985)

mencionaron que en sistemas de producción de maíz con altas densidades, riego y aplicaciones importantes de nitrógeno requieren altos niveles de potasio en el suelo.

En cuanto al estudio económico de la aplicación de potasio, se encontró que el efecto de la aplicación de 80 kg ha⁻¹ de potasio fue de 302 kg ha⁻¹, lo que equivale a una ganancia bruta de \$196.00. Considerando el precio de \$3.00 el kilo de potasio, se invirtieron \$240.00 por hectárea al aplicar la dosis mencionada, por lo que el incremento en rendimiento no compensa el costo del fertilizante potásico.

5.3. Aplicación de Azufre Agrícola.

En la aplicación de 120 kg ha⁻¹ de azufre agrícola solo se encontró efecto significativo para las variables pH y conductividad eléctrica del suelo, así como para longitud de mazorca sin polinizar. Con la aplicación de azufre disminuyó el pH del suelo, mientras que la conductividad eléctrica aumentó. El cambio en pH y conductividad eléctrica no tuvo efecto significativo en el rendimiento. Los efectos del azufre agrícola sobre el pH y conductividad eléctrica encontrados en el presente experimento han sido ampliamente reportados en la literatura. Albalate (1992) encontró que con 320 meq 100 g⁻¹ de suelo, el pH se redujo significativamente; aunque por razones prácticas, recomienda 20 meq de azufre 100 g⁻¹ de suelo con lo cual se reduce el pH hasta la neutralidad. Aburto (1987) también reportó disminuciones de pH e incrementos en la salinidad del suelo con la aplicación de azufre agrícola.

El azufre agrícola no tuvo efecto sobre el rendimiento y las variables asociadas, además el decremento del pH no fue importante. Este resultado se puede explicar por una oxidación lenta del azufre. En los muestreos de suelo efectuados cinco meses después de la aplicación, se observó que el azufre no se encontraba descompuesto; lo anterior probablemente se debe a que en el suelo no se encuentran las bacterias del género *Thiobacillus* necesarias para que se lleve a cabo la oxidación del azufre (Beaton *et al.*, 1985, Kanopka *et al.*, 1986 y Aburto, 1987).

En cuanto al incremento de la conductividad eléctrica del suelo como resultado de la aplicación del azufre, éste se debe al aumento de la cantidad de sales solubles debido a la oxidación del azufre (Albalate, 1992) y Díaz, 1991). Aunque el aumento en la conductividad en la presente investigación no rebasó el nivel crítico de 4 mmhos.

Por otro lado, los resultados de los análisis foliares mostraron que no hubo aumento en la concentración de fósforo en la hoja de la mazorca, por lo que se puede suponer, que no existió una mejor disponibilidad de este elemento con la aplicación del azufre; lo anterior debido a que la disminución en el pH no fue suficiente para que este elemento estuviera más disponible, como lo mencionaron Young *et al.* (1985) y Beaton *et al.* (1985).

5.4. Densidad de Población.

En la etapa vegetativa (45 días después de la siembra) se tuvo diferencia significativa para área foliar y diámetro de tallo; en general, se encontraron plantas

más desarrolladas en la densidad baja (50,000 plantas por ha⁻¹) comparado con la densidad alta (70,000 plantas ha⁻¹). En la etapa de floración los resultados siguieron las mismas tendencias.

De las variables medidas en la época de cosecha, se encontró diferencia significativa en: peso seco de planta, peso de mazorca, longitud de mazorca, perímetro de mazorca, hileras por mazorca, granos por hilera, peso de olote, peso de 100 granos y peso de grano. En todas las variables se encontró un mayor desarrollo en la densidad de 50,000 plantas ha⁻¹.

Los resultados obtenidos coinciden con los de Arizpe (1985), quien mencionó que al aumentar la densidad de población en maíz, se vieron afectados desfavorablemente las características de ancho de la hoja de la mazorca, diámetro de tallo, número de mazorcas por planta, diámetro de mazorca, peso de mazorca y peso de grano por planta. Así mismo, Karlen y Camp (1985) encontraron que al aumentar la población de maíz a 6.7, 7.1, 8.9 y 10.3 plantas m⁻², el rendimiento de grano aumentó, pero al pasar a 11.2 plantas m⁻² éste se redujo; así mismo, los granos por mazorca y peso de grano se vieron reducidos y el número de plantas acamadas y estériles aumentó. Tanaka *et al.* (citado por Tanaka y Yamaguchi, 1981) encontraron que a mayor nivel de nitrógeno o menor distancia entre plantas, mayor fue el rendimiento por área en dos variedades de maíz; así mismo, reportaron que el índice de área foliar, fue mayor en densidades altas, el número de hileras por mazorca fue casi constante, el número de granos por hilera fue mayor en densidades bajas y el peso de 1,000 granos aumentó al incrementarse la distancia entre plantas.

En el presente experimento se encontró una diferencia significativa entre densidades para el rendimiento por hectárea. Los valores promedio para la densidad de 50,000 plantas ha^{-1} fueron mayores para la mayoría de los principales componentes del rendimiento, como número de granos por mazorca y peso de 100 granos; pero se encontró un efecto compensatorio en el rendimiento por número de plantas por hectárea; de tal manera, que a pesar de que en la densidad de 70,000 plantas ha^{-1} estos valores fueron menores, el rendimiento por área fue mayor. Este efecto compensatorio probablemente este dado por el aumento del índice de área foliar, el cual se ve incrementado al aumentar la densidad de plantas (Karlen y Camp, 1985), implicando una mayor intercepción de luz por el dosel del cultivo y por lo tanto, aumentando la capacidad fotosintética de las plantas.

En el presente trabajo también se encontró diferencia significativa entre las densidades en cuanto a la biomasa de maleza. La densidad de 70,000 plantas ha^{-1} tuvo menor peso seco de maleza por área que la densidad de 50,000 plantas ha^{-1} . Este resultado coincide con el reportado por Tollenar *et al.* (1994), quienes reportan que la biomasa de maleza fue reducida al incrementar la densidad de plantas de maíz. Estos resultados son explicables debido a que al incrementarse la densidad de plantas, se incrementa la competencia por agua y nutrientes, además, en altas densidades de maíz penetra menos luz entre los surcos lo que reduce la actividad fotosintética de la maleza.

En trabajos realizados sobre densidades de plantas en maíz en la región de estudio, se han encontrado resultados similares a los de la presente investigación; es decir, respuesta en rendimiento de grano a densidades de 70,000 plantas ha^{-1} (Reyes y García, 1994). Lo anterior indica que en el sistema de alta producción de

maíz en el norte de Tamaulipas, en el cual se incluyen materiales genéticos de alto potencial de rendimiento, se debe considerar densidades de población altas; sin embargo, es necesario que se considere este factor en futuras investigaciones para encontrar la superficie de respuesta del rendimiento a densidades, así como la interacción con fertilización.

El análisis económico mostró que al aumentar la densidad de 50,000 a 70,000 plantas ha⁻¹ se incrementó el rendimiento en 560 kg, con lo que se obtuvo una ganancia bruta de \$364.00. Si se considera la bolsa de semilla con 65,000 granos a \$250.00, entonces el costo en el incremento en densidad de siembra es de \$76.90, lo que da una ganancia neta de \$287.00.

5.5. Interpretación de los Análisis Foliare Utilizando el Criterio de los Niveles Críticos.

5.5.1. Nitrógeno

Los niveles de nitrógeno en la hoja de la mazorca estuvieron en el rango de 2.27 a 2.32 % en base a materia seca. Estos valores están por debajo de los valores críticos reportados en la literatura, los cuales son; mínimo de 2.7%, medio de 3.1% y máximo de 3.5 % (Sumner, 1979). Estos resultados hacen suponer una posible deficiencia de nitrógeno o una imprecisión en los análisis de laboratorio. Sin embargo, también cabe la posibilidad de que las condiciones climáticas, híbrido de maíz utilizado o algunos otros factores pudieran haber afectado las concentraciones

foliares de nitrógeno en el experimento, como se mencionó por Escano *et al.*, (1981).

Las concentraciones de nitrógeno foliar obtenidas en el presente trabajo son mayores que las obtenidas por García, (1994) (1.85-2.06 %N) en el mismo predio en donde se realizó el presente experimento. Los análisis de nitrógeno también fueron realizados en el mismo laboratorio. La evaluación de estos resultados conducen a plantear nuevamente la hipótesis de poca exactitud en la determinación de nitrógeno en muestras foliares en el laboratorio en donde se realizaron los análisis.

El análisis de varianza no detectó diferencia significativa entre los niveles de nitrógeno estudiados en el experimento para la concentración foliar de nitrógeno. Las concentraciones fueron de 2.28 y 2.30 % para N1 y N2, respectivamente. Si se considera la diferencia encontrada en rendimiento y en la mayoría de las variables relacionadas con el rendimiento, se deduce que la falta de diferencia significativa en las concentraciones foliares de nutrientes pudieran deberse a poca precisión en las determinaciones del laboratorio o al tamaño de la muestra de hojas utilizada (dos hojas por parcela).

5.5.2. Fósforo.

Los niveles de concentración de fósforo foliar en los tratamientos estudiados estuvieron en el rango de 0.26 a 0.29. Estos niveles están dentro del rango de suficiencia reportados en la literatura, los cuales son de: mínimo 0.2 %, media 0.3% y máximo de 0.4 % para concentraciones de fósforo en la hoja de la mazorca en la

etapa de floración (Sumner, 1979). Sin embargo, los valores están por debajo de la media reportada en los rangos críticos. En los experimentos no se estudiaron niveles de fósforo, por lo que se aplicó una dosis de 70 unidades de este nutriente en todas las parcelas. En experimentos previos se han encontrado deficiencias de este elemento, por lo que, debido a los resultado foliares por debajo de la media, se considera importante estudiar este factor en futuros experimentos.

5.5.3. Potasio

Los niveles de concentración de potasio foliar en los tratamientos estudiados estuvieron en el rango de 1.51 a 1.61 %. Estos niveles están por debajo de los reportado en el rango de suficiencia, los cuales son de: mínimo 1.7 %, media 2.1% y máximo de 2.5 % (Sumner, 1979).

Los resultados estadísticos mostraron una diferencia significativa entre los niveles de potasio estudiados para la concentración foliar de potasio. Este resultado, aunado a las concentraciones encontradas por debajo del rango de suficiencia, muestran una respuesta a aplicaciones de potasio, por lo que se debe de considerar este factor en futuras investigaciones.

5.6. Interpretación de los Análisis Foliare Utilizando el Criterio DRIS.

5.6.1. Nitrógeno

Los índices DRIS indican el desbalance nutricional entre los nutrientes estudiados en la muestra. Para N1 (0 kg ha⁻¹) se encontró un desbalance negativo para nitrógeno y positivo para fósforo, lo que indica que el orden de requerimiento es de N>K>P. En el caso del nivel N2 (50 kg ha⁻¹), los índices DRIS fueron positivo para nitrógeno y negativo para fósforo, con un orden de requerimiento de P>K>N. En general, se observó un mayor desbalance nutricional en el nivel N1. Estos resultados muestran que la aplicación de nitrógeno fue suficiente para corregir la deficiencia de nitrógeno, respecto a las concentraciones de fósforo y potasio.

5.6.2. Potasio.

En el caso de la aplicación de potasio, los índices DRIS también explican la respuesta a este nutriente. En el nivel K1 de potasio (0 kg ha⁻¹) se encontraron índices negativos para nitrógeno y potasio y positivo para fósforo. Sin embargo, en el nivel K2 de potasio (80 kg ha⁻¹) el índice para potasio fue positivo, mientras que para nitrógeno y fósforo fueron negativos. Mostrando en general, un desbalance nutricional mas fuerte el nivel K1.

5.6.3. Densidad.

En el caso de las densidades, se encontró un mayor desbalance nutricional en la densidad D2 (70,000 plantas ha⁻¹). En esta densidad se presentó un índice negativo para nitrógeno, indicando que este elemento fue el de mayor requerimiento cuando se sembró a una alta densidad, sin embargo a una densidad más baja no se presentó un índice negativo para nitrógeno. Esta interacción entre nitrógeno y densidad esta ampliamente documentada en la literatura. En general, a mayor densidad se recomiendan mayores niveles de nitrógeno.

5.7. Análisis Estadísticos Utilizados en el Rendimiento por Parcela Útil.

El rendimiento por parcela útil se analizó considerando siete diferentes modelos, tal como se mencionó en el capítulo de materiales y métodos. El análisis de residuales mostró un agrupamiento; en la parte norte-este del experimento los errores fueron negativos, mientras que en el sur-oeste del experimento los errores fueron positivos. Este agrupamiento de los errores invalida la suposición de independencia del análisis de varianza, por lo que fue necesario incluir en el modelo el factor causante de esta variabilidad.

Los análisis de vecindad cercana mostraron que el más eficiente fue el que consideró el promedio de las parcelas vecinas en la dirección norte-sur. Con este análisis se redujo el coeficiente de variación y se incrementó considerablemente el valor de F para tratamientos. La correlación de los errores en las parcelas con orientación norte-sur se debe probablemente a que los surcos estaban trazados en la

dirección norte-sur, por lo que la cantidad de agua que circulaba en un surco era semejante entre las parcelas vecinas a lo largo de los surcos. Este resultado también fue encontrado en un estudio sobre variabilidad espacial efectuado en el mismo lote y el mismo ciclo en que se realizó el presente experimento (Valdez y Olivares, 1995).

El análisis de covarianza para rendimiento por parcela útil, utilizando como covariable la humedad del suelo, resultó con el coeficiente de variación más bajo, comparado con los coeficientes de variación de los análisis de vecindad cercana. Este resultado es explicable debido a que, en la literatura sobre estudios de distribución espacial y experimentación agronómica de campo, es ampliamente conocido que la humedad del suelo es uno de los factores que más efecto tienen sobre la varianza del error experimental. En el presente experimento se tomaron muestras del suelo para medir humedad en la época de floración del cultivo. Sin embargo, se considera que es conveniente medir la humedad del suelo en cada una de las unidades experimentales en varias ocasiones a través del ciclo del cultivo.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

De los resultados obtenidos en este estudio, se concluye que la técnica de vecindad cercana puede ser útil para mejorar la precisión de experimentos de campo. También es de utilidad el ajuste usando como covariable la humedad del suelo.

5. 8. Diseño de Tratamientos.

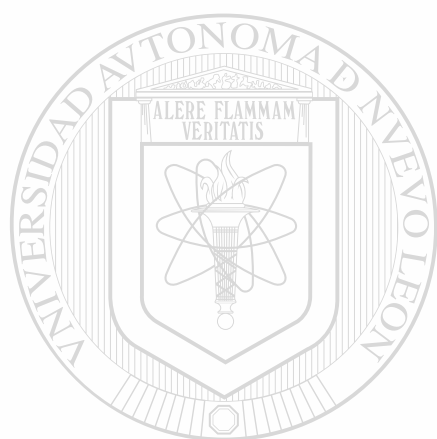
El diseño de tratamientos utilizado fue un Taguchi L8. Los diseños Taguchi son ampliamente utilizados en la industria para mejorar la calidad de los productos por medio de experimentación. Estos diseños raramente han sido utilizados en experimentos agrícolas de campo, por lo que uno de los objetivos de este experimento fue la observación del diseño Taguchi L8 bajo condiciones de experimentación agrícola de campo en maíz. .

Estos diseños son factoriales fraccionados y permiten evaluar más factores comparados con los experimentos factoriales completos. En el presente experimento se estudiaron cuatro factores con ocho tratamientos por repetición; si el experimento se hubiera establecido bajo un diseño factorial 2^4 entonces hubiera sido necesario considerar 16 tratamientos por repetición, lo que incrementaría al doble el tamaño del experimento.

En el diseño Taguchi L8 se confunden las interacciones de primer orden, como se muestra en el Cuadro 2. Esta situación es una desventaja cuando las dos interacciones involucradas en un efecto pudieran ser importantes. En el caso del presente experimento no se encontró efecto del azufre agrícola en ninguna de las variables estudiadas. Esto indica que el efecto de las interacciones donde interviene el azufre es mínimo. Considerando esta situación, es posible eliminar todas las interacciones donde interviene el azufre, por lo que es posible interpretar adecuadamente las interacciones simples de los otros factores. De aquí se concluye que con el diseño Taguchi L8 se estimaron los efectos principales de los cuatro

factores adecuadamente, así como las interacciones simples de los tres factores que presentaron efectos significativos en la mayoría de las variables estudiadas.

Los resultados mostraron que el uso del diseño Taguchi disminuyó a la mitad el tamaño del experimento, comparado con un factorial completo, reduciendo así el trabajo y el costo del experimento a la mitad. Esta conclusión muestra que la técnica experimental Taguchi tiene futuro en experimentación agrícola.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

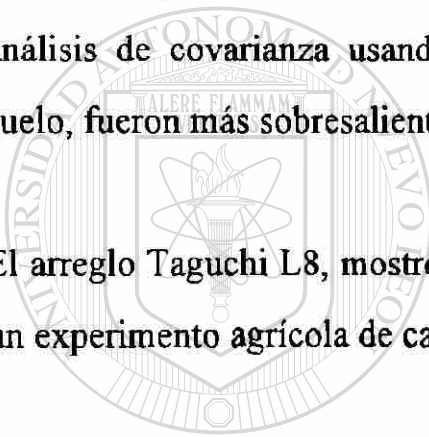


DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

6. CONCLUSIONES

1. La aplicación de 50 kg ha^{-1} de nitrógeno antes de la siembra, afectó a la mayoría de las variables estudiadas así como al rendimiento de grano, encontrando un incremento de 440 kg ha^{-1} con esta aplicación y una ganancia neta de \$186.00 por hectárea. Debido a lo anterior, se rechaza la hipótesis planteada para este factor.
2. De todas las variables estudiadas, la aplicación de 80 kg ha^{-1} de potasio solo tuvo efecto significativo para la concentración de potasio en la hoja de la mazorca, así como para rendimiento de grano. El incremento en rendimiento por la aplicación de potasio fue de 302 kg ha^{-1} ; sin embargo, dicho incremento no alcanzó a cubrir el costo del fertilizante y su aplicación. La hipótesis planteada para este factor es aceptada.
3. La hipótesis planteada en relación a la aplicación de 120 kg ha^{-1} de azufre es rechazada, ya que no se encontró respuesta sobre el rendimiento de grano. A pesar de encontrar efecto significativas para pH del suelo, las diferencias encontradas fueron mínimas, por lo que no afectaron al rendimiento ni a las variables relacionadas con el rendimiento.
4. Se encontró respuesta en rendimiento de grano con la densidad de 70,000 plantas ha^{-1} , siendo el incremento de 560 kg ha^{-1} en comparación con la densidad de 50,000 plantas ha^{-1} , obteniendo una ganancia neta por hectárea de \$287.00. La hipótesis planteada es aceptada.

5. Los índices DRIS indicaron lo siguiente: para los niveles de nitrógeno estudiados, existió un mayor desbalance nutricional para el nivel N1 (0 kg ha⁻¹); para potasio, en general se observó un desbalance nutricional más fuerte para el nivel K1 (0 kg ha⁻¹); en el caso de densidad, se encontró un mayor desbalance nutricional en el nivel D2 (70,000 plantas ha⁻¹).
6. En relación a los análisis estadísticos utilizados para analizar el rendimiento por parcela útil; la técnica de vecindad cercana con ajuste norte-sur, así como el análisis de covarianza usando como variable concomitante a la humedad de suelo, fueron más sobresalientes.
7. El arreglo Taguchi L8, mostró buena eficiencia para comparar cuatro factores en un experimento agrícola de campo.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



7. BIBLIOGRAFIA

- Aburto, J. J. 1987. Oxidation of agricultural sulphur by two species of *Thiobacillus*. Thesis of Master of Science in Agronomy. New Mexico State University. Las Cruces, New Mexico. 71 p.
- Albalate, y de A. J. F. 1992. Efecto del azufre sobre el nitrógeno fertilizante en suelos calcáreos de Marín, Nuevo León. Tesis Profesional. FAUANL. 79p.
- Aldrich, S. R. y E. R. Leng. 1974. Producción moderna del maíz. Ed. Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. 307p.
- Arizpe, M. A. 1985. Cambios fenotípicos y parámetros de estabilidad de cuatro poblaciones de maíz (*Zea mays* L.). Tesis Profesional. FAUANL. Marín, Nuevo León México. 164p.
- Barbarick, K. A. 1985. Potassium fertilization of alfalfa grown on a soil high in potassium. *Agron. J.* 77:442-445.
- Barber, S. A. and R. A. Olsen. 1968. Fertilizer use in corn. *In: Changing patterns in fertilization use.* Editado por L. B. Nelson. Soil Science Society of America, Inc. Madison Wisconsin, E. U. pp 164-188.
- Bates, T.E. 1971. Response of corn to small amounts of fertilizer placed with the seed: III Relation to P and K placement and tillage. *Agron. J.* 63: 327-375.
- Beaton, J. D., R. L. Fox and M. B. Jones 1985. Production, marketing and use of sulfur products. *In: Fertilizer technology and use.* Published by Soil Science Society of America. Inc. 3ª Edición. Madison Wisconsin, EUA. pp 411-451.
- Beverly, R.B. 1991. A practical guide to the diagnosis and recommendation integrated system. Micro-Macro Publishing. Georgia, USA. 87p.
- Blum, A. 1970. Effect of plant density and growth duration on grain sorghum panicle. *Crop Science.* 10: 28-31.
- Bohn, H. L., B. L. Mc Neal and G.A. O' Connor. 1985. Soil chemistry 2nd Ed. Wiley Interscience Publication, USA. pp 133 y 208.

- Bonciarelli, F. 1979. *Agronomía*. Editorial Academia. León, España. 296p.
- Brady, N. C. 1974. *The nature and properties of soils*. Mac Millan Publishing Co. Inc. 8ª Edición. New York, EUA. 639p.
- Brownie, C., D. T. Bowman and J. W. Burton. 1993. Estimating spatial variation in analysis of data from yield trials: A comparison of methods. *Agron. J.* 85: 1244-1253.
- Buckman, H. O. y N. C. Brady. 1977. *Naturaleza y propiedades de los suelos*. 2ª reimpresión. Ed. Montaner y Simón. Barcelona, España. 590p.
- Bullock, D.G., F.W. Simmons, I.M. Chung and G.I. Johnson. 1993. Growth analysis of corn grown with or without starter fertilizer. *Crop Science* 33: 112-117.
- Castorena, G. J. S. 1994. Efecto de las diferentes fuentes nitrogenadas y dosis de azufre sobre el rendimiento y calidad del forraje de zacate Taiwan (*Pennisetum purpureum* Schumach). Tesis de Licenciatura. FAUANL. Marín, Nuevo León, México. 78p.
- Castro, T. M. A. 1991. Evaluación de nitrógeno, fósforo y potasio en maíz (*Zea mays* L.) en el distrito de riego No. 26 del Bajo Río San Juan en el municipio de Gustavo Díaz Ordáz, Tam. Tesis de Licenciatura FAUANL. Marín N. L. 49p.
- Covarrubias, G. L. S. 1977. Mezclas de abonos orgánicos con superfosfato simple y sus efectos sobre el rendimiento de *Festuca arundinacea* var. alta, (Schreb) en suelos calcáreos con problemas de abastecimiento de fósforo. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 172p.
- Díaz, H.R. 1991. Efecto del azufre sobre la nitrificación de los fertilizantes nitrogenados en suelos de Marín, NL. Tesis Profesional. FAUANL. 87p.
- Diez, J. A. 1979. K dynamics in some spanish calcareous soils. *In: Soils in mediterranean type climates and their yield potential*. Proceedings of the 14th colloquium of the International Potash Institute. pp 173-179.
- Donald, C. M. 1963. Competition among crop and pasture plant. *Advances in Agronomy*. 5: 1-118.

Elwali, A. M., G. J. Gascho, and M. E. Sumner. 1985. DRIS norms for 11 nutrients in corn leaves. *Agron. J.* 77:506-508

Escano, C. R., C. A. Jones, and G. Uehara. 1981. Nutrient diagnosis in corn grown on Hydric Dystradepts: II. Comparison of two systems of tissue diagnosis. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45:1140-1144.

Faízy, S.E.-D. A. 1979. N-K interaction and the net influx of ions across corn roots as affected by different NPK fertilizers. En *Soils in mediterranean type climates and their potential. Proceedings of the 14th colloquium of the International Potash Institute.* pp 409-416.

Fasbender, H. W. 1980. Química de suelos, con énfasis en suelos de América Latina. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. San José, Costa Rica. 398p.

Fitzpatrick, E. A. 1984. Suelos. Su formación, clasificación y distribución. Ed. CECSA. México. 149p.

García E. 1968. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, UNAM. México.

García, O. J. G. 1994. Efecto de Profit-G, gallinaza y estiércol bovino sobre la actividad fotosintética y el rendimiento de maíz (*Zea mays* L.) en el distrito de riego No. 26 del Bajo Río San Juan, Tesis de Maestría. FAUANL. Marín, N. L.®
83p. DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Gardner, F. P., R. B. Pearce and R. L. Mitchel. 1985. *Physiology of crop plants.* First Edition. Iowa State University Press: AMES, Iowa USA. pp 48-57.

Heckman, J. R. and E. J. Kamprath. 1992. Potassium accumulation and corn yield related to potassium fertilizer rate and placement. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:141-148.

Jones, J. B. and H. V. Eck. 1973. Plant analysis as an aid in fertilizing corn and sorghum. *In: Soil testing and plant analysis.* Editado por L. M. Walsh y J. D. Beaton. Soil Science Society of America. Madison Wisconsin, E. U. pp 349-364.

- Kanopka, A. E., R. H. Miller and L. E. Sommers. 1986. Microbiology of the sulfur cycle. In: Sulfur in agriculture. Number 27 in the series Agronomy. Published by American Society of Agronomy, Inc ; Crop Science Society of America, Inc. and Soil Science Society of America, Inc. Madison Wisconsin, EUA. pp 24 y 30.
- Karlen, D.L. and C.R. Camp. 1985. Row spacing, plant population, and water management effects on corn in the Atlantic Coastal Plain. *Agron. J.* 77: 393-398.
- Kissel, D. E., D. H. Sander and R. Ellis Jr. 1985. Fertilizer-plant interaction in alkaline soil. In: Fertilizer technology and use. Published by Soil Science Society of America. Inc. 3ª Edición. Madison Wisconsin, EUA. pp 153-195.
- Larson W. E. and J. J. Hanway. 1977. Corn production. In: Corn and corn improvement. Editado por G. F. Sprague. Agronomy 18. American Society of Agronomy. pp 625-669.
- Lindsay, W. L. 1979. Chemical equilibrio in soils. Interscience John Wiley y Sons. Inc. New York, EUA. pp 79-103.
- Mackey, A. D. and S. A. Barber. 1985. Soil moisture effect on potassium uptake by corn. *Agron. J.* 77:524-527.
-
- Mengel, K. and E. A. Kirkby. 1982. Principles of plant nutrition. 3rd Edition. International Potash Institute Bern, Switzerland. ®
- Mora, C. M. A. 1982. Niveles de fertilización nitrogenada y tiempos de aplicación, en el cultivo de maíz de riego para grano en el municipio de Marín N. L. Tesis de Licenciatura. FAUANL. México. 56p.
- Morales P.A.O., F. Leal de la L., H. Villarreal M., J.A. González de L. y J. Valero G. 1980. Marco de referencia del área de influencia del CAERIB. SARH, INIA. 43p.
- PIFSV. 1985. Manual de fertilización regional. SARH Delegacion Tamaulipas Norte. Patronato para la Investigación Fomento y Sanidad Vegetal. Reynosa, Tam. México. 119p.

Quintanilla, R. P. 1978. Potassium requirements of cereals. *In: Potassium research review and trends. Proceedings of the 11th congress of the International Potash Institute. Printed by {Der Bund} AG, Bern/Switzerland 1979. pp 239-257.*

Reyes, M. C. A., C. J. R. Giron y R. E. Rosales. 1990. Guía para producir maíz en el norte de Tamaulipas. Folleto para productores Num. 7. SARH-INIFAP-CIFAP Tamaulipas. Río Bravo, Tamaulipas, Mexico. 31p.

Reyes, M. C. A. y R. García V. 1994. Fechas de siembra, densidades de población y variedades de maíz en el norte de Tamaulipas. *In: 11avo Congreso Latinoamericano de Genética (área vegetal) y XV Congreso de Fitogenética. p 435.*

Rodríguez, C. J. M. 1981. Fertilización nitrógeno fosfórica en el cultivo de maíz grano (*Zea mays* L.) bajo condiciones de riego en el municipio de Gral. Bravo N. L. Tesis Profesional. FAUANL. México. 46p.

Rodríguez, M.J.J. 1993. La fertilización nitrógeno-azufre sobre el pasto raigras (*Lolium multiflorum* Lam.) en suelos calcáreos de Marín, NL. Tesis Profesional. FAUANL. 69p.

Robles, S. R. 1983. Producción de granos y forrajes. 4ª Edición. Ed. LIMUSA. México. pp 11 y 51.

Rosales, R. E. 1994. Biología, daños y control químico de la cañita en maíz. Folleto técnico núm. 16. INIFAP-CIRNE-CERIB. Río Bravo, Tam. p 12

Sánchez, A. E. J. 1988. Interacción del fósforo fertilizante en suelos alcalinos. Curso de uso y tecnología de fertilizantes EDA-633. Colegio de Postgraduados, Montecillos, México. Apuntes de clase. Material no publicado

Sánchez, A. E. J. 1989. Dinámica de urea y sulfato de amonio en suelos calcáreos del estado de Nuevo León. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillos, México. 155p.

Schroeder, D. 1978. Structure and weathering of potassium containing minerals. *In: Potassium Research-Review and Trends. Proceedings of the 11th Congress of the International Potash Institute 1978. Printed by {Der Bund} AG, Bern/Switzerland 1979. pp 43-63.*

- Shina, S. K., and R. Khanna. 1975. Physiological, biochemical and genetic basis of heterosis. *Advances in Agronomy*. 27: 123-171.
- Soil Science Society of America. 1979. Glossary of soil science terms. Published by Soil Science Society of America. 36p.
- Sosa, R. F. 1973. The influence of total energy, photosynthetic active radiation and temperature on dry matter accumulation characteristics in grain sorghum. Ph. D. Thesis. Nebraska Univ., Lincoln Nebraska, EUA.
- Sprague, G. F. (Editor) 1985. Corn and corn improvement. Number 18 in the series Agronomy. American Society of Agronomy, Inc. Publisher. Madison, Wisconsin USA. pp 645-648.
- Steineck, O. and H. E. Haeder. 1978. The effect of potassium on growth and yield components of plants. En Potassium research review and trends. Proceedings of the 11th congress of the International Potash Institute. Printed by {Der Bund} AG, Bern/Switzerland 1979. pp 165-187.
- Stuart, P. G. 1993. Taguchi methods. A hands-on approach. Addison-Wesley Publishing Company. EUA. 522p.
- Sumner, M. E. 1979. Interpretation of foliar analyses for diagnostic purposes. *Agron. J.* 71:343-348.
- Sumner, M. E., R. B. Reneau, E. E. Schulte, and J. O. Arogun. 1983. Foliar diagnostic forms for sorghum. *Commun. in Soil Sci. Plant Anal.* 14:817-825.
- Tanaka, A. y J. Yamaguchi. 1981. Producción de materia seca, componentes de rendimiento y rendimiento de grano en maíz. Segunda reimpresión. Centro de Botánica. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 124p.
- Teare I.D., and D.L. Wright. 1990. Corn hybrid-starter fertilizer interaction for yield and lodging. *Crop Science* 30: 1298-1303.
- Teuscher, H., y R. Adler. 1965. El suelo y su fertilidad. Ed. CECSA. México. p 406.
- Thompson, L. M. y F. R. Troeh. 1982. Los suelos y su fertilidad. 4ª Edición. Ed. REVERTE. España. pp 299-329.

- Thorne, W. D. y H. B. Peterson. 1981. Técnica del riego, fertilidad y explotación de los suelos. Decima impresión. Ed. Continental. México. 469p.
- Tisdale, L. S. y W. L. Nelson. 1982. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Ed. UTHEA. México. 760p.
- Tisdale, S. L., W. L. Nelson and J. D. Beaton. 1985. Soil fertility and fertilizers. Macmillan Publishing Co. New York. pp. 249-286.
- Tollenar, M., A. A. Dibo, A. Aguilera, S. F. Weise, and C. V. Swanton. 1994. Effect of crop density on weed interference in maize. Agron. J. 86:591-595.
- Torres, H. J. 1992. Dinámica del rendimiento del grano de sorgo en relación al tipo de planta, densidades de población y dos condiciones de humedad en Marín, Nuevo León. Tesis de Maestría. FAUANL. México. 145p.
- Valdez, C. R. D. y E. Olivares. 1995. CIA-FAUANL. Avances de investigación. Centro de Investigaciones Agropecuarias. UANL. En prensa. Marín N. L.
- Vazquez, Z. J. 1989. Estudio sobre la distribución y contenido de carbonatos del suelo, en el ejido "Palma Regada" Mpio. de Salinas de Hgo., S.L.P. Tesis de Maestría. FAUANL. Marín N. L. 110p.
-
- Watson, D. J. 1952. The physiological basis of variation yield. Advances in Agronomy. 4: 101-145. ®
- Young, R. D., D. G. Westfall and G. W. Colliver. 1985. Production, Marketing and use of phosphorus fertilizer. In: Fertilizer technology and use. Published by Soil Science Society of America. Inc. 3ª Edición. Madison, Wisconsin EUA.. pp 324-374.

8. APENDICE

Cuadro A1. Cuadrados medios para las variables área foliar, diámetro de tallo y altura de planta en la etapa vegetativa en el estudio "Respuesta en maíz a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de plantas en Díaz Ordáz, Tam". Ciclo O-I 1993-94.

F. V.	G. L.	Area foliar	Diámetro de tallo	Altura de planta
REP	3	8205.014	0.014	65.910
TRAT	7	4765.163	0.197	263.307
N	1	1289.787 NS	0.116 NS	1150.521 **
K	1	1500.053 NS	0.023 NS	67.688 NS
D	1	27403.690 **	1.040 **	168.750 NS
S	1	827.435 NS	0.000 NS	0.750 NS
NK	1	316.391 NS	0.028 NS	1.688 NS
ND	1	471.884 NS	0.176 NS	90.750 NS
KD	1	1546.899 NS	0.002 NS	363.000 *
ERROR	21	2408.612	0.048	76.711
E. muestreo	64	1285.817	0.018	37.242
TOTAL	95	2008.888		

** Diferencia altamente significativa * Diferencia significativa NS Diferencia no significativa

Cuadro A2. Cuadrados medios para las variables área foliar, altura de mazorca y altura total en la etapa de floración en el estudio "Respuesta en maíz a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de plantas en Díaz Ordáz, Tam". Ciclo O-I 1993-94.

F. V.	G. L.	Area foliar	Altura de mazorca	Altura total
REP	3	3544.265	31.256	95.100
TRAT	7	3931.949	138.935	212.042
N	1	3128.395 NS	735.306 **	532.900 *
K	1	436.992 NS	74.256 NS	207.025 NS
D	1	21828.602 **	47.306 NS	38.025 NS
S	1	1347.901 NS	43.056 NS	14.400 NS
NK	1	17.289 NS	33.306 NS	112.225 NS
ND	1	587.664 NS	17.556 NS	75.625 NS
KD	1	176.801 NS	21.756 NS	504.100 NS
ERROR	21	2302.551	55.656	132.228
E. muestreo	64	1118.437	29.503	52.444
TOTAL	95			

** Diferencia altamente significativa NS Diferencia no significativa

Cuadro A3. Cuadrados medios para las variables pH de suelo, conductividad eléctrica del suelo y peso seco de maleza en la etapa de floración en el estudio "Respuesta en maíz a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de plantas en Díaz Ordáz, Tam". Ciclo O-I 1993-94.

F. V.	G. L.	pH del suelo	CE del suelo	Peso seco de maleza
REP	3	0.005	0.220	8.793
TRAT	7	0.031	0.648	1034.958
N	1	0.022 NS	0.144 NS	2966.425 **
K	1	0.037 NS	0.091 NS	66.413 NS
D	1	0.007 NS	0.848 NS	4061.258 **
S	1	0.089 *	2.066 *	118.965 NS
NK	1	0.044 NS	1.221 NS	6.938 NS
ND	1	0.009 NS	0.022 NS	1.758 NS
KD	1	0.009 NS	0.144 NS	22.950 NS
ERROR	21	0.014	0.389	149.185
TOTAL	31	0.017	0.431	335.612

** Diferencia altamente significativa * Diferencia significativa NS Diferencia no significativa

Cuadro A4. Cuadrados medios para las variables % de nitrógeno foliar, % de fósforo foliar y % de potasio foliar determinados en la etapa de floración en el estudio "Respuesta en maíz a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de plantas en Díaz Ordáz, Tam". Ciclo O-I 1993-94.

F. V.	G. L.	% de N foliar	% de P foliar	% de K foliar
REP	3	0.002	0.021	0.045
TRAT	7	0.012	0.005	0.029
N	1	0.003 NS	0.018 NS	0.004 NS
K	1	0.020 NS	0.000 NS	0.079 *
D	1	0.028 NS	0.002 NS	0.031 NS
S	1	0.015 NS	0.001 NS	0.022 NS
NK	1	0.006 NS	0.001 NS	0.001 NS
ND	1	0.006 NS	0.015 NS	0.049 *
KD	1	0.006 NS	0.000 NS	0.019 NS
ERROR	21	0.014	0.006	0.011
TOTAL	31	0.012	0.007	0.018

* Diferencia significativa NS Diferencia no significativa

Cuadro A5. Cuadrados medios para las variables altura total, altura de mazorca, peso seco total de planta y peso de mazorca en la época de cosecha en el estudio "Respuesta en maíz a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de plantas en Díaz Ordáz, Tam". Ciclo O-I 1993-94.

F. V.	G. L.	Altura total	Altura de mazorca	Peso seco total de planta	Peso de mazorca
REP	3	676.630	63.191	642.966	319.247
TRAT	7	138.464	222.744	12298.063	5149.104
N	1	253.510 NS	1046.665 **	16261.608 **	5720.329 *
K	1	25.912 NS	280.294 NS	7.947 NS	13.439 NS
D	1	213.510 NS	9.336 NS	69235.232 **	30043.223 **
S	1	4.993 NS	19.981 NS	71.312 NS	95.976 NS
NK	1	88.890 NS	0.009 NS	689.790 NS	183.699 NS
ND	1	15.843 NS	5.913 NS	138.493 NS	143.012 NS
KD	1	363.193 NS	186.547 NS	421.176 NS	93.897 NS
ERROR	21	161.000	94.022	2081.226	758.169
E. muestreo	254	63.628	48.331	1104.129	388.502
TOTAL	285	79.084	56.106	1447.144	532.172

** Diferencia altamente significativa * Diferencia significativa NS Diferencia no significativa

Cuadro A6. Cuadrados medios para las variables longitud de mazorca, perímetro de mazorca, longitud sin llenado de grano e hileras por mazorca determinados en la época de cosecha en el estudio "Respuesta en maíz a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de plantas en Díaz Ordáz, Tam". Ciclo O-I 1993-94.

F. V.	G. L.	Longitud de mazorca	Perímetro de mazorca	Longitud sin llenado de grano	Hileras por mazorca
REP	3	1.023	0.415	1.371	0.037
TRAT	7	13.564	1.931	0.880	0.080
N	1	8.632 *	3.221 **	0.462 NS	0.011 NS
K	1	0.650 NS	0.014 NS	0.144 NS	0.003 NS
D	1	84.812 **	8.886 **	0.864 NS	0.198*
S	1	1.002 NS	0.053 NS	3.229 *	0.128 NS
NK	1	0.540 NS	0.443 NS	0.016 NS	0.055 NS
ND	1	0.004 NS	0.352 NS	1.409 NS	0.000 NS
KD	1	0.012 NS	0.559 NS	0.036 NS	0.158 NS
ERROR	21	1.872	0.307	0.717	0.040
E. muestreo	254	1.372	0.258	0.659	0.036
TOTAL	285	1.706	0.304	0.677	0.038

**Diferencia altamente significativa * Diferencia significativa NS Diferencia no significativa

Cuadro A7. Cuadrados medios para las variables granos por hilera, peso de olote, peso de 100 granos y peso de grano determinados en la época de cosecha en el estudio "Respuesta en maíz a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de plantas en Díaz Ordáz, Tam". Ciclo O-I 1993-94.

F. V.	G. L.	Granos por hilera	Peso de olote	Peso de 100 granos	Peso de grano
REP	3	10.674	25.440	5.055	167.091
TRAT	7	109.147	139.560	14.825	3654.869
N	1	21.373 NS	178.450 **	62.718 **	3878.092 *
K	1	0.980 NS	5.723 NS	0.798 NS	1.622 NS
D	1	725.569 **	740.724 **	13.456 NS	21349.172 **
S	1	2.626 NS	34.958 NS	17.621 NS	246.781 NS
NK	1	0.048 NS	23.764 NS	5.564 NS	75.321 NS
ND	1	4.824 NS	0.403 NS	2.863 NS	128.224 NS
KD	1	12.293 NS	1.355 NS	1.756 NS	72.694 NS
ERROR	21	25.981	14.938	5.166	594.163
E. muestreo	254	14.687	12.235	4.242	290.228
TOTAL	285	17.804	15.712	4.581	394.110

** Diferencia altamente significativa

* Diferencia significativa

NS Diferencia no significativa

Cuadro A8. Cuadrados medios para las variables índice de cosecha y rendimiento por hectárea con la covariable humedad de suelo en el estudio "Respuesta en maíz a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de plantas en Díaz Ordáz, Tam". Ciclo O-I 1993-94.

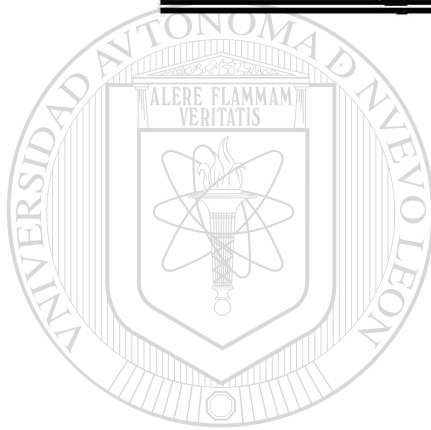
F. V.	G. L.	Índice de cosecha	Rend. ha ⁻¹
REP	3	0.003319	342310.906
TRAT	7	0.000440	810365.327
Covariable hum.			586442.492
N	1	0.001605 *	1480154.227 **
K	1	0.000009	579213.186 **
D	1	0.019599 **	3318174.304 **
S	1	0.001490	33812.791 NS
NK	1	0.000001	38405.726NS
ND	1	0.000575	107452.530NS
KD	1	0.000006	19521.850NS
ERROR	21	0.000443	82017.772
E. muestreo	254		
TOTAL	285	0.000513	

** Diferencia altamente significativa. * Diferencia significativa.

NS Diferencia no significativa.

Cuadro A9. Medias por tratamiento de las variables área foliar, diámetro de tallo y altura de planta en la etapa vegetativa en el estudio "Respuesta en maíz a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de plantas en Díaz Ordáz, Tam". Ciclo O-I 1993-94.

Tratamiento	Area foliar (cm ²)	Diámetro (cm)	Altura (cm)
1.- N1 K1 S1 D1	586.76	2.15	97.25
2.- N1 K1 S2 D2	562.43	2.07	97.88
3.- N1 K2 S1 D2	552.81	2.11	101.88
4.- N1 K2 S2 D1	604.93	2.21	96.00
5.- N2 K1 S1 D2	564.70	2.08	101.46
6.- N2 K1 S2 D1	591.90	2.30	103.83
7.- N2 K2 S1 D1	605.59	2.31	101.96
8.- N2 K2 S2 D2	574.08	2.07	105.33



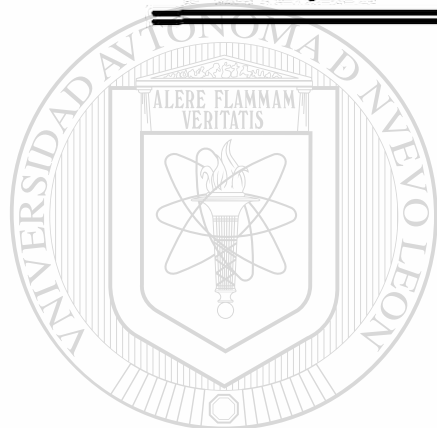
UANL

Cuadro A10. Medias por tratamiento de las variables área foliar, altura de mazorca y altura de planta en la etapa de floración en el estudio "Respuesta en maíz a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de plantas en Díaz Ordáz, Tam". Ciclo O-I 1993-94.

Tratamiento	Area foliar (cm ²)	Altura de mazorca (cm)	Altura de planta (cm)
1.- N1 K1 S1 D1	584.25	65.15	162.05
2.- N1 K1 S2 D2	548.83	63.80	160.25
3.- N1 K2 S1 D2	564.16	67.85	168.35
4.- N1 K2 S2 D1	579.16	65.65	161.85
5.- N2 K1 S1 D2	563.64	70.70	164.80
6.- N2 K1 S2 D1	593.97	68.65	168.15
7.- N2 K2 S1 D1	602.17	69.40	165.80
8.- N2 K2 S2 D2	562.28	70.85	168.35

Cuadro A11. Medias por tratamiento de las variables pH de suelo, conductividad eléctrica del suelo y peso seco de maleza en la etapa de floración en el estudio "Respuesta en maíz a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de plantas en Díaz Ordáz, Tam". Ciclo O-I 1993-94.

Tratamiento	pH del suelo	CE del suelo	Peso seco de maleza (g)
1.- N1 K1 S1 D1	8.14	1.20	80.38
2.- N1 K1 S2 D2	8.07	1.85	60.47
3.- N1 K2 S1 D2	8.15	1.19	54.50
4.- N1 K2 S2 D1	8.07	1.29	78.72
5.- N2 K1 S1 D2	8.17	1.14	74.47
6.- N2 K1 S2 D1	8.09	1.40	103.03
7.- N2 K2 S1 D1	8.09	1.26	95.53
8.- N2 K2 S2 D2	7.89	2.28	78.07



UANL

Cuadro A12. Medias por tratamiento de las variables % de nitrógeno foliar, % de fósforo foliar y % de potasio foliar determinados en la etapa de floración en el estudio "Respuesta en maíz a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de plantas en Díaz Ordáz, Tam". Ciclo O-I 1993-94.

Tratamiento	N foliar %	P foliar %	K foliar %
1.- N1 K1 S1 D1	2.32	0.26	1.39
2.- N1 K1 S2 D2	2.22	0.33	1.64
3.- N1 K2 S1 D2	2.26	0.31	1.64
4.- N1 K2 S2 D1	2.33	0.26	1.61
5.- N2 K1 S1 D2	2.29	0.22	1.49
6.- N2 K1 S2 D1	2.25	0.26	1.51
7.- N2 K2 S1 D1	2.40	0.25	1.60
8.- N2 K2 S2 D2	2.29	0.24	1.59

Cuadro A13. Medias por tratamiento de las variables altura de planta, altura de mazorca, peso seco total de planta y peso de mazorca evaluados en la época de cosecha en el estudio "Respuesta en maíz a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de plantas en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94.

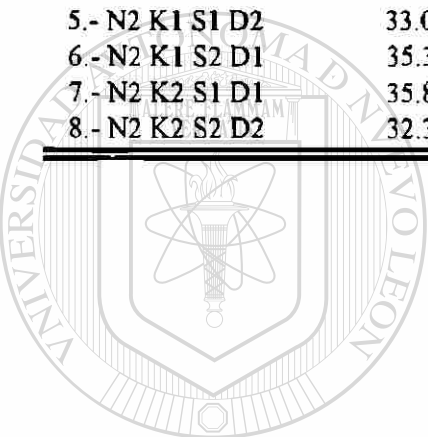
Tratamiento	Altura de planta (cm)	Altura de mazorca (cm)	Peso seco total de planta (g)	Peso de mazorca (g)
1.- N1 K1 S1 D1	158.56	64.28	324.41	154.81
2.- N1 K1 S2 D2	158.74	63.26	288.43	130.56
3.- N1 K2 S1 D2	162.44	66.33	295.31	134.92
4.- N1 K2 S2 D1	158.28	65.18	324.44	154.56
5.- N2 K1 S1 D2	161.03	66.86	309.05	143.71
6.- N2 K1 S2 D1	162.31	68.37	340.24	162.79
7.- N2 K2 S1 D1	159.28	68.19	336.06	161.65
8.- N2 K2 S2 D2	163.03	70.97	307.73	142.54

Cuadro A14. Medias por tratamiento de las variables longitud de mazorca, perímetro de mazorca, longitud sin llenado de grano y número de hileras por mazorca determinadas en la época de cosecha en el estudio "Respuesta en maíz a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de plantas en Díaz Ordáz, Tam.". Ciclo O-I 1993-94.

Tratamiento	Longitud de mazorca (cm)	Perímetro de mazorca (cm)	Longitud sin llenado de grano	Número de hileras por mazorca
1.- N1 K1 S1 D1	14.93	15.01	1.51	13.91
2.- N1 K1 S2 D2	13.97	14.47	1.72	12.89
3.- N1 K2 S1 D2	13.83	14.68	1.54	13.69
4.- N1 K2 S2 D1	15.06	14.99	1.81	13.40
5.- N2 K1 S1 D2	14.29	14.86	1.74	13.47
6.- N2 K1 S2 D1	15.48	15.20	1.68	13.91
7.- N2 K2 S1 D1	15.19	15.08	1.52	13.62
8.- N2 K2 S2 D2	14.21	14.86	1.96	13.24

Cuadro A15. Medias por tratamiento de las variables granos por hilera, peso de olote, peso de 100 granos y peso de grano en la época de cosecha en el estudio "Respuesta en maíz a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de plantas en Díaz Ordáz, Tam". Ciclo O-I 1993-94.

Tratamientos	Granos por hilera	Peso de olote (g)	Peso de 100 granos (g)	Peso de grano (g)
1.- N1 K1 S1 D1	35.28	22.77	29.01	132.04
2.- N1 K1 S2 D2	32.06	20.04	29.03	110.52
3.- N1 K2 S1 D2	31.69	20.33	28.20	114.59
4.- N1 K2 S2 D1	35.36	24.19	29.48	130.37
5.- N2 K1 S1 D2	33.03	21.57	29.39	122.14
6.- N2 K1 S2 D1	35.34	25.56	29.96	137.23
7.- N2 K2 S1 D1	35.86	24.42	30.00	137.23
8.- N2 K2 S2 D2	32.33	22.11	30.11	120.44



UANL

Cuadro A16. Medias por tratamiento de las variables índice de cosecha, y rendimiento en kg ha⁻¹ en el estudio "Respuesta en maíz a nitrógeno inicial, potasio y azufre en dos densidades de plantas en Díaz Ordáz, Tam". Ciclo O-I 1993-94.

TRATAMIENTO	Índice de cosecha	Rendimiento kg ha ⁻¹
1.- N1 K1 S1 D1	0.4058	7157.28
2.- N1 K1 S2 D2	0.3815	7942.37
3.- N1 K2 S1 D2	0.3867	8145.12
4.- N1 K2 S2 D1	0.4012	7376.38
5.- N2 K1 S1 D2	0.3936	8266.16
6.- N2 K1 S2 D1	0.4030	7531.41
7.- N2 K2 S1 D1	0.4078	8115.60
8.- N2 K2 S2 D2	0.3898	8467.85

