

69

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



RESPUESTA DEL MAIZ (*Zea mays* L.) A LA
FERTILIZACION CON NITROGENO, FOSFORO,
POTASIO Y ZINC EN SUELOS DEL NORTE
DE TAMAULIPAS

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

PRESENTA
LUIS CARLOS ALVARADO GOMEZ

MARIN, NUEVO LEON

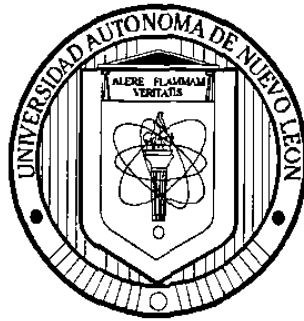
AGOSTO DEL 2002

TM
SB191
.M2
A5
2002
c.1



1080124385

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE AGRONOMÍA
SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



**RESPUESTA DEL MAÍZ (*Zea mays* L.) A LA FERTILIZACIÓN
CON NITRÓGENO, FÓSFORO, POTASIO Y ZINC EN SUELOS
DEL NORTE DE TAMAULIPAS**

TESIS

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

PRESENTA

LUIS CARLOS ALVARADO GÓMEZ

MARÍN, NUEVO LEÓN

AGOSTO DEL 2002

TM

SB191

• M2

AS

2002

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE AGRONOMÍA
SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

**"Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a la fertilización con nitrógeno,
fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas"**

TESIS

ELABORADA POR:

LUIS CARLOS ALVARADO GÓMEZ

**ACEPTADA Y APROBADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL GRADO DE:**

MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

COMITÉ SUPERVISOR DE TESIS

Ph.D. Emilio Olivares Sáenz

Director de Tesis

Ph. D. Francisco Zavala García

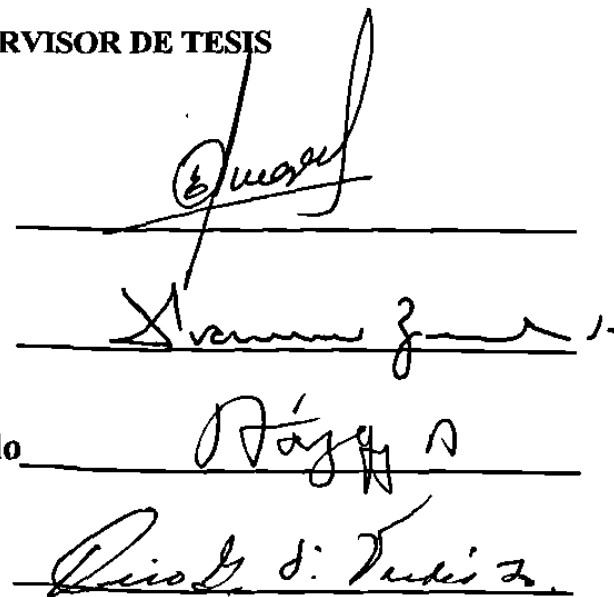
Asesor

Ph. D. Rigoberto Vázquez Alvarado

Asesor

Ph. D. Ciro G.S. Valdés Lozano

Subdirector de Estudios de Posgrado



Handwritten signatures of the thesis committee members over horizontal lines.

DEDICATORIA

A Dios luz infinita, verdad y amor por encima de toda forma y más allá de toda Ciencia.

Recordar es tratar de retener la felicidad que se ha ido, sin embargo el recuerdo de esta felicidad encierra en si mismo, una indestructible tristeza. A mis padres Sra. Socorro Gómez de Alvarado † e Ing. Pablo Alvarado Torres †, con profundo amor, respeto y gratitud por todos sus sacrificios.

A mis tías Sra. Imelda Treviño y Sra. Concepción de la Cruz, con mucho cariño.

A mis hermanos Sergio Pablo, Alejandra Mireya, Francisco Javier, Georgina Rocio, Omar Guadalupe, y Odeth Lorena, por el apoyo que me han brindado en todo momento.

A mi esposa Micaela Rodríguez de Alvarado... supongo que debo ser alguien a quien Dios quiere mucho, ya que me ha premiado con la mejor esposa que pude haber tenido.

A mis hijas, Odeth Lorena y Ana Patricia espero que sepan valorar el gran esfuerzo que representó este logro en mi vida, y que nunca olviden que todo lo que hago, lo hago por ustedes.

A quienes me han demostrado el valor de su amistad Ing. Ignacio Pavón Ortiz †, MVZ. Arcadio Valdivieso Marín, M. A. Irma Linares de Valdivieso, M. C. Eduardo Graillet Juárez, M. E. Marina Martínez Martínez, MVZ. José Antonio Fernández Figueroa, MVZ. José Francisco González Aynés, Lic. Angélica Escobedo Rodríguez, Ing. Cuahuthémoc Landa Torralba, Ing. Ana Rosa Rivera Chavez, Lic. Pablo Tadeo Cruz y Sra. Elizabeth Pale Díaz de León.

Lic. Pedro Ernesto del Castillo Cueva, M. C. José Luis Zúñiga, Ing. Jesús Solís Rojas, Ing. Nazario Salinas, Dr. Juan Carlos Rodríguez Cabriales, M. C. José Miguel Hernández Cruz y M. C. Rubén Luján.

A mis profesores...Quisiera rendirle un homenaje a ese grupo de hombres y mujeres que sin egoísmo compartieron conmigo sus conocimientos y creo que la mejor manera de honrarles es siguiendo su ejemplo.

A mis alumnos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Xicotépetl de Puebla y a mis alumnos de la Facultad de Ingeniería en Sistemas de Producción Agropecuaria de la Universidad Veracruzana, por su dedicación al estudio y su amistad.

AGRADECIMIENTOS

Al Ph. D. Emilio Olivares Sáenz por todo el apoyo en la dirección de este trabajo de tesis y los conocimientos que de él aprendí.

Al Ph. D. Francisco Zavala García por su ayuda en la asesoría y revisión de esta tesis.

Al Ph. D. Rigoberto Vázquez Alvarado por su ayuda en la asesoría y revisión de esta tesis, y por sus consejos en lo técnico y en lo personal.

Al Ph. D. Ciro G. S. Valdéz Lozano Subdirector de Estudios de Postgrado por todo su apoyo durante mis estudios de esta Maestría en Ciencias.

Al Doctor en Ciencias Carlos Alberto Tinoco Alfaro Investigador del Programa maíz del INIFAP en el sur de Veracruz por su amistad y ayuda en la revisión de esta tesis.

A los directivos, profesores y personal administrativo de la Subdirección de Estudios de Postgrado de la FAUANL ya que por el apoyo y la atención que me brindaron hicieron verdaderamente agradable mi estancia en esta Facultad.

Al Vicerrector, de la Universidad Veracruzana, Maestro en Ciencias Enrique Ramírez Nazariega por todo su apoyo.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología CONACYT por el apoyo económico durante mis estudios de Postgrado.

Al Programa de Mejoramiento al Profesorado PROMEP de la Secretaría de Educación Pública, por el apoyo económico para la redacción de la tesis.

De la Universidad Veracruzana al representante Institucional del PROMEP, M. C. Octavio Ochoa Contreras y a sus colaboradores, Ing. Salvador Tapia Spinoso, C.P. Eva Salazar Guevara, y la Srita. Olga Sobrino. Asimismo al Dr. Mario Miguel Ojeda Ramírez y a la Comisión de Evaluación y Seguimiento del PROMEP, por todo el apoyo y facilidades que me brindaron durante mi beca para redacción de tesis.

INDICE

Capítulo	Página
INDICE DE CUADROS Y FIGURAS.....	xi
INDICE DE CUADROS DEL APENDICE.....	xv
RESUMEN.....	xvii
SUMMARY.....	xix
I. INTRODUCCION.....	3
II. REVISION DE LITERATURA.....	3
2.1. Los suelos en el norte de Tamaulipas.....	3
2.1.1. Características de los suelos del norte de Tamaulipas.....	3
2.1.2. Características de los suelos alcalinos.....	3
2.1.3. Fertilización en el norte de Tamaulipas.....	4
2.2. Nitrógeno.....	5
2.2.1. Funciones del nitrógeno en las plantas.....	5
2.2.2. Formas de nitrógeno en el suelo.....	5
2.2.3. Formas utilizables de nitrógeno.....	6
2.2.4. Movimientos de nitrógeno en el suelo.....	6
2.2.5. Formas de aplicación del nitrógeno.....	7
2.2.6. Pérdidas de nitrógeno.....	7
2.2.7. Deficiencia de nitrógeno.....	8
2.3. Fósforo.....	8
2.3.1. Funciones del fósforo en las plantas.....	8
2.3.2. Formas del fósforo en los suelos.....	9
2.3.3. Formas utilizables del fósforo.....	9
2.3.4. Movimientos del fósforo en el suelo.....	9
2.3.5. Epoca de aplicación del fósforo.....	9
2.3.6. Forma de aplicación del fósforo.....	10

2.3.7. Factores que afectan la disponibilidad del fósforo.....	10
2.4. Potasio.....	11
2.4.1. Funciones del potasio en las plantas.....	11
2.4.2. Formas del potasio en el suelo.....	11
2.4.3. Formas utilizables del potasio.....	12
2.4.4. Movimientos de potasio en el suelo.....	12
2.4.5. Epoca y forma de aplicación del potasio.....	13
2.4.6. Disponibilidad de potasio en los suelos.....	13
2.4.7. Deficiencia de potasio.....	13
2.5. Zinc.....	14
2.5.1. Funciones del zinc en las plantas.....	14
2.5.2. Formas del zinc en el suelo.....	14
2.5.3. Formas utilizables del zinc.....	15
2.5.4. Forma de aplicación del zinc.....	15
2.5.5. Factores que afectan la disponibilidad del zinc.....	15
2.5.6. Deficiencia de zinc.....	16
2.6. Fertilización en maíz.....	16
2.6.1. Nutrimientos esenciales para las plantas.....	16
2.6.2. Fertilización con nitrógeno.....	16
2.6.2.1. Efecto de la fertilización nitrogenada en presembrado.....	17
2.6.3. Fertilización con fósforo.....	18
2.6.4. Fertilización con potasio.....	19
2.6.5. Fertilización con zinc.....	19
III. MATERIALES Y METODOS.....	21
3.1. Localización.....	21
3.2. Características del Clima.....	21
3.3. Diseño Experimental, Tratamientos y Croquis.....	22
3.4. Preparación del Suelo.....	23
3.5. Establecimiento del Experimento.....	23
3.6. Aplicación de Tratamientos.....	24

3.7. Siembra y Material Genético.....	24
3.8. Riegos.....	25
3.9. Labores de Cultivo.....	25
3.10. Plagas y Enfermedades.....	25
3.11. Propiedades Físicas y Químicas del Suelo.....	26
3.12. Variables de Estudio.....	27
3.12.1. Variables de estudio en la etapa vegetativa.....	27
3.12.1.1. Diámetro de tallo.....	27
3.12.1.2. Altura de planta.....	28
3.12.2. Variables de estudio en la etapa de floración.....	28
3.12.2.1. Diámetro de tallo.....	28
3.12.2.2. Altura de planta.....	28
3.12.2.3. Area foliar total.....	29
3.12.2.4. Daño por gusano cogollero.....	29
3.12.3. Variables que se estudiaron en la cosecha.....	29
3.12.3.1. Peso seco total de planta.....	30
3.12.3.2. Rendimiento de grano.....	30
3.12.3.3. Índice de cosecha.....	30
3.13. Análisis Estadístico.....	30
IV. RESULTADOS.....	33
4.1. Etapa vegetativa.....	33
4.1.1. Diámetro de tallo 1.....	33
4.1.2. Altura 1.....	34
4.1.3. Diámetro de tallo 2.....	34
4.1.4. Altura 2.....	35
4.2. Etapa de floración.....	36
4.2.1. Diámetro de tallo 3.....	37
4.2.2. Altura 3.....	37
4.2.3. Daño por gusano cogollero.....	38
4.2.4. Largo de hoja.....	41

4.2.5. Ancho de hoja.....	41
4.2.6. Area foliar total.....	42
4.3. Etapa de Cosecha.....	43
4.3.1. Longitud de mazorca.....	43
4.3.2. Diámetro de mazorca.....	44
4.3.3. Peso de mazorca.....	45
4.3.4. Longitud sin llenado de grano.....	46
4.3.5. Número de hileras por mazorca.....	47
4.3.6. Granos por hilera.....	48
4.3.7. Peso de olote.....	49
4.3.8. Mazorcas con hongo.....	50
4.3.9. Mazorcas sin hongo.....	52
4.3.10. Peso seco total de planta.....	54
4.3.11. Rendimiento de maíz en kg ha ⁻¹	55
4.3.12. Índice de cosecha.....	56
V. DISCUSION.....	57
5.1. Efecto de la fertilización con nitrógeno en presiembra.....	57
5.2. Efecto de la fertilización con fósforo.....	58
5.3. Efecto de la fertilización con potasio.....	59
5.4. Efecto de la fertilización con zinc.....	60
5.5. Efecto de la fertilización con Nitrofoska.....	60
5.6. Efecto de las Interacciones.....	61
5.7. Análisis estadístico.....	62
VI. CONCLUSIONES.....	63
VII. BIBLIOGRAFIA.....	64
VIII. APENDICE.....	71

INDICE DE CUADROS Y FIGURAS

CUADRO	TÍTULO	PÁGINA
Cuadro 1.	Factores y niveles estudiados en el experimento "Respuesta del maíz (<i>Zea mays</i> L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas". (Ciclo O-I 1994-1995).....	22
Cuadro 2.	Resultados del análisis de suelo del sitio experimental "Respuesta del maíz (<i>Zea mays</i> L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas". (Ciclo O-I 1994-1995).....	26
Cuadro 3.	Efectos y grados de libertad (G. L.) en el diseño Taguchi L8.....	32
Cuadro 4.	Medias de la variable diámetro de tallo 1 por nivel y para cada factor de estudio en el experimento "Respuesta del maíz (<i>Zea mays</i> L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas". Ciclo (O-I 1994-1995).....	33
Cuadro 5.	Medias de la variable altura 1 por nivel y para cada factor en estudio del experimento "Respuesta del maíz (<i>Zea mays</i> L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas". (Ciclo O-I 1994-1995).....	34
Cuadro 6.	Medias de la variable diámetro de tallo 2 por nivel y para cada factor en estudio del experimento "Respuesta del maíz (<i>Zea mays</i> L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas". (Ciclo O-I 1994-1995).....	35
Cuadro 7.	Medias de la variable altura 2 por nivel y para cada factor en estudio del experimento "Respuesta del maíz (<i>Zea mays</i> L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas". (Ciclo O-I 1994 - 1995).....	36
Cuadro 8.	Medias de la variable diámetro de tallo 3 por nivel y para cada factor en estudio del experimento "Respuesta del maíz (<i>Zea mays</i> L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas". (Ciclo O-I 1994-1995).....	37
Cuadro 9.	Medias de la variable altura 3, por nivel y para cada factor en estudio del experimento "Respuesta del maíz (<i>Zea mays</i> L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas". (Ciclo O-I 1994-1995).....	38

Cuadro 10. Medias de la variable daño por cogollero por nivel y para cada factor en estudio del experimento "Respuesta del maíz (<i>Zea mays</i> L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas". (Ciclo O-I 1994-1995).....	39
Cuadro 11. Medias de la variable daño por cogollero, en cuanto al número de hojas dañadas en la etapa de floración para los factores fósforo y zinc en el experimento "Respuesta del maíz (<i>Zea mays</i> L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas" (Ciclo O-I 1994-1995).....	40
Cuadro 12. Medias de la variable daño por cogollero, en cuanto al número de hojas dañadas en la etapa de floración para los factores fósforo y potasio del experimento "Respuesta del maíz (<i>Zea mays</i> L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas" (Ciclo O-I 1994-1995).....	40
Cuadro 13. Medias de la variable largo de hoja por nivel y para cada factor en estudio del experimento "Respuesta del maíz (<i>Zea mays</i> L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas". (Ciclo O-I 1994-1995).....	41
Cuadro 14. Medias de la variable ancho de hoja por nivel y por factor en estudio del experimento "Respuesta del maíz (<i>Zea mays</i> L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas". (Ciclo O-I 1994-1995).....	42
Cuadro 15. Medias de la variable área foliar total por nivel y para cada factor en estudio del experimento "Respuesta del maíz (<i>Zea mays</i> L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas". (Ciclo O-I 1994-1995).....	43
Cuadro 16. Medias de la variable longitud de mazorca por nivel y para cada factor en estudio del Experimento "Respuesta del maíz (<i>Zea mays</i> L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas". (Ciclo O-I 1994-1995).....	44
Cuadro 17. Medias de la variable diámetro de mazorca por nivel y para cada factor en estudio del experimento "Respuesta del maíz (<i>Zea mays</i> L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas". (Ciclo O-I 1994-1995).....	45
Cuadro 18. Medias de la variable peso de mazorca por nivel y para cada factor en estudio del experimento "Respuesta del maíz (<i>Zea mays</i> L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas". (Ciclo O-I 1994-1995).....	46

Cuadro 19. Medias de la variable longitud sin llenado de grano por nivel y para cada factor en estudio del experimento "Respuesta del maíz (<i>Zea mays</i> L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas". (Ciclo O-I 1994-1995).....	47
Cuadro 20. Medias de la variable número de hileras por mazorca por nivel y para cada factor en estudio del experimento "Respuesta del maíz (<i>Zea mays</i> L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas". (Ciclo O-I 1994 - 1995).....	48
Cuadro 21. Medias de la variable granos por hilera por nivel y para cada factor en estudio del experimento "Respuesta del maíz (<i>Zea mays</i> L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas". (Ciclo O-I 1994 - 1995).....	49
Cuadro 22. Medias de la variable peso de olote, por nivel y para cada factor en estudio del experimento "Respuesta del maíz (<i>Zea mays</i> L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc de maíz en suelos del norte de Tamaulipas". (Ciclo O-I 1994-1995).....	50
Cuadro 23. Medias de la variable mazorcas con hongo, por nivel y para cada factor en estudio del experimento "Respuesta del maíz (<i>Zea mays</i> L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas". (Ciclo O-I 1994-1995).....	51
Cuadro 24. Medias de mazorcas con hongo al momento de la cosecha para los factores fósforo y potasio del experimento "Respuesta del maíz (<i>Zea mays</i> L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas". (Ciclo O-I 1994-1995).....	52
Cuadro 25. Medias de la variable mazorcas sin hongo por nivel y para cada factor en estudio del experimento "Respuesta del maíz (<i>Zea mays</i> L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas". (Ciclo O-I 1994-1995).....	53
Cuadro 26. Medias de la variable mazorcas sin hongo al momento de la cosecha para los factores fósforo y potasio en el experimento "Respuesta del maíz a la fertilización con nitrógeno, fósforo potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas" (Ciclo O-I 1994-1995).....	54
Cuadro 27. Medias de la variable peso seco de planta por nivel y para cada factor en estudio del experimento "Respuesta del maíz (<i>Zea mays</i> L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas". (Ciclo O-I 1994-1995).....	54

Cuadro 28. Medias de la variable rendimiento en kg ha ⁻¹ por nivel y para cada factor en estudio del experimento "Respuesta del maíz (<i>Zea mays</i> L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas". (Ciclo O-I 1994-1995).....	55
--	----

Cuadro 29. Medias de la variable índice de cosecha por nivel y para cada factor en estudio del experimento "Respuesta del maíz (<i>Zea mays</i> L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas". (Ciclo O-I 1994-1995).....	56
---	----

FIGURAS	TÍTULO	PÁGINA
Figura 1.	Distribución de los tratamientos en campo del experimento: "Respuesta del maíz (<i>Zea mays</i> L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas". (Ciclo O-I 1994-1995).....	23

INDICE DE CUADROS DEL APENDICE

CUADRO	TÍTULO	PÁGINA
Cuadro A1.	Cuadrados medios para las variables diámetro de tallo 1, altura 1, diámetro de tallo 2, y altura 2, de la etapa vegetativa en el experimento "Respuesta del maíz (<i>Zea mays</i> L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas". (Ciclo O-I 1994-1995).....	71
Cuadro A2.	Cuadrados medios para las variables diámetro de tallo 3, altura 3, y daño por gusano cogollero al momento de la floración del experimento "Respuesta del maíz (<i>Zea mays</i> L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas". (Ciclo O-I 1994-1995).....	71
Cuadro A3.	Cuadrados medios para las variables largo de hoja, ancho de hoja y área foliar total al momento de la floración del experimento "Respuesta del maíz (<i>Zea mays</i> L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas". (Ciclo O-I 1994-1995).....	72
Cuadro A4.	Cuadrados medios para las variables longitud de mazorca, diámetro de mazorca y peso de mazorca al momento de la cosecha del experimento "Respuesta del maíz (<i>Zea mays</i> L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas". (Ciclo O-I 1994-1995).....	72
Cuadro A5.	Cuadrados medios para las variables longitud sin llenado de grano, número de hileras por mazorca y número de granos por hilera al momento de la cosecha del experimento "Respuesta del maíz (<i>Zea mays</i> L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas". (Ciclo O-I 1994-1995).....	73
Cuadro A6.	Cuadrados medios para las variables peso de olote, mazorcas con hongo, y mazorcas sin hongo al momento de la cosecha del experimento "Respuesta del maíz (<i>Zea mays</i> L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas". (Ciclo O-I 1994-1995).....	73
Cuadro A7.	Cuadrados medios para las variables peso seco total de planta, rendimiento de grano en kg ha ⁻¹ e índice de cosecha al momento de la cosecha del experimento "Respuesta del maíz (<i>Zea mays</i> L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas". (Ciclo O-I 1994-1995).....	74
Cuadro A8.	Medias por tratamiento de las variables diámetro de tallo 1, altura 1, diámetro de tallo 2 y altura 2 en la etapa vegetativa del experimento "Respuesta del maíz (<i>Zea mays</i> L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas". (Ciclo O-I 1994-1995).....	75

Cuadro A9. Medias por tratamiento de las variables diámetro de tallo 3, altura 3 y daño por gusano cogollero, al momento de la floración del experimento "Respuesta del maíz (<i>Zea mays</i> L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas". (Ciclo O-I 1994-1995).....	75
Cuadro A10. Medias por tratamiento de las variables largo de hoja, ancho de hoja y área foliar total al momento de la floración del experimento "Respuesta del maíz (<i>Zea mays</i> L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas ". (Ciclo O-I 1994-1995).....	76
Cuadro A11. Medias por tratamiento de las variables longitud de mazorca, diámetro de mazorca y peso de mazorca obtenidas durante la cosecha del experimento "Respuesta del maíz (<i>Zea mays</i> L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas". (Ciclo O-I 1994-1995).....	76
Cuadro A12. Medias por tratamiento de las variables longitud sin llenado de grano, número de hileras por mazorca y número de granos por hilera, al momento de la cosecha del experimento "Respuesta del maíz (<i>Zea mays</i> L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas ". (Ciclo O-I 1994-1995).....	77
Cuadro A13. Medias por tratamiento de las variables peso de olote, mazorcas con hongo y mazorcas sin hongo al momento de la cosecha del experimento "Respuesta del maíz (<i>Zea mays</i> L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas ". (Ciclo O-I 1994-1995).....	77
Cuadro A14. Medias por tratamiento de las variables peso seco total de planta, rendimiento de grano en ton ha ⁻¹ e índice de cosecha del experimento "Respuesta del maíz (<i>Zea mays</i> L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas ". Ciclo O-I 1994-1995.....	78

RESUMEN

La economía en el norte de Tamaulipas se basa en la agricultura de riego, en donde los cultivos principales son el maíz y el sorgo. Sin embargo, la rentabilidad de estos cultivos es muy baja debido a que los insumos son altos y el precio del producto bajo, por lo que es importante hacer más eficientes los sistemas de producción de maíz. La fertilización es uno de los insumos más caros en la producción, por lo que en esta investigación se planteó el objetivo de estudiar la aplicación de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y zinc (Zn) en el crecimiento y rendimiento del maíz.

El experimento se estableció en maíz de riego en el municipio de Díaz Ordaz, Tamaulipas bajo un diseño de bloques al azar para evaluar el efecto de cuatro factores con dos niveles cada uno: N (0 y 50 kg ha⁻¹) P (0 y 70 kg ha⁻¹), K (0 y 80 kg ha⁻¹) y Zn (0 y 3.0 litros ha⁻¹). El diseño de tratamientos fue Taguchi L8, en donde se confunden los efectos principales con las interacciones de segundo orden para obtener únicamente ocho tratamientos en la prueba. También se probó un tratamiento adicional: Nitrofoska (12-12-7-2) 250 kg ha⁻¹. Se utilizó semilla híbrida de maíz PIONEER 3044 con una densidad de 70,000 plantas ha⁻¹ y se dieron un riego de presembrado y tres riegos de auxilio.

El diámetro del tallo y la altura se midieron en tres etapas fenológicas (55, 71 y 95 días después de la siembra), para diámetro de tallo se encontró efectos significativos de la aplicación de P a los 71 días. En el caso de la altura, también se encontraron efectos significativos de la aplicación de P en las etapas de 55 y 71. Ninguno de los otros factores estudiados mostró efectos sobre el desarrollo vegetativo de la planta. El largo y ancho de la hoja, así como el área foliar no mostraron diferencias significativas para N, P, K y Zn.

Algunos de los factores estudiados tuvieron efecto en el daño de gusano cogollero. Los análisis estadísticos mostraron un menor daño en las parcelas con aplicación de P, K y Zn. También se encontró interacción entre: P-Zn y P-K. Estos resultados se han reportado previamente en escasos trabajos de investigación.

Al momento de la cosecha, el largo y diámetro de mazorca, el número de hileras por mazorca y el número de granos por hilera no presentaron efectos significativos para N, P, K y Zn; sin embargo, el peso de mazorca fue mayor en el tratamiento con Nitrofoska. Las mazorcas con daño de hongos también fueron diferentes significativamente, obteniendo una menor incidencia en las parcelas tratadas con P.

Los resultados mostraron que hubo una diferencia importante en rendimiento entre las parcelas con y sin P, encontrando una diferencia en rendimiento de 856 kg ha⁻¹ con una ganancia neta estimada en \$692.00 por hectárea. El tratamiento con Nitrofoska también superó al promedio de rendimiento de los otros tratamientos (6,379 vs 6,111 kg ha⁻¹).

En general, se observaron efectos importantes en el rendimiento y variables vegetativas debido a la aplicación de P; en el caso de la aplicación de N, no se encontraron efectos significativos, contrario a lo reportado en otros trabajos similares en la misma región, en este trabajo la ausencia de efectos se explicó debido a que el fertilizante se aplicó muy cerca de la semilla. Los efectos no significativos del K y Zn sobre el desarrollo vegetativo y el rendimiento en maíz coinciden con trabajos previos.

SUMMARY

The economy at the north of Tamaulipas State of México, is based on irrigated agriculture, where the most important crops are corn and sorghum. However, the profit of these crops is low, due to high production costs and low grain prices. Therefore, the production system must be studied to find the agronomic practices that lead to an efficient activity. Fertilization is one of the most expensive commodity in corn production, therefore this research was conducted to study the application of nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), and zinc (Zn) on corn development and production.

This experiment was carried out at Díaz Ordaz, Tamaulipas, Mexico with irrigated corn under a randomized complete block design. Four factors with two levels each were evaluated: N (0 and 50 kg ha⁻¹) P (0 and 70 kg ha⁻¹), K (0 and 80 kg ha⁻¹) and Zn (0 and 3.0 L ha⁻¹). The treatment design was a Taguchi L8, where the principal effects were confounded with the second ordered interactions, resulting only eight treatments. Nitrofoska (12-12-7-2) 250 kg ha⁻¹ also was included in the experiment. The hybrid PIONEER 3044 was used in the experiment with a plant density of 70,000 plants ha⁻¹.

The stem diameter and plant height were measured in three crop stages (55, 71 y 95 days after planting). Results showed that P application gave the highest diameters at 71 days after planting. Plant height was also different among P levels at 55 and 71 days after planting, with the highest height with the 70 kg ha⁻¹ P treatment. For these variables, there was not significant differences among levels of N, P, K and Zn.

Some of the studied factors had effect on stalk worm damage. Statistical analysis showed less damage in the plots treated with P, K and Zn, and with the interactions P-Zn and P-K.

At harvest time, results showed that cob length and, cob diameter, cob row number and number of grain per row were not statistically different for N, P, K, and Zn. However, cob weight was the highest in the Nitrofosks treatment. The cobs with fungus damage also were significantly different, showed less damage in the plots treated with P.

Results showed that there was an important difference in yield between plots with and without P. Pots with P had 850 kg ha⁻¹ more than those without P with a profit of \$692.00 per hectare. The Nitrofoska treatment had the highest yields than the mean of yield of the other treatments (6,379 vs 6,111 kg ha⁻¹).

In general, important effects were observed in yield and vegetative variables due to P application. Application of N did not have any effect on yield and corn growth, contrary to reports of other works carried out in the same region. This lack of effect was probably due to the application of fertilizer too close to the seed. K and Zn, also did not have any effect on yield and vegetative variables, these results are similar to those found in other works in the North of Tamaulipas.

I. INTRODUCCION

La economía en el norte de Tamaulipas se basa en la agricultura de riego, en donde los cultivos principales son el maíz y el sorgo. Las políticas económicas dirigidas al campo en los últimos años han disminuido el precio del maíz al tratar de igualarlo a los precios internacionales y los insumos se han encarecido considerablemente. Esta situación está desincentivando las siembras de maíz debido al escaso margen de ganancia que se ha tenido con este cultivo en los últimos años. Los agricultores que han logrado subsistir a esta crisis económica son aquellos que han sabido reducir los costos de producción sin disminuir considerablemente los rendimientos. Uno de los insumos más importantes que se puede manejar es la fertilización. Por lo que en tiempos actuales es muy importante conocer cuáles son los fertilizantes que incrementan en mayor proporción los rendimientos.

La fertilización nitrogenada recomendada para maíz de riego en el norte de Tamaulipas para suelos de primera clase es de 140 kg N ha^{-1} , aplicando una tercera parte antes de la siembra y el resto en el primer cultivo. En un estudio previo, Sánchez (1995) encontró respuesta a la aplicación de 50 kg ha^{-1} de N en forma de sulfato de amonio aplicado 55 días antes de la siembra. La recomendación del paquete tecnológico para la fertilización con fósforo es de $70 \text{ kg de P}_2\text{O}_5$ en suelos de primera clase; sin embargo, algunos agricultores no aplican este elemento.

En cuanto a la fertilización con potasio, se ha mencionado que los suelos calcáreos del norte de Tamaulipas son ricos en este nutrimento (PIFSV, 1985); sin embargo, en diversos experimentos se ha demostrado que hay respuesta a la aplicación de potasio. En cuanto a la fertilización con micronutrientes, el zinc es el elemento que más frecuentemente es citado como deficiente en maíz (Brady, 1990 y Reyes *et al.*, 1990).

De acuerdo a lo anterior se consideró importante profundizar en el estudio de los efectos de N, P, K y Zn, como una manera de identificar el efecto de éstos elementos, sobre la producción de maíz en el norte de Tamaulipas.

Objetivos.

1. Evaluar el efecto de la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en presiembra, en el cultivo de maíz en suelos del norte de Tamaulipas
2. Evaluar el comportamiento de las interacciones de primer orden de N, P, K y Zn sobre el desarrollo y producción de maíz.

Hipótesis.

1. Las aplicaciones de N, P, K y Zn al suelo en presiembra, permite una disponibilidad oportuna a los cultivos, al momento de iniciar su desarrollo radical, por lo tanto es importante evaluar dichas aplicaciones en maíz.
2. Existen efectos de interacciones de los elementos N, P, K y Zn que afectan al rendimiento en maíz por lo tanto se puede afectar el desarrollo y la producción del maíz.

II. REVISION DE LITERATURA.

2.1. Los suelos en el norte de Tamaulipas.

2.1.1. Características de los suelos del norte de Tamaulipas.

Los distritos de riego de la zona norte de Tamaulipas comprenden 310,546 hectáreas que, según los estudios agrológicos regionales, los suelos 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 varia 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. Características de los suelos alcalinos.

Los suelos alcalinos presentan pH superiores a 7. La química de los suelos alcalinos está determinada por los carbonatos de calcio (CaCO₃) del suelo. Cuando los contenidos de carbonatos de calcio son mayores de 2-3 % por peso, el pH generalmente se encuentra entre los rangos de 7.6 a 8.3 (Marshner, 1995).

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 (Sánchez, 1995).

Brady (1990) mencionó que el exceso de CaCO_3 tiene efectos perjudiciales para los cultivos, tales como deficiencias en la disponibilidad de hierro, manganeso, cobre y/o zinc. Fasbender (1980) indicó que las condiciones de excesiva humedad en los suelos calcáreos favorece el ascenso del pH (resultado de la hidrólisis del CaCO_3), lo cual motiva la insolubilidad del hierro en dichos suelos.

2.1.3. Fertilización en el norte de Tamaulipas.

La fertilización nitrogenada recomendada para maíz de riego en el norte de Tamaulipas para suelos de primera clase es de 140 kilogramos de nitrógeno por hectárea y 70 kilogramos de fósforo (P_2O_5), aplicando una tercera parte del N antes de la siembra y el resto en el primer cultivo; en cuanto al potasio, se ha mencionado que estos suelos son ricos en este nutrimento (PIFSV, 1985) y no se recomienda su aplicación. En relación a la fertilización con micronutrientes, el zinc es el elemento que más frecuentemente es citado como deficiente en maíz (Reyes *et al.*, 1990).

2.2. Nitrógeno.

2.2.1. Funciones del nitrógeno en las plantas.

El nitrógeno se ha encontrado en las plantas tanto en forma orgánica como en forma inorgánica, combinado con C, H, O y algunas veces, con S formando aminoácidos, aminoenzimas, ácidos nucleicos, clorofila, alcaloides y bases purínicas, mientras que el nitrógeno inorgánico puede acumularse en la planta primeramente en tallos y tejidos conductivos en forma de nitrato (NO_3^-), el nitrógeno orgánico predomina como proteínas de alto peso molecular (Jones, 1998).

El nitrógeno influye en el rendimiento y también en la calidad de las cosechas, pues de él depende el contenido de proteínas del grano. Cuando la planta presenta deficiencias de nitrógeno disminuye el vigor, las hojas son pequeñas, las puntas de las hojas toman un color amarillo, que poco a poco se va extendiendo a lo largo de la nervadura central dando lugar a una especie de dibujo en forma de V (Guerrero, 1996).

El nitrógeno es esencial para el metabolismo de los carbohidratos, estimula el crecimiento radicular y el desarrollo de las plantas así como la asimilación de otros nutrimentos (Brady, 1990).

2.2.2. Formas de nitrógeno en el suelo.

El nitrógeno que se halla en el suelo puede ser generalmente clasificado como inorgánico y orgánico, la mayor cantidad se encuentra en gran parte como integrante de los materiales orgánicos complejos del suelo.

Las formas inorgánicas del nitrógeno del suelo incluyen NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , N_2O , NO y nitrógeno elemental, que es inerte excepto para su utilización por *Rhizobia*. Desde el punto de vista de la fertilidad del suelo, las formas NH_4^+ y NO_3^- son de mayor importancia.

Las formas orgánicas del nitrógeno del suelo se hallan como aminoácidos y proteínas consolidadas, aminoácidos libres, aminoazúcares y otros generalmente complejos no identificados (Tisdale y Nelson, 1982).

2.2.3. Formas utilizables de nitrógeno.

Las formas de nitrógeno que utilizan las plantas son los iones nitrato (NO_3^-) y amonio (NH_4^+), su absorción está en función del pH del suelo, la temperatura y la presencia de otros iones en la solución del suelo. El NH_4^+ participa en el intercambio catiónico dentro del suelo. El nitrito (NO_2^-) puede estar presente en la solución del suelo bajo condiciones anaeróbicas y es tóxico para las plantas a muy bajos niveles (Jones, 1998).

2.2.4. Movimientos de nitrógeno en el suelo.

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 mas fácilmente, porque no se unen por si mismos a las partículas del suelo. Por otra parte, el nitrógeno amoniacal es adsorbido por los coloides del suelo (Tisdale y Nelson, 1982).

2.2.5. Forma de aplicación del nitrógeno.

Los fertilizantes se deben aplicar o colocar de tal manera que puedan ser alcanzados por las raíces de las plantas. Si el fertilizante nitrogenado se aplica al momento de la siembra, nunca debe estar en contacto con la semilla; debe de colocarse de 5 a 10 cm a un lado y debajo de la semilla (Cooke, 1979).

2.2.6. Pérdidas de nitrógeno.

El nitrógeno aplicado al suelo en forma de fertilizante, puede perderse principalmente por volatilización y lixiviación.

Las pérdidas por volatilización ocurren cuando el gas nitrógeno, óxido nitroso, óxido nítrico y amoníaco son liberados a causa de ciertas reacciones químicas y biológicas que se verifican en el suelo. Han sido sugeridos tres mecanismos como causa de estas pérdidas.

1. Desnitrificación, que es la reducción bioquímica de los nitratos bajo condiciones anaeróbicas.
2. Reacciones químicas que implican a los nitratos bajo condiciones aeróbicas.
3. Pérdidas volátiles de amoníaco gas (NH_3) de la superficie de los suelos alcalinos (Tisdale y Nelson, 1982).

En condiciones favorables para el crecimiento de las plantas, la mayor parte del nitrógeno del suelo en forma de amonio (NH_4^+), se convierte en nitrato (NO_3^-) por medio de las bacterias nitrificantes, este proceso se denomina nitrificación. Este ion nitrato como tiene carga negativa no es adsorbido por los coloides del suelo cargados negativamente que generalmente dominan en la mayoría de los suelos y consecuentemente se puede perder fácilmente por lixiviación (Brady, 1990).

2.2.7. Deficiencia de nitrógeno.

Cuando las plantas presentan deficiencias de nitrógeno se vuelven raquílicas y amarillas. Este amarillamiento o clorosis aparece primeramente en las hojas inferiores mientras las hojas superiores permanecen verdes. En caso de grave deficiencia de nitrógeno las hojas se vuelven color marrón y mueren.

La tendencia de las hojas superiores a permanecer verdes mientras las inferiores amarillas mueren indica la movilidad del nitrógeno en la planta (Tisdale y Nelson, 1982).

2.3. Fósforo.

2.3.1. Funciones del fósforo en las plantas.

El fósforo es un componente de ciertas enzimas y proteínas, trifosfato de adenosina (ATP), ácidos ribonucleicos (RNA), ácidos desoxirribonucleicos (DNA), y fitina. El ATP está involucrado en varias reacciones de transferencia de energía, y el RNA y DNA son componentes de la información genética (Jones, 1998).

El fósforo desempeña un papel importante en la fotosíntesis, la respiración, el almacenamiento y transferencia de energía, la división y crecimiento celular y otros procesos que se llevan a cabo en la planta. Además, promueve la rápida formación y crecimiento de las raíces, mejora la calidad de la fruta, hortalizas y granos y está involucrado en la transferencia de características hereditarias de una generación a la siguiente (Potash & Phosphate Institute, 1997).

2.3.2. Formas del fósforo en los suelos.

El fósforo en el suelo puede clasificarse en general como orgánico e inorgánico, dependiendo de la naturaleza de los compuestos en que se encuentra. La fracción orgánica se halla en el humus y otros materiales orgánicos, que pueden o no estar asociado con él. La fracción inorgánica se encuentra en numerosas combinaciones con hierro, aluminio, calcio, flúor y otros elementos (Tisdale y Nelson, 1982).

2.3.3. Formas utilizables del fósforo.

Las plantas absorben la mayoría del fósforo como ion ortofosfato primario (H_2PO_4^-), las plantas también absorben pequeñas cantidades de fósforo como ion ortofosfato secundario (HPO_4^{2-}). El pH del suelo influye en gran parte en la absorción de estas dos formas de fósforo por la planta (Potash & Phosphate Institute, 1997).

2.3.4. Movimientos del fósforo en el suelo.

El fósforo se mueve muy poco en la mayoría de los suelos, generalmente se mantiene en el lugar donde ha sido colocado por la meteorización de los minerales o por la fertilización. Muy poco de este elemento se pierde por lixiviación, aún cuando se mueve mas libremente en suelos arenosos que en arcillosos. La erosión y la remoción por el cultivo son las dos únicas formas significativas de pérdidas de fósforo del suelo (Guerrero, 1996).

0

2.3.5. Epoca de aplicación del fósforo.

Como el fósforo no se mueve a través del suelo, deberá aplicarse en posiciones en donde pueda ser alcanzado por las raíces de las plantas cuando lo necesiten, es decir aplicarse antes de la siembra (Cooke, 1979).

2.3.6. Forma de aplicación del fósforo.

El contenido de fósforo en la zona radicular debe ser lo suficientemente alto para asegurar su disponibilidad durante todas las etapas de crecimiento. La fijación es un factor importante a considerar cuando se debe decidir la forma de aplicación de fósforo. Existe un mayor contacto entre el suelo y el fertilizante cuando se aplica al voleo y se le incorpora con el arado o con la rastra que cuando se le aplica en banda (Rodríguez, 1996).

2.3.7. Factores que afectan la disponibilidad del fósforo.

La disponibilidad de fósforo presenta una doble restricción: el bajo nivel de fósforo total en los suelos y las bajas cantidades de las formas disponibles. Además, cuando se aplican al suelo fosfatos solubles, estos son rápidamente fijados hacia formas insolubles que en un tiempo van a ser no disponibles para las plantas. En suelos ácidos, el fósforo es primeramente fijado por el hierro, aluminio y manganeso, y en suelos alcalinos por el calcio y el magnesio, esta fijación reduce gradualmente la eficiencia de los fertilizantes fosfatados, de tal modo que solamente una pequeña cantidad del fósforo añadido puede ser tomado por las plantas. Con el tiempo; sin embargo, este fósforo fijado puede formar parte de la reserva y ser absorbido por las plantas (Brady, 1990).

La disponibilidad del fósforo varía de acuerdo a los siguientes factores:

1. Cantidad de arcilla.
2. Tipo de arcilla.
3. Época de aplicación.
4. Aireación.
5. Compactación.
6. Humedad.
7. Contenido de fósforo en el suelo.

8. Temperatura.
9. Otros nutrimentos.
10. Cultivo.
11. El pH del suelo.

2.4. Potasio.

2.4.1. Funciones del potasio en las plantas.

El potasio está involucrado en el mantenimiento del estado hídrico de la planta, la presión de turgencia de sus células y el mecanismo de apertura y cierre estomático. El potasio es requerido para la acumulación y translocación de los nuevos carbohidratos formados (Jones, 1998).

El potasio imparte a las plantas gran vigor y resistencia a las enfermedades, coadyuva en la producción de proteínas en las plantas, aumenta el tamaño del grano y semilla y es esencial para la formación y desplazamiento de almidones, azúcares y aceites. También mejora la calidad de los frutos, ayuda al desarrollo de los tubérculos y auxilia en la formación de las antocianinas (National Plant Food Institute, 1985).

2.4.2. Formas del potasio en el suelo.

El potasio existe en el suelo en cuatro formas:

1. Como catión K^+ en la solución del suelo.
2. Como K^+ intercambiable en los coloides del suelo.
3. Fijado en las arcillas.
4. Como un componente en minerales potásicos (Jones, 1998).

2.4.3. Formas utilizables del potasio.

El potasio es absorbido como ion K^+ y se encuentra en los suelos en cantidades variables. En general la fracción cambiante y la forma asimilable por las plantas generalmente son pequeñas comparadas con el total de potasio en el suelo (Tisdale et al., 1985).

2.4.4. Movimientos de potasio en el suelo.

El potasio en la solución del suelo esta expuesto a considerables perdidas por lixiviación. Las dos formas de potasio fácilmente disponibles se encuentran en un equilibrio dinámico. Tal situación tiene una gran importancia práctica. Cuando las plantas absorben potasio, el potasio intercambiable se mueve inmediatamente hacia la solución del suelo, hasta que el equilibrio nuevamente se establece. Cuando son suministrados al suelo fertilizantes solubles en agua, el equilibrio es inverso, el potasio de la solución del suelo se mueve hacia el complejo de intercambio. El potasio intercambiable puede considerarse como un importante mecanismo "buffer" para el potasio de la solución del suelo (Brady, 1990).

Es vital mantener niveles adecuados de potasio en el suelo porque este nutrimento no se mueve mucho, excepto en suelos arenosos o en suelos orgánicos. Este elemento tiende a mantenerse en el sitio donde se coloca cuando se fertiliza y cuando se mueve, lo hace por medio del proceso denominado difusión, en desplazamientos lentos y de corto recorrido por las películas de agua que rodean las partículas del suelo (Potash & Phosphate Institute, 1997).

2.4.5. Época y forma de aplicación del potasio.

En la mayoría de los cultivos anuales, incluyendo los cereales y las hortalizas, los fertilizantes potásicos deben aplicarse a la siembra o al trasplante, debido a que las plantas absorben una buena porción del potasio en las etapas tempranas del crecimiento. Sin embargo, en suelos de textura liviana (arenosos, o franco arenosos), con un alto potencial de perder potasio por lixiviación, se recomienda una aplicación fraccionada (Mackay y Barber, 1985).

2. 4.6. Disponibilidad de potasio en los suelos.

En contraste con el fósforo, el potasio se encuentra en altos niveles en la mayoría de los suelos minerales, excepto en suelos arenosos. No obstante, la cantidad de potasio disponible para las plantas a menudo es muy pequeña. La mayor parte de este elemento se encuentra como parte de minerales primarios o es fijado en formas que presentan poca o moderada disponibilidad para las plantas. Por lo tanto, la situación con respecto a la utilización del potasio es semejante que para el fósforo y el nitrógeno en último término. Una proporción muy grande de estos tres elementos en los suelos es insoluble y relativamente no disponible para las plantas (Brady, 1990).

2.4.7. Deficiencia de potasio.

Cuando la planta es deficiente en potasio, la fotosíntesis decrece mientras que la respiración se incrementa, esto reduce seriamente la formación de carbohidratos y por consiguiente el crecimiento y rendimiento de los cultivos (Tisdale et al., 1985).

2.5. Zinc.

2.5.1. Funciones del zinc en las plantas.

El zinc juega un papel importante en la síntesis de proteínas, en la formación de hormonas de crecimiento y en los procesos reproductivos de ciertas plantas (Brady, 1990).

El zinc tiene relación directa con la síntesis del ácido indolacético (AIA) y como tal su deficiencia puede causar cambios sustanciales en la forma y el hábito de crecimiento de ciertas especies, produciendo plantas atrofiadas y de baja altura, con pobre desarrollo de la dominancia apical.

Además, el zinc es un activador obligado de numerosas e importantes enzimas en las que se incluyen las dehidrogenasas, ácido láctico y otras. El zinc parece estar implicado en la síntesis de proteínas, puesto que su deficiencia puede traducirse en un sustancial incremento de compuestos nitrogenados solubles (Bidwel, 1987).

El zinc es un constituyente muy común en los tejidos vegetales, en concentraciones que oscilan desde 1 hasta 50 ppm. Es bien conocido el hecho de que la presencia y la utilización de este elemento es un requisito importante para el desarrollo satisfactorio de las gramíneas (Teuscher y Adler, 1980).

2.5.2. Formas del zinc en el suelo.

El zinc existe en la solución del suelo como catión Zn^{2+} , como zinc intercambiable y como componente de compuestos orgánicos. La disponibilidad del zinc es afectada por el pH del suelo, decreciendo a pH's mayores (Jones, 1998).

2.5.3. Formas utilizables del zinc.

Las formas solubles de zinc que se mantienen en equilibrio con el zinc del suelo son las siguientes: la forma predominante por debajo de pH 7.7 es Zn^{2+} y por encima de este pH la forma neutra $Zn(OH)_2$ es la que resulta dominante. A pH 5, es uno de los metales pesados más móviles.

La solubilidad del zinc del suelo y de los minerales de zinc es máxima a pH 4 y mucho menor en condiciones neutras y sobre todo alcalinas (Loué, 1998).

2.5.4. Forma de aplicación del zinc.

Las aplicaciones de zinc en el suelo son muy efectivas y duraderas, siendo recomendables cuando se detectan deficiencias a través de análisis de suelos. La práctica sugerida más efectiva es el agregado de una dosis de 6 kg ha^{-1} al voleo ó 3 kg ha^{-1} en banda de zinc, como sulfato (Melgar y Diaz-Zorita, 1997).

El zinc puede ser aplicado en una mezcla de fertilizantes al momento de la siembra o al voleo, las dosis recomendadas de zinc para maíz van de 0.7 a 22 kg ha^{-1} , dependiendo de las condiciones del suelo y la forma química del zinc a utilizar (Sprague, 1985).

2.5.5. Factores que afectan la disponibilidad del zinc.

La nutrición con zinc es afectada por muchos factores, de los cuales se considera que los más importantes son: el pH del suelo, el contenido de materia orgánica en el suelo, el fósforo disponible y la temperatura (Lindsay 1972, citado por Carsky y Reid, 1990).

2.5.6. Deficiencia de zinc.

Los síntomas de deficiencia de zinc incluyen atrofia y reducción notable del tamaño de la hoja, lo cual conduce a la "hoja pequeña" y de "roseta" de manzanos y de duraznos, así como clorosis intervenal que produce la "hoja moteada" en los cítricos. Una carencia de zinc, produce la enfermedad "yema blanca" de maíz y puede conducir a una considerable reducción de la floración y la fructificación, así como achaparramiento y crecimiento radial pobremente diferenciado (Bidwel, 1987).

2.6. Fertilización en maíz.

2.6.1. Nutrientes esenciales para las plantas.

Para 1890, los científicos habían establecido que el carbono C, Hidrógeno H, oxígeno O, nitrógeno N, fósforo P, azufre S, potasio K, calcio Ca, magnesio Mg, y hierro Fe, eran requeridos por las plantas, y que su ausencia o baja disponibilidad podían resultar en la muerte de la planta, o un crecimiento muy pobre acompañado de síntomas visuales. Entre 1922 y 1954, elementos adicionales fueron considerados como esenciales: manganeso, cobre, zinc, molibdeno, boro, y cloro (Jones, 1998).

2.6.2. Fertilización con nitrógeno.

El uso del nitrógeno por la planta de maíz es un tema complejo ya que participan numerosos componentes fisiológicos tales como absorción, translocación, asimilación, y redistribución, donde cada componente tiene una curva de respuesta a factores ambientales (temperatura, estrés de humedad, luz, etc.) y a prácticas culturales (densidad de siembra, distancia entre surcos, etc.) (Gardner *et al.*, 1990).

Muchos experimentos de campo han demostrado respuesta en el rendimiento de maíz, por la aplicación de fertilizantes nitrogenados (Karlen et al., 1987; Gardner *et al.*, 1990; Killorn y Zourarakis, 1992; Adriaanse y Human, 1992 y 1993; Eghball y Maranville, 1993; Muchow, 1994; y Durieux et al., 1994). Sin embargo, la magnitud de la respuesta de la aplicación de nitrógeno es variable en función de dosis, fuentes, variaciones climáticas, variedades y prácticas de cultivo (Muchow, 1994).

Ibrahim (1997), al estudiar ocho genotipos de maíz fertilizados con 120, 180 y 240 kg ha⁻¹ de nitrógeno encontró que al incrementar la tasa de nitrógeno se incrementó la tasa de acumulación de materia seca, la producción de paja y producción de grano sin afectar el índice de cosecha; sin embargo, hubo respuestas diferenciales en función de genotipos (Tollenar *et al.*, 1994 y Gardner *et al.*, 1990).

2.6.2.1. Efecto de la fertilización nitrogenada en presiembra.

La aplicación de nitrógeno antes de la siembra en el cultivo del maíz ha sido controversial, hay investigadores que han reportado respuesta a la aplicación de este elemento. Jokela (1992), en un estudio sobre el efecto de la fertilización inicial en la producción de maíz forrajero, reportó un incremento de la producción en tres de los cinco sitios evaluados. Con resultados coincidentes, Sánchez (1995), trabajando con maíz en suelos con niveles medios de fósforo y potasio, reportó diferencias significativas al momento de la cosecha para las variables peso seco de planta, peso de mazorca, peso de olote, peso de 100 granos, y peso de grano, encontrando que en todos los casos, se obtuvieron valores promedio mayores en las parcelas donde se aplicó nitrógeno 55 días antes de la siembra.

Mascagni y Boquet (1996), realizaron estudios con seis híbridos de maíz para determinar el efecto de la fertilización inicial en el crecimiento y rendimiento en grano del maíz en el período de 1991 a 1993; observaron incrementos en el rendimiento de 0.5 a 1.4 ton ha⁻¹ al aplicar 11 kg de nitrógeno inicial en dos de los tres años; sin embargo, encontraron que la respuesta en rendimiento no fue consistente a través de los años, ni a través de híbridos.

Por otra parte, también existen trabajos que indican no haber encontrado respuesta en rendimiento al utilizar una fertilización nitrogenada de presembrado, como el caso de Bullock *et al.* (1993) quienes reportan que el crecimiento de la planta, el peso de las hojas y el índice de área foliar en las primeras etapas de desarrollo, presentaron una respuesta favorable a la fertilización nitrogenada inicial. Sin embargo, al final del ciclo, el peso final de la planta, el peso de las hojas, el índice de área foliar y el rendimiento, no se incrementaron con la fertilización inicial.

2.6.3. Fertilización con fósforo.

Niveles altos de fósforo en el suelo estimulan la tasa de crecimiento radicular comparados con los suelos no fertilizados (Zhang y Barber, 1992).

En un experimento de campo con dos genotipos de maíz, se combinaron 0 y 135 kg ha⁻¹ de N con 0, 67.5 y 135 kg ha⁻¹ de P₂O₅. El rendimiento se incrementó con la aplicación de nitrógeno y también con la aplicación de fósforo, incluso sin nitrógeno. La asimilación de fósforo, y el contenido de fósforo en las hojas al momento de la cosecha, se incrementaron con la tasa de fósforo y la aplicación de nitrógeno (Cao *et al.*, 1995).

Existe una respuesta varietal diferencial para los niveles de disponibilidad de fósforo, diferencias genotípicas en hábitos de enraizamiento y potencial para producir (Khasawneh *et al.*, 1980).

2.6.4. Fertilización con potasio.

En cuanto a la fertilización con potasio, se ha mencionado que los suelos del norte de Tamaulipas son ricos en este nutrimento (PIFSV, 1985); sin embargo, en un experimento previo se demostró que hay respuesta a la aplicación de potasio.

Sánchez, (1995) encontró diferencia significativa para las variables 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 el potasio.

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.

Se ha demostrado la influencia del potasio en relación a las enfermedades. Kostandi y Soliman (1997) al combinar los niveles de cero y 48 kg de potasio por acre, con diferentes niveles de nitrógeno, encontraron que la aplicación de potasio redujo en un 19.6% el daño de hongos en la mazorca.

2.6.5. Fertilización con zinc.

Carsky y Reid (1990) observaron respuesta al zinc para el rendimiento en grano de maíz en los primeros cinco de siete años evaluados, el incremento en rendimiento promedio fue mayor del 20 % en todas los años, excepto en uno.

Cuando se necesitan micronutrientes, a menudo son extraordinarias las respuestas a la aplicación de pequeñas cantidades, como lo demuestran los datos obtenidos en la Universidad de Nebraska con respecto al zinc (Aldrich y Leng, 1974).

zinc aplicado por ha.	Rendimiento de maíz
0.0 k	1,568 kg ha ⁻¹
0.560 k	4,578 kg ha ⁻¹
2.80 k	6,084 kg ha ⁻¹

En experimentos de campo y laboratorio, un estudio con nueve líneas y cinco híbridos de maíz, mostraron diferencias genotípicas en la asimilación de zinc y su contenido en tejidos jóvenes. El incremento en rendimiento de grano por la aplicación de zinc estuvo en función del genotipo, siendo hasta de 0.55 ton ha⁻¹ lo que representó un 9.8% (Kuszmenko *et al.*, 1994).

Se han realizado pocos estudios en relación al efecto de la fertilización con zinc y su efecto en el desarrollo de plagas y enfermedades. Barbosa *et al.*, (1989) encontraron que la aplicación de 5 kg ha⁻¹ de zinc como sulfato de zinc, logró reducir el crecimiento y peso de larvas y pupas de gusano cogollero del maíz (*Spodoptera frugiperda*). En relación a enfermedades, la aplicación de zinc logró reducir el daño por hongos en la mazorca en un 10.3%, acompañado de un marcado incremento en el rendimiento de grano (Kostandi *et al.*, 1997).

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Localización.

El trabajo de campo de ésta investigación se realizó en el ciclo Otoño-Invierno 1994-1995, en terrenos de un agricultor cooperante, dentro del área de riego del Distrito de Desarrollo Rural Integral (DDRI) 26 de Díaz Ordaz, Tamaulipas. El Distrito está ubicado en las coordenadas geográficas $26^{\circ} 13.6'$ latitud norte y los $98^{\circ} 35.1'$ longitud oeste, con una altitud de 40 msnm. El distrito cuenta con un área de riego de 64,000 hectáreas y comprende los municipios de Miguel Alemán, Camargo, Díaz Ordáz, Reynosa y parte de Río Bravo (García, 1994).

3.2. Características del Clima.

El clima de la región, de acuerdo a la clasificación de Köppen, modificado por García (1968) es: $BS_1 (h') hx' (e')$ donde:

- $BS_1 =$ Clima seco árido con regímenes de lluvia en verano, siendo el más seco de los BS.
- $(h') h =$ Temperatura anual sobre $22^{\circ} C$ y abajo de los $18^{\circ} C$ en el mes más frío.
- $(x') =$ El régimen de lluvias se presenta como intermedio entre verano e invierno con un período de lluvia mayor del 18%.
- $(e') =$ Muy extremoso y oscilación anual de temperatura media mensual mayor de $14^{\circ} C$.

La precipitación promedio anual es de 540 mm.

3.3. Diseño Experimental, Tratamientos y Croquis.

Se utilizó un arreglo ortogonal Taguchi L8 (Stuart, 1993) más un tratamiento adicional, bajo un diseño de bloques al azar, lo que constituyó nueve tratamientos que fueron evaluados en cuatro repeticiones. Las unidades experimentales fueron de cinco surcos de 10 metros de largo con una separación entre bloques de un metro. La parcela útil estuvo constituida por los tres surcos centrales, eliminando un metro en cada extremo. Los factores de estudio y sus niveles se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Factores y niveles estudiados en el experimento "Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas" (Ciclo O-I 1994-1995).

FACTORES	NIVEL 1	NIVEL 2
Nitrógeno (N)	Sin nitrógeno inicial (N1)	50 kg ha ⁻¹ (N2)
Fósforo (P)	Sin fósforo (P1)	70 kg ha ⁻¹ (P2)
Potasio (K)	Sin potasio (K1)	80 kg ha ⁻¹ (K2)
Zinc (Zn)	Sin zinc (Zn1)	3.0 L ha ⁻¹ (Zn2)

Los tratamientos (T) evaluados fueron los siguientes:

T1 = N1 P1 K1 Zn1

T2 = N1 P1 K2 Zn2

T3 = N1 P2 K1 Zn2

T4 = N1 P2 K2 Zn1

T5 = N2 P1 K1 Zn2

T6 = N2 P1 K2 Zn1

T7 = N2 P2 K1 Zn1

T8 = N2 P2 K2 Zn2

T9 = Nitrofoska (12 – 12 - 7 – 2) 250 kg ha⁻¹

La distribución de los tratamientos se hizo al azar, sorteándolos dentro de cada bloque, quedando finalmente como se describe en el croquis (Figura 1).

↑N

T1	T3	T2	T7	T8	T9	T5	T4	T6
T7	T4	T1	T8	T5	T2	T6	T9	T3
T8	T9	T7	T4	T5	T6	T3	T1	T2
T3	T6	T9	T8	T2	T5	T1	T4	T7

Figura 1. Distribución de los tratamientos en campo del experimento: "Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas" (Ciclo O-I 1994-1995).

3.4. Preparación del Suelo.

Antes de la siembra, la primera labor de preparación fue el desvare de soca de maíz del ciclo anterior, la cual se realizó en septiembre de 1994. Posteriormente, con el fin de incorporar los residuos orgánicos se realizó un rastreo. En el mes de noviembre, se barbechó, se rastreó, se cruzó, y en el mes de diciembre se bordeó y se construyeron surcos melgueros y regaderas.

3.5. Establecimiento del Experimento.

El experimento se estableció el 17 de diciembre de 1994. Se inició con el trazo de la parcela experimental, sobre el terreno surcado delimitando las parcelas y calles con hilo de dos cabos. Posteriormente se hizo la selección y asignación de tratamientos para su aplicación.

3.6. Aplicación de Tratamientos.

Primeramente, en función de las dosis por hectárea de cada tratamiento, se hizo la conversión para obtener la cantidad de fertilizante que deberían llevar las parcelas experimentales, pesando la cantidad de fertilizante por surco y distribuyéndolo en forma manual, de acuerdo al croquis del experimento. La aplicación de los tratamientos se realizó el 17 de diciembre de 1994.

El fertilizante se depositó en el fondo del surco, posteriormente se realizó un contrabordeo para incorporarlo al suelo, donde finalmente quedó ubicado a una profundidad aproximada de 15 cm.

Para preparar los tratamientos, se utilizó sulfato de amonio como fuente de nitrógeno, super fosfato triple de calcio como fuente de fósforo, cloruro de potasio como fuente de potasio, y el zinc se aplicó en forma foliar en dosis de 3 L ha^{-1} , cuando las plantas tenían seis hojas utilizando quelatos de zinc de la compañía Cosmocel ®, además de la aplicación del fertilizante comercial Nitrofoska ® (Cuadro 1).

3.7. Siembra y Material Genético.

La siembra se realizó el 29 de enero de 1995, se llevó a cabo en surcos a tierra venida, es decir con un riego de presembrado, en forma mecánica, utilizando la sembradora hidrostática de plato de presión Max Emerge, a una distancia entre surcos de 92 cm y entre plantas de 15 cm, para obtener una densidad aproximada de 70,000 plantas ha^{-1} , rajando bordo y a una profundidad de 8 cm, depositando de 7 - 8 semillas por metro.

Se utilizó semilla híbrida de maíz PIONEER 3044, que es un maíz de grano blanco, que mostró buenos rendimientos en pruebas preliminares.

3.8. Riegos.

El paquete tecnológico para producir maíz de riego en el norte de Tamaulipas, generado por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), indica que el cultivo del maíz requiere de cuatro riegos; uno de presembrado y tres riegos de auxilio. El riego de presembrado 15 a 20 días antes de la siembra, el primer riego de auxilio de 40 a 45 días después de nacidas las plantas, el segundo riego de auxilio de 20 a 25 días después del primer riego de auxilio y el tercer riego de auxilio de 15 a 20 días después, programa que se siguió en el experimento. Los riegos se aplicaron utilizando el método de sifones, por lo que el control y distribución del agua fueron adecuados.

3.9. Labores de Cultivo.

En todo experimento se deben mantener todos los factores posibles de manera constante y variar solamente aquellos que están en estudio, es por eso que en todas las parcelas experimentales se realizaron tres labores de cultivo que fueron: tumba de bordo, y primero y segundo cultivo; asimismo, en el primer cultivo se aplicaron 80 unidades de nitrógeno, utilizando como fuente el amoníaco anhidro (NH_3).

3.10. Plagas y Enfermedades.

Durante el desarrollo del experimento, la presencia de plagas y enfermedades se mantuvo en bajos niveles, sin causar daños importantes al cultivo, por lo anterior no fue necesario utilizar control alguno.

3.11. Propiedades Físicas y Químicas del Suelo.

Con el fin de conocer las propiedades físicas y químicas del suelo, se realizó un muestreo a dos profundidades (0-30 cm y 30-60 cm) cuyo análisis se realizó en el Laboratorio de Suelos de la FAUANL y cuyos resultados se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Resultados del análisis de suelo del sitio experimental "Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas" (Ciclo O-I 1994-1995).

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% y 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
	0.90 mmhos cm ⁻¹	0.70 mmhos cm ⁻¹
Sales solubles	No salino	No salino

Los resultados del análisis del suelo muestran que tiene un pH alcalino, que pudiera limitar la disponibilidad de fósforo, hierro y zinc. La textura del suelo es migajón arenosa, muy favorable para el cultivo del maíz.

El contenido de materia orgánica es medianamente pobre y el de nitrógeno y fósforo pobre en los dos estratos estudiados, para potasio se tienen contenidos muy ricos en el estrato de 0-30 cm y rico en el de 30-60 cm.

3.12. Variables de Estudio.

Durante el desarrollo del experimento se analizaron diferentes variables divididas en: variables de estudio en la etapa vegetativa, variables de estudio en la etapa de floración y variables de estudio en la cosecha.

Se realizaron cuatro muestreos, dos en la etapa vegetativa, a los 55 y 71 días después de la siembra (dds), uno al momento de la floración 95 dds y el último al momento de la cosecha 145 dds.

3.12.1. Variables de estudio en la etapa vegetativa.

La etapa vegetativa se consideró desde la emergencia de las plantas hasta antes de la floración, durante este período se tomaron datos de diámetro del tallo y altura de la planta: diámetro 1, altura 1, diámetro 2 y altura 2 (a los 55 y a los 71 días después de la siembra, dds; respectivamente).

3.12.1.1. Diámetro de tallo.

Para evaluar el diámetro de tallo, se consideraron dentro de cada parcela nueve plantas previamente marcadas con cintas de colores, éstas plantas reunían requisitos de aleatoriedad, competencia completa y el estar dentro de la parcela útil.

Se le midió el diámetro menor del tallo de cada planta utilizando un vernier, la lectura se hizo aproximadamente cinco centímetros arriba de la superficie del suelo.

3.12.1.2. Altura de planta.

Para determinar la altura de planta se consideraron las plantas marcadas dentro de cada parcela y a cada una se le midió la altura utilizando una cinta métrica, la lectura se hizo desde la base del tallo hasta la máxima longitud de las hojas, recogiendo estas hacia arriba.

3.12.2. Variables de estudio en la etapa de floración.

Durante ésta etapa se midieron el diámetro de tallo (diámetro 3), la altura de planta (altura 3), el daño causado por gusano cogollero, el largo y ancho de hoja y el área foliar a los 95 días después de la siembra (dds).

3.12.2.1. Diámetro de tallo.

Para evaluar el diámetro de tallo, se consideró a las plantas marcadas dentro de cada parcela, se procedió a medir el diámetro menor de cada planta utilizando un vernier; la lectura se hizo aproximadamente cinco centímetros arriba de la superficie del suelo.

3.12.2.2. Altura de planta.

En la etapa de floración es cuando la planta alcanza su altura máxima; para determinar ésta variable se utilizaron las plantas marcadas, midiendo la altura en centímetros, desde la base del tallo a la base de la espiga utilizando un estadal.

3.12.2.3. Área foliar total

Para determinar el área foliar total se utilizaron las plantas marcadas dentro de cada parcela, en cada planta se identificó la hoja de la mazorca, a la cual se le midió el largo y el ancho en centímetros, finalmente el área foliar se obtuvo multiplicando el largo y el ancho por un factor de corrección (0.75) y un factor de conversión (9.3).

3.12.2.4. Daño por gusano cogollero.

Para determinar ésta variable se consideraron las nueve plantas marcadas en cada parcela, se revisó cada planta, anotando el número de hojas promedio que mostraban daño por gusano cogollero.

3.12.3. Variables que se estudiaron en la cosecha.

Al momento de la cosecha, 145 días después de la siembra, de las nueve plantas cosechadas en forma individual en cada parcela, se determinaron las siguientes mediciones: el peso de mazorca y el peso de olote utilizando una balanza granataria; la longitud de mazorca, el diámetro de mazorca y la longitud de mazorca sin llenado de grano, utilizando una cinta métrica; el número de hileras por mazorca, el número de granos por hilera, por conteo directo.

El número de mazorcas sin hongo y el número de mazorcas con hongo fueron determinados por conteo directo, de la parcela útil (19.2 m²), además el peso seco total de planta, rendimiento de grano e índice de cosecha.

3.12.3.1. Peso seco total de planta.

El peso seco total de planta, se determinó colocando las plantas marcadas en una estufa a 70°C por 72 horas y posteriormente promediando el peso en una báscula granataria.

3.12.3.2. Rendimiento de grano.

Para determinar el rendimiento de grano, se cosecharon los tres surcos centrales de cada parcela, eliminando un metro de cabecera. Las mazorcas recolectadas en cada parcela se pesaron en campo utilizando una báscula de reloj. Posteriormente a los datos obtenidos se les descontó el peso del olote y la humedad del grano. Finalmente se obtuvo el rendimiento en grano transformando los datos a rendimiento en kg ha^{-1} ajustado al 14% de humedad.

3.12.3.3. Índice de cosecha.

Con los datos de rendimiento de grano por planta y el peso seco total de planta, de las nueve plantas cosechadas individualmente, se obtuvo el índice de cosecha mediante la siguiente fórmula: $\text{I.C.} = \text{peso de grano} / \text{peso seco total de la planta}$.

3.13. Análisis Estadístico.

Al realizar experimentos con plantas, se sabe que estas se encuentran expuestas simultáneamente a muchos factores de crecimiento durante su vida; además, se sabe que la respuesta de un organismo a un solo factor puede variar al cambiar los niveles de los otros factores.

Gómez y Gómez (1983) consideraron que los experimentos simples presentan limitantes en el sentido de su estrechez, además, de que sus resultados son aplicables solamente al nivel particular en el cual los otros factores fueron mantenidos en el experimento.

La alternativa es el uso de los experimentos factoriales ya que en ellos se estudian simultáneamente dos o más factores y sus interacciones; Sin embargo, de acuerdo con Daniel (1999) y Martínez (1996), a medida que se incrementa el número de factores en un experimento factorial, aumenta el número de combinaciones de tratamientos por ensayar, y bajo estas condiciones, el hecho de alojar los tratamientos en bloques completos al azar, puede disminuir la eficiencia de las estimaciones, debido a la heterogeneidad del suelo.

Es por eso, que para este experimento se utilizó un arreglo de tratamientos Taguchi L8, considerando cuatro factores (N,P, K y Zn) y sus interacciones.

Este diseño se basa en la confusión de efectos, donde se pierde precisión en el estudio de las interacciones de alto grado, las cuales son difíciles de interpretar; sin embargo, esta pérdida se compensa con el incremento en precisión de los efectos principales (Padrón, 1996).

En este arreglo, los siete grados de libertad de los cuatro factores se descomponen en un grado de libertad, para cada efecto principal, interacciones de primero y segundo orden, como lo muestra el Cuadro 3.

Para el análisis de los datos se utilizó el paquete computacional SPSS y el paquete de Diseños Experimentales F.A.U.A.N.L. versión 2.5 (Olivares, 1994).

Cuadro 3. Efectos y grados de libertad (G. L.) en el diseño Taguchi L8.

EFFECTOS	G. L.
$N=P \times K \times Z_n$	1
$P=N \times K \times Z_n$	1
$K=N \times P \times Z_n$	1
$Z_n=N \times P \times K$	1
$N \times P=K \times Z_n$	1
$N \times K=P \times Z_n$	1
$P \times K=N \times Z$	1

Al estar confundidas entre sí las interacciones de primer orden, pudiera ser problema cuando dos interacciones resultaran con diferencia estadística. Para decidir cual de las dos fue la significativa, se analizaron los efectos principales de los factores involucrados en las interacciones, si los efectos principales no presentaban significancia, seguramente las interacciones tampoco, y así se decidió cual es la interacción significativa.

IV. RESULTADOS

4.1. Etapa Vegetativa.

Con el fin de analizar el comportamiento de las plantas bajo los diferentes tratamientos durante la etapa vegetativa, se analizaron las variables diámetro de tallo y altura de la planta en dos fechas de muestreo. Al realizar el análisis de varianza y posteriormente al descomponer los tratamientos en efectos principales y sus interacciones se obtuvieron los siguientes resultados.

4.1.1. Diámetro de tallo 1.

Para la variable diámetro de tallo 1, el análisis de varianza no mostró diferencias estadísticas entre los niveles de los factores (efectos principales) (Cuadro A1). En el cuadro 4 se presentan las medias de los efectos principales de cada factor.

Cuadro 4. Medias de la variable diámetro de tallo 1 por nivel y para cada factor de estudio en el experimento "Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas" Ciclo (O-I 1994-1995).

FACTOR	DIÁMETRO 1 (cm)
N1	0.62
N2	0.60
P1	0.60
P2	0.63
K1	0.60
K2	0.62
Zn1	0.61
Zn2	0.61
OTR. TRAT.	0.61
NITROFOSKA	0.61

4.1.2. Altura 1.

Los resultados del análisis de varianza para la variable altura 1, presentaron una diferencia altamente significativa ($p = 0.0067$) para el factor fósforo (Cuadro A1).

Al comparar los niveles de fósforo de 0 y 70 kg ha⁻¹ se observó una diferencia de 2.91 cm en la altura de la planta, donde el mayor valor se obtuvo de las plantas fertilizadas con 70 kg de fósforo por hectárea (Cuadro 5).

Cuadro 5. Medias de la variable altura 1 por nivel y para cada factor en estudio del experimento "Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas" (Ciclo O-I 1994-1995).

FACTOR	ALTURA 1 (cm)
N1	37.69 a ¹
N2	36.59 a
P1	35.68 b
P2	38.59 a
K1	36.30 a
K2	37.97 a
Zn1	37.05 a
Zn2	37.22 a
OTR. TRAT.	37.14 a
NITROFOSKA	37.96 a

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

4.1.3. Diámetro de tallo 2.

Para la variable diámetro de tallo 2, se observó una diferencia estadística significativa ($p=0.022$) para el factor fósforo (Cuadro A1).

Al comparar los niveles de fósforo de 0 y 70 kg ha⁻¹ se observó una diferencia de 0.1 cm en el diámetro del tallo, favoreciendo al nivel que incluye la aplicación de 70 kg de fósforo por hectárea (Cuadro 6).

Cuadro 6. Medias de la variable diámetro de tallo 2 por nivel y para cada factor en estudio del experimento "Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas" (Ciclo O-I 1994-1995).

FACTOR	DIÁMETRO 2 (cm)
N1	1.57 a ¹
N2	1.57 a
P1	1.52 b
P2	1.62 a
K1	1.57 a
K2	1.57 a
Zn1	1.55 a
Zn2	1.59 a
OTR. TRAT.	1.57 a
NITROFOSKA	1.63 a

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

4.1.4. Altura 2.

Los resultados del análisis de varianza para la variable altura 2, mostraron una diferencia altamente significativa ($p = 0.0084$) para el factor fósforo (Cuadro A1).

Al comparar los niveles de fósforo de 0 y 70 kg ha⁻¹ se observó una diferencia de 5.96 cm en altura de planta, donde el mayor promedio se logró con plantas fertilizadas con 70 kg de fósforo por hectárea (Cuadro 7).

Cuadro 7. Medias de la variable altura 2 por nivel y para cada factor en estudio del experimento "Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas" (Ciclo O-I 1994 - 1995).

FACTOR	ALTURA 2 (cm)
N1	104.92 a ¹
N2	103.90 a
P1	101.43 b
P2	107.39 a
K1	104.75 a
K2	104.07 a
Zn1	104.20 a
Zn2	104.60 a
OTR. TRAT.	104.41 a
NITROFOSKA	107.75 a

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

4.2. Etapa de Floración.

Durante esta etapa se analizaron las variables diámetro de tallo (diámetro 3), altura de planta (altura 3), daño causado por gusano cogollero, largo y ancho de la hoja de la mazorca y área foliar total. Al realizar el análisis de varianza y posteriormente al descomponer los tratamientos en efectos principales y sus interacciones se obtuvieron los siguientes resultados.

4.2.1. Diámetro de tallo 3.

Para la variable diámetro de tallo 3, en los resultados del análisis de varianza no se detectó diferencia estadística al descomponer los tratamientos en efectos principales y sus interacciones (Cuadro A2). En el Cuadro 8 se presentan las medias de los efectos principales de cada factor.

Cuadro 8. Medias de la variable diámetro de tallo 3 por nivel y para cada factor en estudio del experimento "Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas" (Ciclo O-I 1994-1995).

FACTOR	DIÁMETRO 3 (cm)
N1	1.72
N2	1.75
P1	1.73
P2	1.74
K1	1.74
K2	1.72
Zn1	1.72
Zn2	1.74
OTR. TRAT.	1.73
NITROFOSKA	1.74

4.2.2. Altura 3.

Para la variable altura 3, en los resultados del análisis de varianza no se observó diferencia estadística al descomponer los tratamientos en efectos principales y sus interacciones (Cuadro A2). En el Cuadro 9 se presentan las medias de los efectos principales de los factores estudiados.

Cuadro 9. Medias de la variable altura 3, por nivel y para cada factor en estudio del experimento "Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas" (Ciclo O-I 1994-1995).

FACTOR	ALTURA 3 (cm)
N1	129.62
N2	128.35
P1	128.96
P2	129.28
K1	129.63
K2	128.34
Zn1	129.01
Zn2	128.06
OTR. TRAT.	128.99
NITROFOSKA	130.61

4.2.3. Daño por gusano cogollero.

Al descomponer los tratamientos en efectos principales y sus interacciones para la variable daño por cogollero, los resultados del análisis de varianza, mostraron una diferencia estadística en todos los casos significativa para los factores fósforo ($p = 0.0434$), potasio ($p = 0.0144$), zinc ($p = 0.0362$), y para las interacciones $N \times K$ y/o $P \times Zn$ y $P \times K$ y/o $N \times Zn$ (Cuadro A2).

Al comparar los niveles de fósforo de 0 y 70 kg ha⁻¹ se observó una diferencia de 0.69 hojas dañadas, donde el menor número de hojas dañadas se obtuvo con el nivel que incluye la aplicación de 70 kg de fósforo por hectárea (Cuadro 10).

Al comparar los niveles de potasio de 0 y 80 kg ha⁻¹ se encontró una diferencia de 0.9 hojas dañadas, donde el menor número de hojas dañadas se obtuvo con el nivel que incluye la aplicación de 80 kg ha⁻¹ de potasio (Cuadro 10).

Al comparar los niveles de zinc de 0 y 3 litros ha⁻¹ se observó una diferencia de 0.71 hojas dañadas, donde el menor número promedio de hojas dañadas se obtuvo con el nivel que incluye la fertilización con 3 litros ha⁻¹ de quelatos de zinc (Cuadro 10).

Cuadro 10. Medias de la variable daño por cogollero por nivel y para cada factor en estudio del experimento "Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas" (Ciclo O-I 1994-1995).

FACTOR	DAÑO POR COGOLLERO (num. de hojas)
N1	2.58 a ¹
N2	2.59 a
P1	2.93 a
P2	2.24 b
K1	3.01 a
K2	2.16 b
Zn1	2.94 a
Zn2	2.23 b
OTR. TRAT.	2.59 a
NITROFOSKA	2.56 a

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

En este estudio las interacciones NxK y PxZn, estuvieron confundidas, al aparecer con diferencia significativa en el análisis de varianza ($p=0.0434$) y observar que hubo diferencia estadística en efectos principales tanto para el fósforo como para el zinc, se concluye que la interacción significativa es la PxZn.

Al analizar la interacción PxZn, se observó que independientemente del nivel de fósforo, con la aplicación de zinc se disminuye el número de hojas dañadas por

cogollero, reduciéndose el efecto cuando ambos elementos se encuentran en sus niveles más altos, para concluir que la mejor combinación fue P2 con Zn2 como se presenta en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Medias de la variable daño por cogollero, en cuanto al número de hojas dañadas en la etapa de floración para los factores fósforo y zinc en el experimento "Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas" (Ciclo O-I 1994-1995).

	Zn1	Zn2	MEDIA
P1	2.67 ^{ab}	2.50 ^{ab}	2.58
P2	3.36 ^a	1.82 ^b	2.59
MEDIA	3.01	2.16	

Letras iguales en las media indican que no hay diferencia ($\alpha=0.05$). DMS = 1.42

Asimismo, las interacciones PxK y NxZn, estuvieron confundidas, de modo que al aparecer con diferencia significativa ($p=0.0276$) se determinó que la diferencia significativa fue para la interacción PxK, ya que en el Cuadro 10 se observan diferencias estadísticas de los efectos principales precisamente para fósforo y potasio.

Los resultados del Cuadro 12, mostraron que el mayor daño por cogollero se observó en los niveles más bajos de fósforo y potasio, reduciéndose al incrementarse los niveles de ellos, lográndose el menor daño con los niveles más altos de estos elemetos.

Cuadro 12. Medias de la variable daño por cogollero, en cuanto al número de hojas dañadas en la etapa de floración para los factores fósforo y potasio del experimento "Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas" (Ciclo O-I 1994-1995).

	K1	K2	MEDIA
P1	3.74 ^a	2.12 ^b	2.93
P2	2.29 ^b	2.19 ^b	2.24
MEDIA	3.01	2.15	

Letras iguales en las media indican que no hay diferencia ($\alpha=0.05$). DMS = 1.42

4.2.4. Largo de hoja.

Los resultados del análisis de varianza para la variable largo de hoja, indicaron que no hubo diferencia estadística al descomponer los tratamientos en efectos principales y sus interacciones (Cuadro A3). En el Cuadro 13 se presentan las medias de los efectos principales de cada factor.

Cuadro 13. Medias de la variable largo de hoja por nivel y para cada factor en estudio del experimento "Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas" (Ciclo O-I 1994-1995).

FACTOR	LARGO DE HOJA (cm)
N1	72.14
N2	72.80
P1	71.66
P2	73.27
K1	72.74
K2	72.19
Zn1	72.39
Zn2	72.54
OTR. TRAT.	72.47
NITROFOSKA	73.53

4.2.5. Ancho de hoja.

Los resultados del análisis de varianza para la variable ancho de hoja no mostraron diferencia estadística al descomponer los tratamientos en efectos principales y sus interacciones (Cuadro A3). En el Cuadro 14 se presentan las medias de los efectos principales de cada factor.

Cuadro 14. Medias de la variable ancho de hoja por nivel y por factor en estudio del experimento "Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas" (Ciclo O-I 1994-1995).

FACTOR	ANCHO DE HOJA (cm)
N1	8.14
N2	8.18
P1	8.20
P2	8.12
K1	8.24
K2	8.08
Zn1	8.10
Zn2	8.22
OTR. TRAT.	8.16
NITROFOSKA	8.26

4.2.6. Area foliar total.

Para la variable área foliar total, no se detectó diferencia estadística al descomponer los tratamientos en efectos principales y sus interacciones (Cuadro A3), es importante recordar que para determinar el área foliar total, en cada planta se identificó la hoja de la mazorca, a la cual se le midió el largo y el ancho en centímetros, finalmente el área foliar se obtuvo multiplicando el largo y el ancho por un factor de corrección (0.75) y un factor de conversión (9.3), es por esto que no se observan diferencias, aún cuando el daño por cogollero fue muy marcado en algunos tratamientos. En el Cuadro 15 se presentan las medias de los efectos principales de los factores.

Cuadro 15. Medias de la variable área foliar total por nivel y para cada factor en estudio del experimento "Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas" (Ciclo O-I 1994-1995).

FACTOR	AREA FOLIAR TOTAL (cm ²)
N1	3,837.14
N2	3,894.57
P1	3,842.03
P2	3,889.68
K1	3,917.75
K2	3,813.96
Zn1	3,834.71
Zn2	3,897.00
OTR. TRAT.	3,865.86
NITROFOSKA	3,968.41

4.3. Etapa de Cosecha.

Durante esta etapa se analizaron las siguientes variables: longitud de mazorca, diámetro de mazorca, peso de mazorca, longitud sin llenado de grano, número de hileras de mazorca, número de granos por hilera, peso de olote, mazorcas con hongo, mazorcas sin hongo, peso seco total de planta, rendimiento de grano e índice de cosecha. Al descomponer los tratamientos en efectos principales y sus interacciones se obtuvieron los siguientes resultados.

4.3.1. Longitud de mazorca.

Para la variable longitud de mazorca, no se detectó diferencia estadística al descomponer los tratamientos en efectos principales y sus interacciones (Cuadro A4). En el Cuadro 16 se presentan las medias de los efectos principales de cada factor.

Cuadro 16. Medias de la variable longitud de mazorca por nivel y para cada factor en estudio del Experimento "Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas" (Ciclo O-I 1994-1995).

FACTOR	LONGITUD DE MAZORCA (cm)
N1	13.16
N2	13.49
P1	13.32
P2	13.33
K1	13.31
K2	13.33
Zn1	13.33
Zn2	13.32
OTR. TRAT.	13.32
NITROFOSKA	13.99

4.3.2. Diámetro de mazorca.

Los resultados del análisis de varianza para la variable diámetro de mazorca, no mostraron diferencia estadística al descomponer los tratamientos en efectos principales y sus interacciones (Cuadro A4). En el Cuadro 17 se presentan las medias de los efectos principales de cada factor.

Cuadro 17. Medias de la variable diámetro de mazorca por nivel y para cada factor en estudio del experimento "Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas" (Ciclo O-I 1994-1995).

FACTOR	DIÁMETRO DE MAZORCA (cm)
N1	4.27
N2	4.33
P1	4.23
P2	4.38
K1	4.26
K2	4.34
Zn1	4.29
Zn2	4.32
OTR. TRAT.	4.30
NITROFOSKA	4.53

4.3.3. Peso de mazorca.

En el análisis de varianza, al descomponer los tratamientos en efectos principales y sus interacciones para la variable peso de mazorca (Cuadro A4), se observó una diferencia altamente significativa ($p = 0.0012$) para la comparación de Nitrofoska contra los otros tratamientos

Al comparar el fertilizante Nitrofoska con los otros tratamientos se encontró una diferencia a favor de éste de 29.16 g en el peso de la mazorca (Cuadro 18).

Cuadro 18. Medias de la variable peso de mazorca por nivel y para cada factor en estudio del experimento "Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas" (Ciclo O-I 1994-1995).

FACTOR	PESO DE MAZORCA (gr)
N1	115.97 a ¹
N2	118.68 a
P1	114.11 a
P2	120.54 a
K1	118.03 a
K2	116.62 a
Zn1	115.83 a
Zn2	118.82 a
OTR. TRAT.	117.33 b
NITROFOSKA	146.49 a

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

4.3.4. Longitud sin llenado de grano.

Los resultados del análisis de varianza para la variable longitud sin llenado de grano, no mostraron diferencia estadística al descomponer los tratamientos en efectos principales y sus interacciones (Cuadro A5). En el Cuadro 19 se presentan las medias de los efectos principales de cada factor.

Cuadro 19. Medias de la variable longitud sin llenado de grano por nivel y para cada factor en estudio del experimento "Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas" (Ciclo O-I 1994-1995).

FACTOR	LONG. SIN LLENADO DE GRANO (cm)
N1	1.94
N2	1.99
P1	1.98
P2	1.94
K1	1.89
K2	2.03
Zn1	1.91
Zn2	2.01
OTR. TRAT.	1.96
NITROFOSKA	2.01

4.3.5. Número de hileras por mazorca.

Para la variable número de hileras, los resultados del análisis de varianza no detectaron diferencia estadística al descomponer los tratamientos en efectos principales y sus interacciones. (Cuadro A5). En el Cuadro 20 se presentan las medias de los efectos principales de cada factor.

Cuadro 20. Medias de la variable número de hileras por mazorca por nivel y para cada factor en estudio del experimento "Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas" (Ciclo O-I 1994 - 1995).

FACTOR	NUM. DE HILERAS
N1	13.05
N2	12.90
P1	12.66
P2	13.29
K1	12.58
K2	13.37
Zn1	13.10
Zn2	12.85
OTR. TRAT.	12.98
NITROFOSKA	13.38

4.3.6. Granos por hilera.

Para la variable granos por hilera, no se observó diferencia estadística al descomponer los tratamientos en efectos principales y sus interacciones (Cuadro A5). En el Cuadro 21 se presentan las medias de los efectos principales de cada factor.

Cuadro 21. Medias de la variable granos por hilera por nivel y para cada factor en estudio del experimento "Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas" (Ciclo O-I 1994-1995).

FACTOR	GRANOS POR HILERA
N1	27.90
N2	29.56
P1	28.54
P2	28.92
K1	28.84
K2	28.63
Zn1	28.26
Zn2	29.21
OTR. TRAT.	28.73
NITROFOSKA	29.28

4.3.7. Peso de olote.

Al descomponer los tratamientos en efectos principales y sus interacciones, en los resultados del análisis de varianza para la variable peso de olote no se observó diferencia estadística (Cuadro A6). En el Cuadro 22 se presentan las medias de los efectos principales de cada factor.

Cuadro 22. Medias de la variable peso de olote, por nivel y para cada factor en estudio del experimento "Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc de maíz en suelos del norte de Tamaulipas" (Ciclo O-I 1994-1995).

FACTOR	PESO DE OLOTE (g)
N1	20.43
N2	20.14
P1	19.89
P2	20.67
K1	20.57
K2	19.99
Zn1	20.27
Zn2	20.28
OTR. TRAT.	20.28
NITROFOSKA	22.25

4.3.8. Mazorcas con hongo.

Para la variable mazorcas con hongo, los resultados del análisis de varianza mostraron una diferencia altamente significativa para el factor fósforo ($p = 0.0032$) y para las interacciones $P \times K$ y/o $N \times Zn$ ($p = 0.0023$) al descomponer los tratamientos en efectos principales y sus interacciones (Cuadro A6).

Al comparar los niveles de fósforo de 0 y 70 kg ha⁻¹ se encontró una diferencia de 19.38 mazorcas dañadas por hongos, donde el menor número de mazorcas dañadas se obtuvo con la aplicación de 70 kg ha⁻¹ de P (Cuadro 23).

Cuadro 23. Medias de la variable mazorcas con hongo, por nivel y para cada factor en estudio del experimento "Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas" (Ciclo O-I 1994-1995).

FACTOR	MAZORCAS CON HONGO
N1	64.88 a ¹
N2	66.63 a
P1	75.44 a
P2	56.06 b
K1	63.56 a
K2	67.94 a
Zn1	64.87 a
Zn2	66.62 a
OTR. TRAT.	65.75 a
NITROFOSKA	65.25 a

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

En este estudio la interacción PxK estuvo confundida con la interacción NxZn, al aparecer con diferencia altamente significativa en el análisis de varianza ($p = 0.0032$), y observar que solamente se detectó diferencia para el fósforo (Cuadro 23), se concluye que la interacción significativa fue la PxK, ya que esta interacción involucró este elemento.

En el Cuadro 24 se observa que el número de mazorcas con hongos disminuyó en las parcelas donde se aplicó fósforo; sin embargo, este efecto fue mas marcado en la parcelas sin potasio, por lo tanto, la mejor combinación fue K1P2.

Cuadro 24. Medias de la variable mazorcas con hongo al momento de la cosecha para los factores fósforo y potasio del experimento "Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas" (Ciclo O-I 1994-1995).

	K1	K2	MEDIA
P1	78.62 ^a	72.25 ^a	75.43
P2	48.50 ^b	63.62 ^a	56.06
MEDIA	63.56	67.9	

Letras iguales en las medias indican que no hay diferencia ($\alpha=0.05$). DMS = 15.4

4.3.9. Mazorcas sin hongo.

Los resultados del análisis de varianza para la variable mazorcas sin hongo, indicaron que hubo una diferencia altamente significativa para el factor fósforo, ($p=0.0001$) y para las interacciones PxK o NxZn ($p=0.0075$) al descomponer los tratamientos en efectos principales y sus interacciones (Cuadro A6).

Al comparar los niveles de fósforo de 0 y 70 kg ha⁻¹ se encontró una diferencia de 19.37 mazorcas sin hongo, donde el mayor número promedio de mazorcas sin hongo lo obtuvo el nivel de 70 kg ha⁻¹ de P (Cuadro 25).

Cuadro 25. Medias de la variable mazorcas sin hongo por nivel y para cada factor en estudio del experimento "Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas" (Ciclo O-I 1994-1995).

FACTOR	MAZORCAS SIN HONGO
N1	66.75 a ¹
N2	61.88 a
P1	54.63 b
P2	74.00 a
K1	66.75 a
K2	61.88 a
Zn1	64.25 a
Zn2	64.37 a
OTR. TRAT.	64.31 a
NITROFOSKA	67.00 a

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

En este estudio las interacciones PxK y NxZn estuvieron confundidas; al observar el análisis de varianza (Cuadro A6) se mostró diferencia altamente significativa ($p = 0.0075$), y que solamente se observó diferencia estadística para el fósforo (Cuadro 25), se concluye que la interacción significativa fue la PxK, ya que esta interacción involucra a dicho elemento.

Se observó que independientemente del nivel de potasio, la cantidad de mazorcas sin hongo aumentó conforme aumentó la cantidad de fósforo, este efecto es mas marcado en las parcelas sin potasio (Cuadro 26).

Cuadro 26. Medias de la variable mazorcas sin bongo al momento de la cosecha para los factores fósforo y potasio en el experimento "Respuesta del maíz a la fertilización con nitrógeno, fósforo potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas" (Ciclo O-I 1994-1995).

	K1	K2	MEDIA
P1	51.62 ^b	57.62 ^b	54.62
P2	81.87 ^a	66.12 ^b	73.99
MEDIA	66.74	61.87	

Letras iguales en las medias indican que no hay diferencia ($\alpha=0.05$). DMS = 12.76

4.3.10. Peso seco total de planta.

Para la variable peso seco total de planta, no se observó diferencia estadística al descomponer los tratamientos en efectos principales y sus interacciones, al realizar el análisis de varianza (Cuadro A7). En el Cuadro 27 se presentan las medias de los efectos principales de cada factor.

Cuadro 27. Medias de la variable peso seco de planta por nivel y para cada factor en estudio del experimento "Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas" (Ciclo O-I 1994-1995).

FACTOR	PESO SECO DE PLANTA (g)
N1	101.97
N2	101.94
P1	98.27
P2	105.64
K1	102.19
K2	101.72
Zn1	99.68
Zn2	99.83
OTR. TRAT.	101.41
NITROFOSKA	96.34

4.3.11. Rendimiento de maíz en kg ha⁻¹

Los resultados del análisis de varianza para la variable, rendimiento de maíz indicaron una diferencia altamente significativa para los factores fósforo ($p = 0.0005$) y nitrofoska ($p = 0.01$) al descomponer los tratamientos en efectos principales y sus interacciones (Cuadro A7).

Al comparar los niveles de fósforo de 0 y 70 kg ha⁻¹ se observó una diferencia de 856.64 kg ha⁻¹ de maíz, donde el mayor rendimiento correspondió al nivel que incluyó la fertilización con fósforo (Cuadro 28).

Al comparar el fertilizante comercial Nitrofoska contra el promedio de los demás tratamientos, se observó una diferencia de 276.61 kg ha⁻¹ de maíz a favor del Nitrofoska (Cuadro 28).

Cuadro 28. Medias de la variable rendimiento en kg ha⁻¹ por nivel y para cada factor en estudio del experimento "Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas" (Ciclo O-I 1994-1995).

FACTOR	RENDIMIENTO (kg ha ⁻¹)
N1	6,116.46 a ¹
N2	6,075.01 a
P1	5,688.14 b
P2	6,544.78 a
K1	6,122.15 a
K2	6,110.77 a
Zn1	6,198.08 a
Zn2	6,034.84 a
OTR. TRAT.	6,111.28 b
NITROFOSKA	6,378.89 a

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

4.3.12. Índice de cosecha.

Los resultados del análisis de varianza para la variable índice de cosecha, mostraron una diferencia altamente significativa ($p = 0.0041$) para la comparación nitrofoska contra los otros tratamientos, al descomponer los tratamientos en efectos principales y sus interacciones (Cuadro A7).

Al comparar el Nitrofoska con el resto de los tratamientos se observó una diferencia a su favor de 0.06 en el valor del índice de cosecha (Cuadro 29).

Cuadro 29. Medias de la variable índice de cosecha por nivel y para cada factor en estudio del experimento "Respuesta del maíz (*Zea mays* L) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas" (Ciclo O-I 1994-1995).

FACTOR	INDICE DE COSECHA
N1	0.35 a ¹
N2	0.36 a
P1	0.35 a
P2	0.35 a
K1	0.35 a
K2	0.35 a
Zn1	0.35 a
Zn2	0.35 a
OTR. TRAT.	0.35 b
NITROFOSKA	0.41 a

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

V. DISCUSION

5.1. Efecto de la fertilización con nitrógeno en presiembra.

En el presente estudio no hubo respuesta a la aplicación del nitrógeno en presiembra para ninguna de las 22 variables analizadas, aún y cuando en estudios previos en el mismo suelo, Sánchez (1995) encontró efectos significativos en el rendimiento con la aplicación de nitrógeno en presiembra, por lo que los resultados encontrados en este trabajo pudieran deberse a alguna de las siguientes causas:

1. No hubo respuesta a la aplicación del nitrógeno debido a que una parte del fertilizante se perdió por lixiviación en el riego de asiento. Este fenómeno es debido a que los coloides son los responsables de la reactividad química del suelo, y que cada coloide (arcilloso u orgánico) tiene carga eléctrica negativa (-); dado que todo el nitrógeno que proviene de fuentes orgánicas o inorgánicas es convertido eventualmente en nitrato (NO_3^-) y este tiene carga negativa igual que los coloides del suelo; por lo tanto el nitrato no es retenido en el suelo y se mantiene como ion libre que puede ser fácilmente lixiviado través del perfil de algunos suelos y bajo ciertas condiciones de humedad (Brady, 1990).

2. Menos probable pero posible es que las condiciones imperantes durante el desarrollo del cultivo como: 1) cantidades altas de residuos combinados con bajos suministros de oxígeno y, aumento en las temperaturas en el suelo, pudieron haber favorecido las pérdidas de nitrógeno por denitrificación (Havlin *et al.*, 1999).

3. La semilla pudo haber quedado muy cerca de la banda del fertilizante, provocando toxicidad a la plántula.

2.2. Efecto de la fertilización con fósforo.

En relación al fósforo se encontró respuesta favorable durante la etapa vegetativa, altamente significativa para las variables diámetro de tallo 1 y altura 2, y diferencia significativa para la variable diámetro de tallo 2; resultados fundamentados ya que el fósforo forma parte de las moléculas de ácido ribonucleico (RNA) y ácido desoxirribonucleico (DNA) implicadas en la división celular (Mitosis), función que implica crecimiento en seres vivos.

Además, el fósforo participa en la fotosíntesis y la respiración de las plantas. Durante la fotosíntesis, la plantas generan tejido a través de la formación de glucosa ($C_6H_{12}O_6$), es decir produce crecimiento; en la respiración, aún y cuando consume tejido y/o azúcares es un función vital involucrada en la generación de compuestos importantes para el metabolismo de las plantas (Tanaka y Yamaguchi, 1981 y Stoskopf, 1981).

Finalmente, el fósforo está involucrado en el almacenamiento y transferencia de energía de las plantas debido a su presencia en las moléculas de difosfato de adenosina (ADP) y trifosfato de adenosina (ATP) (Salisbury y Ross, 1994).

Al momento de la floración solamente se encontró respuesta a la variable daño por cogollero; las plantas fertilizadas con fósforo presentaron menos daño por esta plaga, la explicación a esto de acuerdo con Fageria *et al.*, (1997) es que los elementos minerales están involucrados en todos los mecanismos de defensa de las plantas contra plagas y enfermedades. Estos resultados coinciden con los reportados por Grana *et al.*, (1996) en donde encontraron relación entre las aplicaciones de fósforo en el cultivo de maíz y la incidencia de gusano cogollero.

Al momento de la cosecha se encontró respuesta para las variables mazorcas con hongo y mazorcas sin hongo, con una diferencia altamente significativa, resultados que coinciden con investigaciones de campo hechas en Illinois donde la fertilización con

fósforo redujo el daño por enfermedades causadas por algunos hongos (Fageria *et al.*, 1997).

Asimismo, se encontró respuesta en el rendimiento con una diferencia estadística altamente significativa, desde el punto de vista económico, la aplicación de 70 kg ha⁻¹ de P se justifica, debido a que el costo del fertilizante y su aplicación fue de \$336.00 por hectárea, y considerando un incremento en rendimiento de 856.64 kg ha⁻¹ a un precio de \$1.20 el kg de maíz, se tuvo una ganancia neta de \$692.00 por hectárea.

5.3. Efecto de la fertilización con potasio.

En cuanto a la fertilización con potasio, se ha mencionado que los suelos del norte de Tamaulipas son ricos en este nutrimento (PIFSV, 1985) situación corroborada ya que en el análisis de suelos se reportaron cantidades altas de este elemento (Cuadro 2). Sin embargo, en un experimento previo se demostró que hay respuesta a la aplicación de potasio.

Sánchez (1995) encontró diferencia significativa para las variables 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 el potasio.

En el presente estudio, solamente se encontró diferencia significativa para la variable daño por cogollero, en base a que se ha demostrado que el potasio refuerza la epidermis de la célula permitiendo de esta manera tallos y hojas fuertes que resisten el ataque de patógenos y plagas, cutículas mas gruesas en los cereales que protegen contra el ataque de hongos y otras infecciones (Guerrero, 1996).

En relación a las demás variables estudiadas, se observó, al analizar los valores numéricos, que en mas de la mitad de las variables hubo valores mas favorables en la no

aplicación de potasio, incluyendo rendimiento, lo que indica que en el suelo existían cantidades adecuadas del elemento.

5.4. Efecto de la fertilización con Zinc.

Al analizar las 22 variables que incluye este estudio, solamente se encontró respuesta a la aplicación de zinc, en el caso de daño por gusano cogollero, es decir las plantas fertilizadas con zinc presentaron menor daño por esta plaga que las plantas no fertilizadas.

En relación al efecto del zinc sobre las plagas del maíz, Fageria *et al.*, (1998) indicaron que la deficiencia de zinc, inhibe la síntesis de proteínas y produce altas concentraciones de N no protéico, incluyendo aminoácidos, y que tales acumulaciones pueden favorecer la invasión de heterótrofos.

Además, Barbosa *et al.*, (1997) encontraron que la aplicación de 5 kg ha⁻¹ de Zn como sulfato de zinc, logró reducir el crecimiento y peso de larvas y pupas de gusano cogollero del maíz (*Spodoptera frugiperda*), esto explica por que al analizar las 22 variables que incluye este estudio, se encontró respuesta en el daño por gusano cogollero.

5.5. Efecto de la fertilización con nitrofoska.

Al analizar los resultados para las 22 variables estudiadas, en relación al nitrofoska se observó diferencia estadística para las variables peso de mazorca, y rendimiento de maíz en kg ha⁻¹ en comparación con el promedio de los demás tratamientos.

5.6. Efecto de las Interacciones.

El balance nutricional juega un papel importante en la determinación de la resistencia o susceptibilidad de las plantas a plagas y enfermedades. Los elementos minerales están directamente involucrados con todos los mecanismos de defensa de la planta, componentes de las células, sustratos, enzimas y conductores eléctricos o como activadores, inhibidores y reguladores del metabolismo (Huber 1980, citado por Fageria *et al.*, 1997).

Los efectos de los nutrimentos en las enfermedades pueden ser atribuidos a: 1) efectos en el crecimiento de la planta que puede influir en el microclima en un cultivo y por lo tanto afectar la infección y esporulación del patógeno, 2) efectos en las paredes celulares y tejidos, así como en la composición bioquímica del hospedero, 3) la tasa de crecimiento del hospedero que lo posibilita para el escape a la infección en el estado mas susceptible, 4) Efectos en el patógeno a través de alteraciones en el ambiente suelo (Colhoum 1973, citado por Fageria *et al.*, 1997).

En este trabajo se encontró respuesta de algunas interacciones a plagas y enfermedades, es decir ciertas combinaciones de elementos tuvieron un efecto sinérgico al reducir los daños causados por patógenos.

En relación a la variable daño por gusano cogollero, las interacciones PxZn y PxK resultaron significativas, esto significa que el efecto conjunto del fósforo y zinc, así como el fósforo y potasio le dieron una mayor resistencia contra esta plaga.

Al analizar la interacción PxZn (Cuadro 10), se observó que al pasar del nivel 1 al 2 de fósforo, en presencia del Zinc, no hubo diferencia en cuanto al daño por cogollero, mientras que al pasar del nivel 1 al 2 de zinc, si hubo diferencia, esto indicó que el elemento que mas favoreció esta interacción fue el zinc, coincidiendo con los resultados presentados por Fageria *et al.* (1997) y Barbosa *et al.* (1989).

En la interacción PxK (Cuadro 11), al analizar los promedios de cada elemento se observó que tanto el fósforo como el potasio contribuyen a reducir el daño por gusano cogollero, resultados que coinciden con el estudio desarrollado por Rossi *et al.*, (1987). Estos autores evaluaron el efecto de la fertilización combinada en algunos aspectos de la biología del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), observaron que el desarrollo de las larvas fue mayor en plantas no fertilizadas y menor en plantas fertilizadas con NPK.

Para las variables número de mazorcas con hongo y número de mazorcas sin hongo, resultó altamente significativa la interacción PxK, esto indica que el efecto conjunto del fósforo y el potasio les proporciona a las plantas mayor resistencia contra enfermedades, donde el elemento que más favoreció esta interacción fue el fósforo, ya que al pasar del nivel 1 al 2 de fósforo, se observaron efectos favorables para esta variable (Cuadros 24 y 26).

5.7. Análisis estadístico.

En función de los resultados de este estudio se concluye que el arreglo Taguchi L8, fue eficiente para detectar diferencias estadísticas en los efectos principales y sus interacciones, reduciendo el costo y el trabajo a la mitad por lo que se recomienda ampliamente en trabajos de investigación agropecuaria.

VI. CONCLUSIONES

1. La fertilización nitrogenada en presiembra, utilizando 50 kg ha^{-1} , no tuvo efecto en ninguna de las 22 variables analizadas, por lo tanto se rechazó la hipótesis planteada para el nitrógeno.
2. Con la aplicación de 70 kg ha^{-1} de P durante la etapa vegetativa se observaron diferencias altamente significativas para las variables alturas 1 y 2, y significativas para la variable diámetro de tallo 2, en la etapa de floración diferencia significativa para la variable daño por cogollero, y al momento de la cosecha diferencias altamente significativas para las variables mazorcas con hongo, mazorcas sin hongo y rendimiento de maíz. El uso del fósforo aumentó el rendimiento en $856.64 \text{ kg ha}^{-1}$, con una ganancia neta de \$692 por hectárea. Por lo tanto se aceptó la hipótesis planteada para el fósforo.
3. La hipótesis planteada para potasio se rechazó ya que la fertilización con 80 kg ha^{-1} de K, solamente tuvo efectos en la variable daño por cogollero, con una diferencia estadística significativa.
4. La hipótesis planteada para la aplicación de zinc, se rechazó, dado que la fertilización con 3 L ha^{-1} de zinc, solamente tuvo efecto en la variable daño por cogollero presentando una diferencia estadística significativa.
5. En el presente trabajo se encontró diferencia estadística para las interacciones PxZn y PxK para la variable daño por cogollero y para las interacciones PxK para las variables número de mazorcas con y sin hongos, por lo cual se aceptó la hipótesis planteada para las interacciones.

VII. BIBLIOGRAFIA

- Adriaanse, F. G., and J. J. Human. 1992. A nitrogen response comparison between semiprolific and non-prolific maize hibrids with regard to grain yield and plant nitrogen concentrations. *Field Crops Research*. (30) 53-61.
- Adriaanse, F. G., and J. J. Human. 1993. Effect of time of application and nitrate ammonium ratio on maize grain yield, grain N concentration and soil mineral N concentration in a semiarid regions. Elsevier Science Publishers. B. V. Amsterdam.
- Aldrich, S. R. y E. R. Leng. 1974. *Producción Moderna del Maíz*. Ed. Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. 307p.
- Barbosa, L. J. , C. E. Rossi, M. H. Calafiori and N.T. Teixeira. 1989. Effect of zinc in maize (*Zea mays* L) on *Spodoptera frugiperda*. *Ecosistema*. No.14: 142 –149.
- Bidwel, R. G. S. 1987. *Fisiología Vegetal*. Primera edición en español. AGT. Editor. México. 784p.
- Brady, N. C. 1990. *The Nature and Properties of Soils*. M^c Millan Publishing Co. Inc. 8^a Edición. New York, E. U. A. 639p.
- 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 Sci*. 33: 112-117.
- Cao, Y. P., Lin C. L. and X. R. Wang. 1995. Phenotypic difference in Phosphorus utilization by two maize genotypes. *Acta – Agriculturae – Universitatis – Pekinensis*. 21: 111 – 116.

- Carsky, R. J. and W. S. Reid. 1990. Response of corn to zinc fertilization. J. Prod. Agric. Vol. 3. No. 4: 502-506.
- Cooke, G. W. 1979. Fertilizantes y sus Usos. Octava Impresión. México. 180p.
- Daniel, W. W. 1999. Bioestadística. Tercera Edición. Editorial LIMUSA. México. pp 385 – 387.
- Eghball, B., and J. W. Maranville. 1993. Root development and nitrogen influx of corn genotypes grown under combined drought and nitrogen stresses. Agron. J. 85: 147-152.
- Fageria, N. K., V. C. Baligar, and Ch. A. Jones. 1997. Growth and Mineral Nutrition of Fields Crops. 2nd ed. Marcel Dekker, Inc. pp 199-207.
- 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.
- Gardner, C. A. C., P. L. Bax, D. J. Bailey, A. J. Cavalieri, C. R. Clousen G. A. Luce, C. W. Tiffany, M. W. Trimble and B. N. Wilsin. 1990. Response of corn hybrids to nitrogen fertilizier. J. Prod. Agric. 3: 39-43.
- Gómez, K. A. and A. A. Gómez. 1983. Statistical Procedures for Agricultural Research. 2nd Edition. Jhon Wiley & Sons. Singapure. pp 84-89.
- Grana, J. F., L. A. Valerio, CH. C. Conceicao, M. H. Calafiori, and J. L. Florcovski. 1996. Influence of different sources of phosphorus in maize in the development

of *Spodoptera frugiperda*. Facultad de de Agronomía "Manuel Carlos Goncalves". Ecosistema. 21: 46-50.

Guerrero, G. A. 1996. El Suelo, los Abonos y la Fertilización de los Cultivos. Ediciones Mundi-Prensa. Bilbao. pp.54, 121.

Havlin, J. L., J. D. Beaton, S. L. Tisdale and W. L. Nelson. 1999. Soil Fertility and Fertilizers. An Introduction to Nutrient Management. Prentice – Hall, Inc. New Jersey, USA. pp 107 – 216.

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.

Ibrahim, M. E. 1997. Effect of nitrogen fertilization on dry matter, nitrogen accumulation and yield of corn genotypes differed in prolificacy. Annals of Agricultural Science. 35: 25-47.

Jokela, W.E. 1992. Effect of starter fertilizer on corn silage yields on medium and high fertility soils. J. Prod. Agric. 5: 233-237.

Jones, J. B. 1998. Plant Nutrition. CRC Press. Florida. USA. 140p.

Khasawneh, F. E., E. C. Sample and E. J. Kamprath. 1980. The role of phoshorus in agriculture. American Society of Agronomy. Crop Science Society of America. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin USA. pp. 681-690.

Killorn, R. and D. Zourarakis. 1992. Nitrogen fertilizer management effects on grain yield and nitrogen uptake. J. Prod. Agric. 5:142-148.

- Kostandi, S. F. and M. F. Soliman. 1997. Smut disease incidence and mineral composition of corn as affected by N fertilizer sources and application rates. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 178 4: 197-204.
- Kostandi, S. F.; M. F. Soliman. And A.A. Ghaly. 1997. Smut disease and yield performance in corn (*Zea mays* L.) as influenced by nitrapyrin, urea and zinc. Application in coarse textured soils. *Journal of Agronomy and Crop Science* 179 4: 219-226.
- Kuz-menko, L. M., M. G. Zhmurko, L. A. Sivak, M. M. Yermak, T. I. Demchenko, M. M. Ermark. 1994. Reaction of maize genotypes to zinc application. *Fizilogiya Biokhimiya Kul Turnykh Rasteni*. 26: 151 – 155.
- Loué, A. 1998. Los Microelementos en la Agricultura. Ediciones Mundi – Prensa. Madrid. España. pp 107 – 135.
- Mackay, A. D. and S. A. Barber. 1985. Soil moisture effect on potassium uptake by corn. *Agron. J.* 77:524-527.
- Marshner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd ed. Academic Press. Cambridge. pp 641-643.
- Martínez G., A. 1996. Diseños Experimentales. Ed. Trillas. México. pp 184-275.
- Mascagni, H. J. and D. J. Bouquet. 1996. Starter Fertilizer and Planting date effects on corn rotated with cotton. *Agron. J.* 88:975-982.
- Melgar, R., y M. Diaz - Zorita. 1997. La Fertilización de Cultivos y Pasturas. Ed. Hemisferio Sur S. A. Buenos Aires, Argentina. pp. 93-110.

- Muchow, R. C. 1994. Effect of nitrogen on yield determination in irrigated maize in tropical and subtropical environments. *Field Crops Research*. 38: 1-13.
- National Plant Food Institute. 1985. *Manual de Fertilizantes*. Ed. Limusa.
- Olivares, S. E. 1994. *Paquete de Diseños Experimentales*. FAUANL. Versión 2.5. Facultad de Agronomía de la UANL. Marín N. L.
- Olivares S., E. 1995. *Diseños Experimentales con Aplicación a la Experimentación Agrícola y Pecuaria*. FAUANL. Marín, N. L.
- Padrón C., E. 1996. *Diseños Experimentales con Aplicación a la Agricultura y la Ganadería*. Ed. Trillas. México. pp 23-24.
- PIFSV. 1985. *Manual de fertilización regional*. SARH. Delegación Tamaulipas Norte. Patronato para la Investigación Fomento y Sanidad Vegetal. Reynosa, Tam. México. 119p.
- Potash & Phosphate Institute. 1997. *Manual Internacional de Fertilidad de Suelos*. Georgia. USA.
- 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. Río Bravo, Tamaulipas. México. 31p.
- Rodríguez, S. F. 1996. *Fertilizantes. Nutrición Vegetal*. AGT Editor, S. A. México. pp 53 – 66.
- Salisbury, F. B. y C. L. Ross. 1994. *Fisiología Vegetal*. Grupo Editorial Iberoamérica. México. pp 127 –141.

- Sánchez, R. 1995. Respuesta a la aplicación de nitrógeno, potasio y azufre en dos densidades de siembra en maíz (*Zea mays* L.) en suelos calcáreos del norte de Tamaulipas. Tesis de Maestría en Ciencias. FAUANL. Marín, N. L. 125p.
- Shuai, X. F., X. R. Wang and Cao Y. P. 1995. Phosphorus fertilizer recommendations for a winter wheat-summer maize rotation. *Acta Agriculturae universitatis Pekinensis*. 21: 33-35. Beijing, China.
- Sprague, G. F. 1985. Corn and Corn Improvement. Number. 18 in the series Agronomy. American Society of Agronomy, Inc. Publisher. Madison, Wisconsin USA. pp 645-648.
- Stoskopf, N. C. 1981. Understanding Crop Production. Reston Publishing Co. pp 55 – 77.
- Stuart, P. G. 1993. Taguchi Methods. A Hands-on Approach. Addison-Wesley Publishing Company. USA. 522p.
- Tanaka, A. y J. Yamaguchi. 1981. Producción de materia seca, componentes de rendimiento y rendimiento de grano de maíz. Segunda reimpresión. Centro de Botánica. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. pp 38 – 58.
- Teuscher, H. y R. Adler. 1980. El Suelo y su Fertilidad. Quinta impresión. Ed. CECSA. México. 510p.
- 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.
- Zhang, J. and S. A. Barber. 1992. Maize root distribution between phosphorus-fertilized and unfertilized soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 819-822.

VIII. APENDICE

Cuadro A1. Cuadrados medios para las variables diámetro de tallo 1, altura 1, diámetro de tallo 2, y altura 2, de la etapa vegetativa en el experimento "Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas" (Ciclo O-I 1994-1995).

F.V.	G.L.	DIAMETRO 1	ALTURA 1	DIAMETRO 2	ALTURA 2
BLOQUES= NPKZn	3	0.0115	14.63	0.0118	17.332
TRATAMIENTOS	8	0.0028	128.28	0.0197	64.097
N= PKZn	1	0.0026 NS	9.64 NS	0.0000 NS	8.314 NS
P= NKZn	1	0.0086 NS	67.95 **	0.0779 *	284.809 **
K= NPZn	1	0.0022 NS	22.35 NS	0.0000 NS	3.615 NS
NP=KZn	1	0.0036 NS	6.037 NS	0.0000 NS	14.851 NS
NK=PZn	1	0.0041 NS	15.63 NS	0.0502 NS	128.980 NS
PK=NZn	1	0.0010 NS	4.054 NS	0.0070 NS	31.073 NS
NPK=Zn	1	0.0005 NS	0.25 NS	0.0105 NS	1.445 NS
NITROF. VS. OTR.	1	0.0000 NS	2.36 NS	0.0115 NS	39.688 NS
ERROR	24	0.0027	7.71	0.0134	34.658
TOTAL	35				

NS=Diferencia No Significativa. *Diferencia Significativa ** Diferencia Altamente Significativa

Cuadro A2. Cuadrados medios para las variables diámetro de tallo 3, altura 3, y daño por gusano cogollero al momento de la floración del experimento "Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas" (Ciclo O-I 1994-1995).

F.V.	G.L.	DIAMETRO 3	ALTURA 3	DANO POR COGOLLERO
BLOQUES= NPKZn	3	0.0086	16.0370	1.5050
TRATAMIENTOS	8	0.0029	13.0540	2.9060
N= PKZn	1	0.0092 NS	12.0860 NS	0.0004 NS
P= NKZn	1	0.0000 NS	2.7100 NS	3.7810 *
K= NPZn	1	0.0044 NS	13.2080 NS	5.9370 *
NP=KZn	1	0.0028 NS	51.7340 NS	1.1670 NS
NK=PZn	1	0.0009 NS	12.9240 NS	3.7810 *
PK=NZn	1	0.0045 NS	1.0320 NS	4.5840 *
NPK=Zn	1	0.0056 NS	0.0191 NS	4.0930 *
NITROF. VS. OTR.	1	0.0005 NS	10.1169 NS	0.0036 NS
ERROR	24	0.0034	21.5801	0.9509
TOTAL	35			

NS=Diferencia No Significativa. *Diferencia Significativa ** Diferencia Altamente Significativa

Cuadro A3. Cuadrados medios para las variables largo de hoja, ancho de hoja y área foliar total al momento de la floración del experimento "Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas" (Ciclo O-I 1994-1995).

F.V.	G.L.	LARGO DE HOJA	ANCHO DE HOJA	AREA FOLIAR TOTAL
BLOQUES= NPKZn	3	3.7480	0.0549	26744.1
TRATAMIENTOS	8	7.6050	0.0536	26775.7
N= PKZn	1	3.5190 NS	0.0168 NS	26380.6 NS
P= NKZn	1	20.6760 NS	0.0484 NS	18168.1 NS
K= NPZn	1	2.3770 NS	0.1900 NS	86176.1 NS
NP=KZn	1	3.0900 NS	0.0075 NS	3086.8 NS
NK=PZn	1	25.1850 NS	0.0076 NS	78355.8 NS
PK=NZn	1	1.8100 NS	0.0121 NS	13599.2 NS
NPK=Zn	1	0.1780 NS	0.1140 NS	31041.4 NS
NITROF. VS. OTR.	1	4.0020 NS	0.0395 NS	37937.9 NS
ERROR	24	6.1544	0.0571	46266.9
TOTAL	35			

NS=Diferencia No Significativa. *Diferencia Significativa **Diferencia Altamente Significativa

Cuadro A4. Cuadrados medios para las variables longitud de mazorca, diámetro de mazorca y peso de mazorca al momento de la cosecha del experimento "Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas" (Ciclo O-I 1994-1995).

F.V.	G.L.	LONGITUD DE MAZORCA	DIAMETRO DE MAZORCA	PESO DE MAZORCA
BLOQUES= NPKZn	3	3.5050	0.187	438.2400
TRATAMIENTOS	8	0.3500	0.6202	489.8660
N= PKZn	1	0.8750 NS	0.0270 NS	58.8070 NS
P= NKZn	1	0.0004 NS	0.1910 NS	330.3740 NS
K= NPZn	1	0.0034 NS	0.0488 NS	15.9610 NS
NP=KZn	1	0.0005 NS	0.0016 NS	137.6970 NS
NK=PZn	1	0.0586 NS	0.0023 NS	122.6180 NS
PK=NZn	1	0.2680 NS	0.0442 NS	159.3300 NS
NPK=Zn	1	0.0002 NS	0.0047 NS	71.1620 NS
NITROF. VS. OTR.	1	1.5918 NS	0.1782 NS	3023.1790 **
ERROR	24	0.7557	0.6490	210.6013
TOTAL	35			

NS=Diferencia No Significativa. *Diferencia Significativa **Diferencia Altamente Significativa

Cuadro A5. Cuadrados medios para las variables longitud sin llenado de grano, número de hileras por mazorca y número de granos por hilera al momento de la cosecha del experimento "Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas" (Ciclo O-I 1994-1995)

F.V.	G.L.	LONGITUD SIN LLENADO DE GRANO	NUMERO DE HILERAS POR MAZORCA	NUMERO DE GRANOS POR HILERA
BLOQUES= NPKZn	3	1.2330	1.0100	23.5760
TRATAMIENTOS	8	0.0648	1.2990	6.4540
N= PKZn	1	0.0236 NS	0.1740 NS	21.9950 NS
P= NKZn	1	0.0140 NS	3.1360 NS	1.1590 NS
K= NPZn	1	0.1640 NS	4.9320 NS	0.3510 NS
NP=KZn	1	0.0014 NS	0.8900 NS	6.5790 NS
NK=PZn	1	0.2000 NS	0.0198 NS	0.0101 NS
PK=NZn	1	0.0205 NS	0.1720 NS	13.1710 NS
NPK=Zn	1	0.0871 NS	0.4750 NS	7.3060 NS
NITROF. VS. OTR.	1	0.0083 NS	0.5901 NS	1.0050 NS
ERROR	24	0.1504	1.0112	3.9863
TOTAL	35			

NS=Diferencia No Significativa. *Diferencia Significativa **Diferencia Altamente Significativa

Cuadro A6. Cuadrados medios para las variables peso de olote, mazorcas con hongo, y mazorcas sin hongo al momento de la cosecha del experimento "Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas" (Ciclo O-I 1994-1995).

F.V.	G.L.	PESO DE OLOTE	MAZORCAS CON HONGO	MAZORCAS SIN HONGO
BLOQUES= NPKZn	3	180.12	330.10	382.92
TRATAMIENTOS	8	3.87	547.98	567.69
N= PKZn	1	0.67 NS	24.50 NS	190.12 NS
P= NKZn	1	4.93 NS	3003.12 **	3003.12 **
K= NPZn	1	2.77 NS	153.12 NS	1903.12 NS
NP=KZn	1	0.05 NS	253.12 NS	171.12 NS
NK=PZn	1	1.27 NS	0.12 NS	15.12 NS
PK=NZn	1	3.41 NS	924.50 **	946.12 **
NPK=Zn	1	6.00 NS	24.50 NS	0.12 NS
NITROF. VS OTR.	1	17.87 NS	0.88 NS	25.68 NS
ERROR	24	5.43	76.39	111.34
TOTAL	35			

NS=Diferencia No Significativa. *Diferencia Significativa **Diferencia Altamente Significativa

Cuadro A7. Cuadrados medios para las variables peso seco total de planta, rendimiento de grano en ton ha⁻¹, e índice de cosecha al momento de la cosecha del experimento "Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas" (Ciclo O-I 1994-1995).

F.V.	G.L.	PESO SECO TOTAL DE PLANTA	RENDIMIENTO DE GRANO	INDICE DE COSECHA
BLOQUES= NPKZn	3	72.3330	1319983.4	0.0006
TRATAMIENTOS	8	194.4090	1079326.0	0.0023
N= PKZn	1	0.0084 NS	150529.4 NS	0.0006 NS
P= NKZn	1	434.0930 NS	6825816.4 **	0.0000 NS
K= NPZn	1	1.7580 NS	331446.4 NS	0.0000 NS
NP=KZn	1	260.6040 NS	14420.5 NS	0.0042 NS
NK=PZn	1	130.2500 NS	795636.6 NS	0.0000 NS
PK=NZn	1	450.1500 NS	487461.2 NS	0.0004 NS
NPK=Zn	1	166.5310 NS	24927.4 NS	0.0000 NS
NITROF. VS. OTR.	1	111.8765 NS	4369.1 NS	0.0127 **
ERROR	24	193.9844	383933.1	0.0012
TOTAL	35			

NS=Diferencia No Significativa. *Diferencia Significativa **Diferencia Altamente Significativa

Cuadro A8. Medias por tratamiento de las variables diámetro de tallo 1, altura 1, diámetro de tallo 2 y altura 2 en la etapa vegetativa del experimento "Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas" (Ciclo O-I 1994-1995).

TRATAMIENTO	DIÁMETRO1 (cm)	ALTURA1 (cm)	DIÁMETRO2 (cm)	ALTURA2 (cm)
1.- N1 P1 K1 Zn1	0.58	34.53	1.47	100.36
2.- N1 P1 K2 Zn2	0.61	37.06	1.56	102.15
3.- N1 P2 K1 Zn2	0.63	37.78	1.59	106.14
4.- N1 P2 K2 Zn1	0.67	41.38	1.66	111.03
5.- N2 P1 K1 Zn2	0.61	35.87	1.60	105.14
6.- N2 P1 K2 Zn1	0.58	35.26	1.45	98.06
7.- N2 P2 K1 Zn1	0.60	37.03	1.62	107.35
8.- N2 P2 K2 Zn2	0.62	38.19	1.61	105.06
9.- NITROFOSKA	0.61	37.96	1.63	107.75

Cuadro A9. Medias por tratamiento de las variables diámetro de tallo 3, altura 3 y daño por gusano cogollero, al momento de la floración del experimento "Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas" (Ciclo O-I 1994-1995).

TRATAMIENTO	DIÁMETRO3 (cm)	ALTURA3 (cm)	DAÑO POR COGOLLERO (número de hojas)
1.- N1 P1 K1 Zn1	1.74	127.86	3.56
2.- N1 P1 K2 Zn2	1.71	128.25	1.92
3.- N1 P2 K1 Zn2	1.71	131.39	1.78
4.- N1 P2 K2 Zn1	1.71	130.97	3.08
5.- N2 P1 K1 Zn2	1.77	130.36	3.92
6.- N2 P1 K2 Zn1	1.71	128.31	2.33
7.- N2 P2 K1 Zn1	1.76	128.90	2.81
8.- N2 P2 K2 Zn2	1.76	125.84	1.31
9.- NITROFOSKA	1.74	130.61	2.56

Cuadro A12. Medias por tratamiento de las variables longitud sin llenado de grano, número de hileras por mazorca y número de granos por hilera, al momento de la cosecha del experimento "Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas" (Ciclo O-I 1994-1995).

TRATAMIENTO	LONGITUD SIN LLENADO DE GRANO (cm)	NÚMERO DE HILERAS POR MAZORCA	NUMERO DE GRANOS POR HILERA
1.- N1 P1 K1 Zn1	1.89	12.2	27.5
2.- N1 P1 K2 Zn2	2.03	12.9	27.0
3.- N1 P2 K1 Zn2	1.99	13.1	28.5
4.- N1 P2 K2 Zn1	1.82	14.0	28.6
5.- N2 P1 K1 Zn2	1.88	12.1	31.0
6.- N2 P1 K2 Zn1	2.13	13.4	28.6
7.- N2 P2 K1 Zn1	1.80	12.8	28.3
8.- N2 P2 K2 Zn2	2.15	13.3	30.3
9.- NITROFOSKA	2.01	13.4	29.3

Cuadro A13. Medias por tratamiento de las variables peso de olote, mazorcas con hongo y mazorcas sin hongo al momento de la cosecha del experimento "Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas" (Ciclo O-I 1994-1995).

TRATAMIENTO	PESO DE OLOTE (g)	MAZORCAS CON HONGO	MAZORCAS SIN HONGO
1.- N1 P1 K1 Zn1	20.49	79.7	51.0
2.- N1 P1 K2 Zn2	19.66	75.0	58.5
3.- N1 P2 K1 Zn2	20.55	45.7	86.0
4.- N1 P2 K2 Zn1	21.00	59.0	71.5
5.- N2 P1 K1 Zn2	20.52	77.5	52.2
6.- N2 P1 K2 Zn1	18.87	69.5	56.7
7.- N2 P2 K1 Zn1	20.73	51.2	77.7
8.- N2 P2 K2 Zn2	20.41	68.2	60.7
9.- NITROFOSKA	22.52	65.2	67.0

Cuadro A14. Medias por tratamiento de las variables peso seco total de planta, rendimiento de grano en ton ha^{-1} e índice de cosecha del experimento "Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas" Ciclo O-I 1994-1995.

TRATAMIENTO	PESO SECO TOTAL DE PLANTA (g)	RENDIMIENTO (ton ha^{-1})	INDICE DE COSECHA
1.- N1 P1 K1 Zn1	100.8	6.11	0.34
2.- N1 P1 K2 Zn2	101.5	6.07	0.35
3.- N1 P2 K1 Zn2	99.5	5.68	0.36
4.- N1 P2 K2 Zn1	106.1	6.54	0.35
5.- N2 P1 K1 Zn2	103.7	6.12	0.36
6.- N2 P1 K2 Zn1	87.1	6.11	0.37
7.- N2 P2 K1 Zn1	104.7	6.19	0.35
8.- N2 P2 K2 Zn2	112.3	6.03	0.35
9.- NITROFOSKA	96.3	6.47	6.47



