

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



FERTILIZACION FOSFORICA Y DENSIDAD DE
PLANTAS EN SORGO (Sorghum bicolor L. (Moench)
Y MAIZ (Zea mays L.) EN EL NORTE DE
TAMAULIPAS

POR:

ING. NYDIA DEL RIVERO BAUTISTA

Como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRO EN CIENCIAS con la Especialidad
en PRODUCCION AGRICOLA



TM

SB191

.M2

R58

c.1



1080110319

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE AGRONOMIA

SUBDIRECCION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



FERTILIZACION FOSFORICA Y DENSIDAD DE
PLANTAS EN SOPGO (*Sorghum bicolor* L. Moench)
Y MAIZ (*Zea mays* L.) EN EL NORTE DE
TAMAULIPAS

POR:

ING. NYDIA DEL RIVERO BAUTISTA

Como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRO EN CIENCIAS con la Especialidad
en PRODUCCION AGRICOLA.

MARIN, NUEVO LEON

ABRIL 1988



TM
SB191
.M2
R58
C1

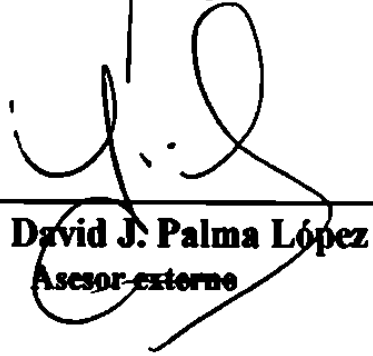


**FERTILIZACIÓN FOSFÓRICA Y DENSIDAD DE PLANTAS EN SORGO
(Sorghum bicolor L. (Moench) Y MAÍZ (Zea mays L.)
EN EL NORTE DE TAMAULIPAS**

Aprobación de la tesis



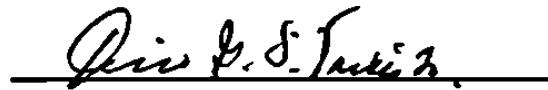
**Ph. D. Emilio Olivares Sáenz
Asesor Principal**



**D. Cs. David J. Palma López
Asesor externo**



**Ph. D. Francisco Zavala García
Co-asesor**



**Ph. D. Ciro G. S. Valdés Lozano
Co-asesor**



**Ph. D. Francisco Zavala García
Subdirector de Estudios de Postgrado**

DEDICATORIA

A mi esposo e hijos

Wilder, Nydia y Wilder Alejandro

Por su apoyo, comprensión, amistad y sobre todo por ser el hogar que me sirve de inspiración para seguir adelante en el camino de la superación

A mis padres

Jaime S. Del Rivero Castellanos y Socorro Bautista Cerino

Por haberme dado la vida y permitido tener la satisfacción de realizarme gracias al producto de su amor y esfuerzo

A mi hermana y sobrinos

Danelia, Dariana y Jaime Eduardo

Por su amor y cariño porque eso me ha ayudado a crecer como ser humano y comprender que la familia es algo que crece día con día y se mantiene firme a través del amor y la comprensión

A mis familiares y amigos

Por el cariño y la amistad que me han brindado en los momentos prósperos y adversos

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico otorgado para la realización de mis estudios.

A la Subdirección de Estudios de Postgrado de la FAUANL, directivos, personal administrativo y profesores por toda la ayuda brindada para mi superación profesional.

Al Dr. Emilio Olivares Sáenz por su dirección en el trabajo de tesis y estímulos para continuar en la investigación así como su amistad.

Al Dr. David Palma López por la ayuda en la revisión del trabajo y sugerencias al mismo.

Al Dr. Francisco Zavala García por la asesoría brindada al presente trabajo y sus acertadas correcciones.

Al Dr. Ciro G. S. Valdés Lozano por su colaboración en la culminación del trabajo y su amistad sincera.

Al Fondo de Aseguramiento Agrícola (PROAGRO) de Díaz Ordaz, Tamaulipas por el apoyo brindado así como el interés mostrado en la presente investigación.

A la familia Olivares en especial al Sr. Emilio Olivares González e Ing. José Luis Olivares Sáenz por toda la ayuda ofrecida durante el establecimiento y manejo del experimento.

A mis amigos Ramón Rodríguez Macías, Mario Dena Silva, Neftalí Gómez Ruiz, Trinidad Moncada y Wilder Camacho Chiu por el apoyo que me brindaron en la realización del experimento, sinceramente mil gracias.

A todas las personas que me brindaron su amistad durante mi estancia en la FAUANL.

INDICE

	Página
LISTA DE CUADROS.....	X
LISTA DE CUADROS DEL APÉNDICE.....	XIII
LISTA DE FIGURAS.....	XVIII
RESUMEN.....	XIX
SUMMARY.....	XX
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1. Importancia de la nutrición mineral.....	5
2.2. Requerimientos de nutrientes por las plantas.....	6
2.3. Importancia del fósforo en el suelo.....	7
2.4. El fósforo en la solución del suelo.....	8
2.4.1. Formas de fósforo en el suelo.....	8
2.4.1.1. Fósforo orgánico del suelo.....	8
2.4.1.2. Fósforo inorgánico del suelo.....	9
2.5. Formación de suelos calcáreos.....	10
2.6. Método de aplicación del fósforo.....	11
2.7. Respuesta del sorgo a la fertilización fosfórica.....	12
2.8. Respuesta del maíz a la fertilización fosfórica.....	13
2.9. Densidad de población.....	14
2.9.1. Efecto de la densidad de población en el rendimiento de maíz.....	14
2.9.2. Efecto de la densidad de población en el rendimiento de sorgo.....	15
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
3.1. Localización del área y situación geográfica.....	17
3.2. Extensión y límites.....	17
3.3. Clima.....	17
3.4. Suelos.....	18
3.5. Vegetación.....	18
3.6. Experimento 1. “Densidad óptima de plantas en sorgo (<i>Sorghum</i> <i>bicolor</i> (L.) Moench irrigado en el norte de Tamaulipas”.....	19
3.6.1. Diseño experimental, tratamientos y croquis.....	19
3.6.2. Preparación del suelo y material genético.....	20
3.6.3. Establecimiento del experimento y aplicación de tratamientos.....	21
3.6.4. Riegos y labores culturales.....	22
3.6.5. Plagas y enfermedades.....	23

3.6.6. Variables estudiadas en el experimento	23
3.6.6.1. Altura de planta	23
3.6.6.2. Diámetro de tallo	24
3.6.6.3. Número de hojas	24
3.6.6.4. Número de hijuelos	24
3.6.6.5. Longitud de panoja	25
3.6.6.6. Índice de cosecha	25
3.6.6.7. Rendimiento de grano	25
3.6.6.8. Dosis óptima fisiológica	26
3.6.6.9. Dosis óptima económica	27
3.6.7. Análisis estadístico de las variables	28
3.7. Experimento 2. “Respuesta a la aplicación de fósforo en sorgo (<u>Sorghum bicolor</u> (L.) Moench) para grano en el norte de Tamps.....	29
3.7.1. Diseño experimental, tratamientos y croquis.....	29
3.7.2. Preparación del suelo y material genético.....	30
3.7.3. Establecimiento del experimento y aplicación de tratamientos...	32
3.7.4. Riegos y labores culturales.....	32
3.7.5. Plagas y enfermedades.....	33
3.7.6. Variables estudiadas en el experimento.....	34
3.7.6.1. Longitud de panoja.....	34
3.7.6.2. Rendimiento de grano.....	34
3.7.6.3. Dosis óptima fisiológica.....	35
3.7.6.4. Dosis óptima económica.....	36
3.7.7. Análisis estadístico de las variables.....	37
3.8. Experimento 3. “Densidad óptima de plantas y fertilización fosfórica en sorgo (<u>Sorghum bicolor</u> (L.) Moench) irrigado en el norte de Tamps	38
3.8.1. Diseño experimental, tratamientos y croquis	38
3.8.2. Preparación del suelo y material genético.....	39
3.8.3. Establecimiento del experimento y aplicación de tratamientos...	41
3.8.4. Riegos y labores culturales.....	41
3.8.5. Plagas y enfermedades.....	42
3.8.6. Variables estudiadas en el experimento.....	42
3.8.6.1. Altura de planta.....	42
3.8.6.2. Altura a la panoja.....	43
3.8.6.3. Diámetro de tallo.....	43
3.8.6.4. Número de hojas.....	43
3.8.6.5. Número de hijuelos.....	44
3.8.6.6. Análisis foliar.....	44
3.8.6.7. Análisis de crecimiento.....	44
3.8.6.8. Rendimiento de grano.....	45
3.8.7. Análisis estadístico de las variables.....	45

3.9. Experimento 4. “Respuesta del cultivo de maíz (<i>Zea mays</i> L.) al fertilizante fosfórico en suelos del norte de Tamaulipas.....	46
3.9.1. Diseño experimental, tratamientos y croquis.....	46
3.9.2. Preparación del suelo y material genético.....	47
3.9.3. Establecimiento del experimento y aplicación de tratamientos...	49
3.9.4. Riegos y labores culturales.....	49
3.9.5. Plagas y enfermedades.....	50
3.9.6. Variables estudiadas en el experimento.....	50
3.9.6.1. Altura de planta.....	50
3.9.6.2. Altura de la mazorca.....	51
3.9.6.3. Diámetro de tallo.....	51
3.9.6.4. Área foliar.....	51
3.9.6.5. Peso total de materia seca.....	52
3.9.6.6. Diámetro de mazorca.....	52
3.9.6.7. Longitud de mazorca.....	52
3.9.6.8. Peso promedio de mazorca.....	52
3.9.6.9. Número promedio de hileras de granos.....	53
3.9.6.10. Número promedio de granos por hilera.....	53
3.9.6.11. Peso promedio de granos por mazorca.....	53
3.9.6.12. Peso promedio de 100 granos.....	53
3.9.6.13. Peso promedio de olote.....	54
3.9.6.14. Diámetro promedio de olote.....	54
3.9.6.15. Rendimiento de mazorcas.....	54
3.9.6.16. Análisis foliar.....	55
3.9.7. Análisis estadístico de las variables.....	55
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	56
4.1. Experimento 1. “Densidad óptima de plantas en sorgo (<i>Sorghum bicolor</i> (L.) Moench) irrigado en el norte de Tamaulipas”.....	56
4.1.1. Altura de planta.....	56
4.1.2. Diámetro de tallo.....	57
4.1.3. Número de hojas.....	58
4.1.4. Número de hijuelos.....	59
4.1.5. Longitud de panoja.....	60
4.1.6. Índice de cosecha.....	61
4.1.7. Rendimiento de grano.....	62
4.1.8. Dosis óptima fisiológica.....	64
4.1.9. Dosis óptima económica.....	65
4.2. Experimento 2. “Respuesta a la aplicación de fósforo en sorgo (<i>Sorghum bicolor</i> (L.) Moench) irrigado en el norte de Tamps.....	66
4.2.1. Longitud de panoja.....	66
4.2.2. Rendimiento de grano.....	67
4.2.3. Dosis óptima fisiológica.....	69
4.2.4. Dosis óptima económica.....	70

4.3. Experimento 3. “Densidad óptima de plantas y fertilización fosfórica en sorgo (<i>Sorghum bicolor</i> (L.) Moench) irrigado en el norte de Tamps	72
4.3.1. Altura de planta.....	72
4.3.2. Altura a la panoja.....	72
4.3.3. Diámetro de tallo.....	72
4.3.4. Número de hojas.....	72
4.3.5. Número de hijuelos.....	72
4.3.6. Contenido de fósforo.....	73
4.3.7. Modelo para estimar rendimiento de grano.....	75
4.3.8. Análisis de crecimiento.....	76
4.4. Experimento 4. “Respuesta del cultivo de maíz (<i>Zea mays</i> L.) al fertilizante fosfórico en suelos del norte de Tamaulipas.....	81
4.4.1. Variables morfológicas de planta y mazorca.....	81
4.4.2. Rendimiento de grano y contenido de fósforo en la hoja.....	83
5. CONCLUSIONES.....	84
6. BIBLIOGRAFÍA.....	85
7. APÉNDICE.....	91

LISTA DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Densidades de plantas por hectárea en el Experimento 1. “Densidad óptima de plantas en sorgo (<u>Sorghum bicolor</u> (L.) Moench) irrigado en el norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.....	20
Cuadro 2. Características del híbrido Pioneer 8133 utilizado en el Experimento 1. “Densidad óptima de plantas en sorgo (<u>Sorghum bicolor</u> (L.) Moench) irrigado en el norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.....	21
Cuadro 3. Dosis de fertilización fosfórica por hectárea en el Experimento 2. “Respuesta a la aplicación de fósforo en sorgo (<u>Sorghum bicolor</u> (L.) Moench) para grano en el norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.....	30
Cuadro 4. Características del híbrido Pioneer 8133 utilizado en el Experimento 2. “Respuesta a la aplicación de fósforo en sorgo (<u>Sorghum bicolor</u> (L.) Moench) para grano en el norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.....	31
Cuadro 5. Niveles de densidades de población y fertilización fosfórica en el Experimento 3. “Densidad óptima de plantas y fertilización fosfórica en sorgo (<u>Sorghum bicolor</u> (L.) Moench) irrigado en el norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.....	39
Cuadro 6. Características del híbrido Pioneer 8428 utilizado en el Experimento 3. “Densidad óptima de plantas y fertilización fosfórica en sorgo (<u>Sorghum bicolor</u> (L.) Moench) irrigado en el norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.....	40
Cuadro 7. Dosis de fertilización fosfórica en el Experimento 4. “Respuesta del cultivo de maíz (<u>Zea mays</u> L.) al fertilizante fosfórico en suelos del norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.....	47

Cuadro 8. Características del híbrido Pioneer 3044 utilizado en el Experimento 4. “Respuesta del cultivo de maíz (<u>Zea mays</u> L.) al fertilizante fosfórico en suelos del norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.....	48
Cuadro 9. Medias de la variable altura de planta en el Experimento 1. “Densidad óptima de plantas en sorgo (<u>Sorghum bicolor</u> (L.) Moench) irrigado en el norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.....	56
Cuadro 10. Medias de la variable diámetro de tallo en el Experimento 1. “Densidad óptima de plantas en sorgo (<u>Sorghum bicolor</u> (L.) Moench) irrigado en el norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.....	58
Cuadro 11. Medias de la variable número de hojas en el Experimento 1. “Densidad óptima de plantas en sorgo (<u>Sorghum bicolor</u> (L.) Moench) irrigado en el norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.....	59
Cuadro 12. Medias de la variable número de hijuelos en el Experimento 1. “Densidad óptima de plantas en sorgo (<u>Sorghum bicolor</u> (L.) Moench) irrigado en el norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.....	60
Cuadro 13. Medias de la variable longitud de panoja en el Experimento 1. “Densidad óptima de plantas en sorgo (<u>Sorghum bicolor</u> (L.) Moench) irrigado en el norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.....	60
Cuadro 14. Medias de la variable índice de cosecha en el Experimento 1. “Densidad óptima de plantas en sorgo (<u>Sorghum bicolor</u> (L.) Moench) irrigado en el norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.....	62
Cuadro 15. Medias de la variable rendimiento de grano en el Experimento 1. “Densidad óptima de plantas en sorgo (<u>Sorghum bicolor</u> (L.) Moench) irrigado en el norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.....	63

Cuadro 16. Medias de la variable longitud de panoja de cuatro niveles de fósforo y Nitrofoska en el Experimento 2. “Respuesta a la aplicación de fósforo en sorgo (<u>Sorghum bicolor</u> (L.) Moench) para grano en el norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.....	67
Cuadro 17. Comparación de medias de Nitrofoska con tratamientos de fósforo para rendimiento de grano en el Experimento 2. “Respuesta a la aplicación de fósforo en sorgo (<u>Sorghum bicolor</u> (L.) Moench) para grano en el norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.....	68
Cuadro 18. Medias de tratamientos para las variables altura de planta, altura a la panoja, diámetro de tallo, número de hijuelos, número de hojas y rendimiento de grano en el Experimento 3. “Densidad óptima de plantas y fertilización fosfórica en sorgo (<u>Sorghum bicolor</u> (L.) Moench) irrigado en el norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.....	73
Cuadro 19. Medias por tratamientos de la variable contenido de fósforo en las hojas del Experimento 3. “Densidad óptima de plantas y fertilización fosfórica en sorgo (<u>Sorghum bicolor</u> (L.) Moench) irrigado en el norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.....	74
Cuadro 20. Medias de tratamientos para las variables altura de planta, altura a la mazorca, diámetro de tallo, área foliar, materia seca, peso de mazorca, peso de grano, peso de 100 granos, diámetro de mazorca, longitud de mazorca, número de hileras de grano, número de granos por hilera, peso de olote, diámetro de olote en el Experimento 4. “Respuesta del cultivo de maíz (<u>Zea mays</u> L.) al fertilizante fosfórico en suelos del norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.....	82

LISTA DE CUADROS DEL APÉNDICE

	Página
Cuadro A1. Cuadrados medios para las variables altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas, número de hijuelos y longitud de panoja en el Experimento 1. “Densidad óptima de plantas en sorgo (<u>Sorghum bicolor</u> (L.) Moench) irrigado en el norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.....	91
Cuadro A2. Cuadrados medios para las variables diámetro de tallo y longitud de panoja, en el análisis de polinomios ortogonales del Experimento 1. “Densidad óptima de plantas en sorgo (<u>Sorghum bicolor</u> (L.) Moench) irrigado en el norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.....	91
Cuadro A3. Cuadrados medios para la variable índice de cosecha en el Experimento 1. “Densidad óptima de plantas en sorgo (<u>Sorghum bicolor</u> (L.) Moench) irrigado en el norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.....	92
Cuadro A4. Cuadrados medios para la variable rendimiento de grano en el Experimento 1. “Densidad óptima de plantas en sorgo (<u>Sorghum bicolor</u> (L.) Moench) irrigado en el norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.....	92
Cuadro A5. Cuadrados medios para la variable rendimiento de grano, en el análisis de polinomios ortogonales del Experimento 1. “Densidad óptima de plantas en sorgo (<u>Sorghum bicolor</u> (L.) Moench) irrigado en el norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.....	93
Cuadro A6. Análisis de regresión múltiple para la variable rendimiento de grano en función de densidad en el Experimento 1. “Densidad óptima de plantas en sorgo (<u>Sorghum bicolor</u> (L.) Moench) irrigado en el norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.....	93

Cuadro A7. Variables en la ecuación para encontrar la dosis óptima fisiológica y densidad óptima económica del rendimiento de grano en el Experimento 1. “Densidad óptima de plantas en sorgo (<u>Sorghum bicolor</u> (L.) Moench) irrigado en el norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.....	94
Cuadro A8. Cuadrado medio de la variable longitud de panoja en el Experimento 2. “Respuesta a la aplicación de fósforo en sorgo (<u>Sorghum bicolor</u> (L.) Moench) para grano en el norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.....	94
Cuadro A9. Cuadrado medio para la variable rendimiento de grano en el Experimento 2. “Respuesta a la aplicación de fósforo en sorgo (<u>Sorghum bicolor</u> (L.) Moench) para grano en el norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.....	95
Cuadro A10. Cuadrados medios para la variable rendimiento de grano, en el análisis de polinomios ortogonales en el Experimento 2. “Respuesta a la aplicación de fósforo en sorgo (<u>Sorghum bicolor</u> (L.) Moench) para grano en el norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.....	95
Cuadro A11. Análisis de regresión múltiple para la variable rendimiento de grano en función de dosis de fertilización en el Experimento 2. “Respuesta a la aplicación de fósforo en sorgo (<u>Sorghum bicolor</u> (L.) Moench) para grano en el norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.....	96
Cuadro A12. Variables en la ecuación para encontrar dosis óptima fisiológica y dosis óptima económica en el Experimento 2. “Respuesta a la aplicación de fósforo en sorgo (<u>Sorghum bicolor</u> (L.) Moench) para grano en el norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.....	96

Cuadro A13. Cuadrados medios de las variables altura de planta, altura a la panoja, diámetro de tallo, número de hojas, número de hijuelos y rendimiento de grano en el Experimento 3. “Densidad óptima de plantas y fertilización fosfórica en sorgo (Sorghum bicolor (L.) Moench) irrigado en el norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96..... 97

Cuadro A14. Matriz de correlación de las variables altura de planta, altura a la panoja, diámetro de tallo, número de hojas y número de hijuelos en el Experimento 3. “Densidad óptima de plantas y fertilización fosfórica en sorgo (Sorghum bicolor (L.) Moench) irrigado en el norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96..... 97

Cuadro A15. Cuadrados medios de las variables contenido de fósforo en las hojas y materia seca total por planta en el Experimento 3. “Densidad óptima de plantas y fertilización fosfórica en sorgo (Sorghum bicolor (L.) Moench) irrigado en el norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96..... 98

Cuadro A16. Medias de densidades de la variable materia seca por planta del Experimento 3. “Densidad óptima de plantas y fertilización fosfórica en sorgo (Sorghum bicolor (L.) Moench) irrigado en el norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96..... 98

Cuadro A17. Medias de densidades de la variable peso seco de hojas por planta del Experimento 3. “Densidad óptima de plantas y fertilización fosfórica en sorgo (Sorghum bicolor (L.) Moench) irrigado en el norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96..... 99

Cuadro A18. Medias de densidades de la variable peso seco de tallos por planta del Experimento 3. “Densidad óptima de plantas y fertilización fosfórica en sorgo (Sorghum bicolor (L.) Moench) irrigado en el norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96..... 99

Cuadro A19. Medias de densidades de la variable peso seco de panojas por planta del Experimento 3. “Densidad óptima de plantas y fertilización fosfórica en sorgo (<u>Sorghum bicolor</u> (L.) Moench) irrigado en el norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.....	100
Cuadro A20. Cuadrados medios para rendimiento de grano, en el análisis de polinomios ortogonales del Experimento 3. “Densidad óptima de plantas y fertilización fosfórica en sorgo (<u>Sorghum bicolor</u> (L.) Moench) irrigado en el norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.....	100
Cuadro A21. Análisis de regresión simple para la variable rendimiento de grano en función del número de plantas cosechadas en el Experimento 3. “Densidad óptima de plantas y fertilización fosfórica en sorgo (<u>Sorghum bicolor</u> (L.) Moench) irrigado en el norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.....	101
Cuadro A22. Estimadores estadísticos de coeficientes de regresión, error estándar, valores de t, desviación estándar para rendimiento de grano en el Experimento 3. “Densidad óptima de plantas y fertilización fosfórica en sorgo (<u>Sorghum bicolor</u> (L.) Moench) irrigado en el norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.....	101
Cuadro A23. Cuadrados medios de las variables altura de planta, altura a la mazorca, diámetro de tallo, área foliar, materia seca, peso de mazorca, peso de grano de mazorca, peso de 100 granos, diámetro de mazorca, longitud de mazorca, número de hileras de granos, número de granos por hilera, peso de olote, diámetro de olote y porcentaje de fósforo en el Experimento 4. “Respuesta del cultivo de maíz (<u>Zea mays</u> L.) al fertilizante fosfórico en suelos del norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.....	102

<p>Cuadro A24. Cuadrados medios de la variable rendimiento de grano en el Experimento 4. “Respuesta del cultivo de maíz (<u>Zea mays</u> L.) al fertilizante fosfórico en suelos del norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.....</p>	<p>103</p>
<p>Cuadro A25. Análisis de regresión múltiple para la variable rendimiento de grano en función de la dosis de fertilización en el Experimento 4. “Respuesta del cultivo de maíz (<u>Zea mays</u> L.) al fertilizante fosfórico en suelos del norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.....</p>	<p>103</p>
<p>Cuadro A26. Estimadores estadísticos de coeficientes de regresión, error estándar, valores de t, desviación estándar para rendimiento de grano en el Experimento 4. “Respuesta del cultivo de maíz (<u>Zea mays</u> L.) al fertilizante fosfórico en suelos del norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.....</p>	<p>104</p>

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Distribución de los tratamientos en el campo del Experimento 1. “Densidad óptima de plantas en sorgo (<u>Sorghum bicolor</u> (L.) Moench) irrigado en el norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.....	21
Figura 2. Distribución de los tratamientos en el campo del Experimento 2. “Respuesta a la aplicación de fósforo en sorgo (<u>Sorghum bicolor</u> (L.) Moench) para grano en el norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.....	32
Figura 3. Distribución de los tratamientos en el campo del Experimento 3. “Densidad óptima de plantas y fertilización fosfórica en sorgo (<u>Sorghum bicolor</u> (L.) Moench) irrigado en el norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.....	39
Figura 4. Distribución de los tratamientos en el campo del Experimento 4. “Respuesta del cultivo de maíz (<u>Zea mays</u> L.) al fertilizante fosfórico en suelos del norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.....	47
Figura 5. Relación entre longitud de panoja y densidad de plantas del Experimento 1. “Densidad óptima de plantas en sorgo (<u>Sorghum bicolor</u> (L.) Moench) irrigado en el norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.....	61
Figura 6. Densidad óptima fisiológica del Experimento 1. “Densidad óptima de plantas en sorgo (<u>Sorghum bicolor</u> (L.) Moench) irrigado en el norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.....	65
Figura 7. Dosis óptima fisiológica de fósforo del Experimento 2. “Respuesta a la aplicación de fósforo en sorgo (<u>Sorghum bicolor</u> (L.) Moench para grano en el norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.....	70

Figura 8. Materia seca total por planta en el Experimento 3. “Densidad óptima de plantas y fertilización fosfórica en sorgo (<u>Sorghum bicolor</u> (L.) Moench) irrigado en el norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.....	78
Figura 9. Comportamiento de materia seca de hojas por planta en el Experimento 3. “Densidad óptima de plantas y fertilización fosfórica en sorgo (<u>Sorghum bicolor</u> (L.) Moench) irrigado en el norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.....	79
Figura 10. Comportamiento de materia seca de tallos por planta en el Experimento 3. “Densidad óptima de plantas y fertilización fosfórica en sorgo (<u>Sorghum bicolor</u> (L.) Moench) irrigado en el norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.....	80
Figura 11. Comportamiento de materia seca de panojas por planta en el Experimento 3. “Densidad óptima de plantas y fertilización fosfórica en sorgo (<u>Sorghum bicolor</u> (L.) Moench) irrigado en el norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.....	81

RESUMEN

En Tamaulipas se utilizan grandes cantidades de fertilizantes químicos asociados a altas densidades de población para aprovechar al máximo los híbridos de altos rendimientos, por lo cuál los objetivos del presente estudio fueron 1) determinar las dosis óptimas de fósforo para los cultivos de maíz y sorgo, 2) determinar la densidad de población adecuada para sorgo y 3) evaluar el fertilizante Nitrofoska.

El estudio se realizó en el ciclo otoño-invierno 1995-96 en el municipio de Díaz Ordaz, Tamaulipas. Los experimentos fueron cuatro: En el experimento uno se estudiaron densidades de siembra en sorgo, en el experimento dos se estudió dosis de fertilización fosfórica en sorgo, para el experimento tres se incluyó densidad óptima de plantas y fertilización fosfórica en sorgo y en el cuarto experimento se probaron niveles de fertilización fosfórica en maíz. Los experimentos fueron conducidos bajo un diseño de bloques completos al azar, en el experimento tres se utilizó un diseño de tratamientos "San Cristóbal".

En el experimento uno se encontró que a medida que se incrementó la densidad de plantas los tallos fueron delgados y la longitud de panoja disminuye. En rendimiento se observó que cuando se aumentó hasta una densidad de 21 plantas m^{-1} el rendimiento tendió a incrementar a 7.9 T ha^{-1} . Se estimó una dosis óptima fisiológica de 20 plantas por m^{-1} lo que equivale a 231,511 plantas ha^{-1} . En el experimento dos los resultados fueron los siguientes: se encontró una respuesta cuadrática en rendimiento por efecto de

los tratamientos con fertilización fosfórica y se estimó una dosis óptima económica de 62.43 Kg ha⁻¹. En el experimento tres se observó que a medida que se incrementó la dosis de fertilización fosfórica se incrementó el contenido de fósforo en las hojas; para rendimiento de grano se encontró que este disminuyó a medida que se incrementó la densidad de siembra, esto se debió a que en la etapa de llenado de grano hubo estrés de humedad; en el análisis de crecimiento se observó que el peso de materia seca disminuyó cuando se incrementaron las densidades. Para el experimento cuatro los tratamientos no mostraron efecto sobre las variables estudiadas.

SUMMARY

For high grain yields in maize and sorghum, hybrids are planted under irrigation, high plant densities and high amounts of chemical fertilizers, in Tamaulipas, México. The objectives of this study were:

- 1.- to determine the optimum dosage of phosphorous for maize and sorghum
- 2.- to determine the optimum plant density for sorghum
- 3.- to evaluate Nitrofoska® fertilizer.

This study was conducted at Díaz Ordaz, Tamaulipas, during autumn-winter 1995-96. Four experiments were conducted; experiment one was for evaluation of sorghum plant densities, experiment two compared phosphoric fertilization levels in sorghum, experiment three included plant densities and phosphoric fertilization in sorghum, and experiment fourth compared phosphoric fertilization treatments in maize. The treatments were under randomized complete blocks design. For the third experiment a “San Cristóbal” treatment design was used.

The first experiment showed that as plant density increased, head length and stems diameter decreased, the highest yield (7.9 T ha^{-1}) was obtained with 231,511 plants per ha^{-1} . The second experiment had linear and quadratic effects of phosphoric fertilization treatments and an estimated economic dose of 62.43 Kg ha^{-1} of P_2O_5 was found. In the third experiment was observed that as phosphoric fertilizer increased the concentration of phosphorous in plant tissue increased, but the fertilization treatments did not

have effect on yield. However, yield decreased as plant densities increased, due to water stress observed in the grain filling stage. Growth analysis showed that dry matter, stems weight, leaves weight and head weight decreased when plant densities increased. In the fourth experiment the treatments with phosphoric fertilization did not showed effect for any variable related to maize yield.

INTRODUCCIÓN

El sorgo y el maíz son los cereales de grano más ampliamente cultivados en el mundo junto con el trigo (*Triticum aestivum* L.) y arroz (*Oriza sativa* L.). En México el sorgo representa el segundo lugar en volumen de producción y el tercer lugar en importancia por superficie sembrada; el maíz tiene el primer lugar en volumen de producción así como en superficie cosechada. El sorgo se siembra en grandes extensiones de temporal, sin embargo en los últimos años se ha convertido en un cultivo de áreas de riego debido a las innovaciones tecnológicas y a las necesidades de la industria pecuaria, llegando inclusive a desplazar a otros cultivos que tradicionalmente se han explotado en tierras de riego como el maíz y el trigo (Boursier y Läuchli, 1990; Montgomery *et al.*, 1986; Livera y Carballo, 1977).

En el Estado de Tamaulipas se encuentran dedicadas a la agricultura aproximadamente 989,202 has, de las cuales 343,611 se cultivan bajo condiciones de riego; de estas el cultivo de sorgo ocupa 52,764 y el maíz 290,847 has (INEGI, 1995). Esta región productora de sorgo bajo riego, conjuntamente con la zona temporalera, han permitido que el Estado de Tamaulipas tenga el primer lugar de producción de sorgo a nivel nacional siguiendo en orden de importancia los estados de Guanajuato, Jalisco, Michoacán y Sinaloa.

Las grandes diferencias entre los rendimientos promedios nacionales de maíz y sorgo se producen porque el sorgo se siembra en regiones

tecnificadas, mientras que el maíz predomina en las tierras de temporal con tecnología tradicional, pero también en predios de riego con condiciones tecnológicas equivalentes. En predios de temporal, en condiciones tecnológicas equivalentes, los rendimientos promedios de sorgo son superiores a los del maíz en un 89%. Las diferencias en el rendimiento se deben a la capacidad genética del sorgo para producir mayor contenido de materia seca en el grano y para resistir condiciones adversas para el crecimiento de las plantas, comparado con el maíz. (Instituto de Recursos Mundiales, 1992).

La mayoría de los agricultores en áreas de riego en Tamaulipas usan semilla de híbridos comerciales de sorgo y maíz por lo que están obligados a usar grandes cantidades de insumos; ya que se necesitan fertilizantes químicos para aprovechar al máximo los híbridos de alto rendimiento. La fertilización es una práctica común en estas áreas, donde la dosis recomendada para maíz y sorgo es de 140-40-00 (INIFAP, 1994). Generalmente se aplica el 50 % del nitrógeno un mes antes de la siembra y el resto un mes después. En maíz se han reportado incrementos importantes de rendimiento con aplicaciones de 70 unidades de fósforo (Sánchez, 1995); sin embargo, los productores aplican menores cantidades de este elemento (INIFAP, 1994), por lo que, en el caso del sorgo, es necesario definir la dosis óptima de fertilización fosfórica ya que es un cultivo que ha desplazado al maíz en esta región.

Los híbridos modernos responden favorablemente a altas densidades de plantas asociadas a una alta fertilización, lo que permite obtener altos

rendimientos; por lo que, al determinarse la dosis óptima de fósforo, deberá definirse el nivel óptimo de la densidad de plantas en esta especie la cual varía también dependiendo de la variedad y de los factores ambientales como la humedad disponible, la fertilidad del suelo, la competencia con malezas, etc.

En base a lo anterior y para incrementar el rendimiento, es importante definir tanto densidades de siembra como dosis óptimas de fósforo para la región productora de sorgo y maíz bajo riego del Norte de Tamaulipas, por lo que en el presente estudio se plantearon las siguientes hipótesis y objetivos:

Hipótesis

1. Existe diferencia en el rendimiento de grano con diferentes densidades de población y dosis de fertilización fosfórica para el cultivo de sorgo.
- 2.- Existe diferencia en el rendimiento de grano con diferentes dosis de fertilización fosfórica en el cultivo de maíz.

Objetivos

- 1.- Determinar la dosis óptima de fósforo y la densidad de población adecuada para el cultivo del sorgo (Sorghum bicolor L. Moench) en el Distrito de Riego No. 26 en el Norte de Tamaulipas.

- 2.- Determinar la dosis óptima de fósforo para el cultivo de maíz (Zea mays L.) en el Distrito de Riego No. 26 en el Norte de Tamaulipas.

- 3.- Evaluar el fertilizante Nitrofoska como fuente de N, P₂O₅ y K₂O en los cultivos de maíz y sorgo en el Distrito de Riego No. 26 en el Norte de Tamaulipas.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Importancia de la nutrición mineral

Una característica sobresaliente de la vida es la capacidad de las células de tomar sustancias del ambiente y usarlos para la síntesis de sus propios compuestos celulares, o como una fuente de energía. El suministro y absorción de compuestos químicos necesarios para el crecimiento y metabolismo puede ser definido como nutrición y los compuestos químicos requeridos por un organismo son llamados nutrientes. A los mecanismos por los cuales los nutrientes son convertidos a material celular o usados para propósitos energéticos se les conoce como procesos metabólicos.

El efecto benéfico de adicionar elementos minerales para mejorar los suelos y el crecimiento de las plantas se conoce en la agricultura por más de 2000 años. Sin embargo, hace 150 años era materia de controversia científica si los elementos químicos funcionaban como nutrientes para el crecimiento de las plantas. El crédito fue para Justus von Liebig (1803-1873) quién compiló, resumió y difundió la información concerniente a la importancia de los elementos minerales para el crecimiento y desarrollo de las plantas, estableciéndose de esta manera la nutrición mineral como disciplina científica. Esos logros guiaron a un rápido incremento en el uso de fertilizantes minerales. A fines de los 90's de este siglo, especialmente en Europa, grandes cantidades de potasio, superfosfato y más tarde nitrógeno inorgánico fueron usados en la agricultura (Mengel y Kirkby, 1982).

2.2. Requerimientos de nutrientes por las plantas

La nutrición vegetal tiene como objetivo final la obtención de una buena producción en cantidad y calidad (Munson y Nelson, 1973). La productividad agrícola de un suelo está altamente correlacionada con su fertilidad, definida como la capacidad de proporcionar a la planta los nutrientes necesarios en las cantidades requeridas y balanceadas para promover su desarrollo (Wierenga, 1982; Tisdale et al., 1985). La fertilidad de un suelo es baja cuando el contenido de uno o más de los elementos nutritivos es reducida o porque siendo suficiente se encuentra formando compuestos insolubles o de muy lento proceso de solubilidad. En estos casos; la adición de fertilizantes en las formas, composiciones y cantidades adecuadas pueden elevar la productividad de esos suelos (Rojas, 1981), por lo que el aumento hasta de un 50 % del rendimiento en maíz y otros cereales de grano pueden explicarse por el uso de fertilizantes comerciales (Gardner et al., 1985).

Ochse et al. (1965) a través de experiencias de campo, han encontrado que los niveles de nutrientes para rendimientos óptimos de un cultivo, se pueden expresar con frecuencia en la forma de una serie de relaciones de otros elementos con respecto al nitrógeno y fósforo. Sin embargo, dentro de ciertos límites, la productividad se puede mantener a cualquier punto deseado variando la cantidad de fertilizantes y no las relaciones de los distintos nutrientes con relación al nitrógeno y fósforo, una vez que dichas relaciones se hayan determinado para un cultivo, tipo de suelo y localidad.

Los nutrientes de las plantas en forma generalizada se dividen en tres grupos: elementos principales: C, H, O, N, P y K; elementos secundarios: Ca, Mg, S, Cl y elementos menores: Fe, Mg, Mn, Cu, Zn, B y Mo. Cada uno de estos elementos es absorbido por las plantas a través de sus raíces, en forma iónica de la solución del suelo, o directamente de material mineral u orgánico mediante intercambio de contacto. Entre los elementos principales, el C se considera como no limitante al encontrarse disponible para las plantas en la atmósfera en tanto que el nitrógeno, el fósforo y el potasio se han estudiado ampliamente, considerándose que el nitrógeno y el fósforo pueden ser limitantes en los suelos de origen calcáreo como los del Norte de Tamaulipas.

2.3. Importancia del fósforo en el suelo.

El fósforo es tomado en cantidades suficientes por las plantas cuando el suelo contiene cantidades adecuadas o cuando es suministrado de fuentes externas. El contenido total en el suelo está en el rango de 0.02 a 0.15 %. Poco de este elemento se pierde por lixiviación debido a su poca movilidad, en consecuencia el fósforo adicionado como fertilizante puede acumularse en los horizontes del suelo, particularmente en los utilizados para producción de cultivos fuertemente fertilizados como papas, vegetales y cítricos (Mengel y Kirkby, 1982; Wierenga, 1982). Selles *et al.* (1995) encontraron en experimentos realizados durante 24 años en un sistema de rotación de cultivos, que las concentraciones de fósforo en grano y paja se asociaron con la producción de materia seca, presentando valores más altos de asociación

para leguminosas que para cereales.

2.4. El fósforo en la solución del suelo

El fósforo es absorbido por las plantas como iones ortofosfato primario y secundario (H_2PO_4^- y HPO_4^{2-}), estando presentes en la solución del suelo. Abajo de pH 7.0, el H_2PO_4^- es la forma predominante en suelos agrícolas. El ion ortofosfato secundario (HPO_4^{2-}) empieza a ser importante a valores de pH arriba de 7.2. La planta absorbe HPO_4^{2-} más lentamente que H_2PO_4^- . El movimiento de fósforo en las raíces de las plantas tiene dos caminos: flujo de masa y difusión (Black, 1969; Tisdale *et al.*, 1985; Aguilar *et al.*, 1987).

2.4.1. Formas de fósforo en el suelo

El fósforo en el suelo puede ser clasificado generalmente como orgánico e inorgánico dependiendo de la naturaleza de los compuestos en los cuáles ocurre.

2.4.1.1. Fósforo orgánico del suelo

La fracción de fósforo orgánico es encontrada en el humus y en los materiales orgánicos. Los niveles de fósforo orgánico en los suelos varía de 0

a 0.2%. Muchas formas orgánicas de fósforo que ocurren naturalmente son ésteres de ácido ortofosfórico y numerosos mono-diésteres. Esos ésteres orgánicos de fósforo se han identificado en cinco clases de compuestos: fosfatos de inositol, fosfolípidos, ácidos nucleicos, nucleótidos y fosfatos metabólicos.

2.4.1.2. Fósforo inorgánico del suelo

El fósforo disuelto de los fertilizantes, en aguas residuales y de fuentes nativas de suelo, reacciona con constituyentes del suelo para crear formas menos solubles; el fósforo así removido de la solución es retenido o fijado.

El fósforo también puede estar adherido a la superficie de un sólido; en este caso, se dice está adsorbido. La reacción inversa es la desadsorción, la cual libera el fósforo adsorbido hacia la solución del suelo.

Bajo condiciones de campo, donde los fertilizantes fosfóricos son aplicados altamente concentrados al suelo como gránulos o por goteo, el suelo adyacente al fertilizante está en contacto con las soluciones del suelo con altas concentraciones de fósforo y cationes acompañantes. Las reacciones de retención del fósforo empiezan en este ambiente, el cuál a menudo favorece la precipitación in situ de compuestos de fósforo.

Los compuestos de Fe^{3+} y Al^{3+} a pH bajos, disminuyen las formas solubles de fósforo en el suelo en tanto que los compuestos con Ca^{2+} a

valores altos de pH dificultan la solubilidad del fósforo. Existe un rango amplio de solubilidad de esos compuestos de fosfatos y su disponibilidad para cultivos es mayor en un rango de pH alrededor de 6 a 7 para muchos suelos agrícolas (Mengel y Kirkby, 1982; Tisdale *et al.*, 1985 Marschner, 1986)

2.5. Formación de suelos calcáreos

En regiones con precipitación pluvial restringida, los carbonatos, principalmente CaCO_3 , se acumulan en los suelos. Cuando la evapotranspiración excede a la precipitación, el movimiento descendente del agua en el perfil del suelo es tan sólo suficiente para desplazar los productos del intemperismo más solubles, tales como las sales de Na^+ . Los compuestos menos solubles se acumulan. El Mg^{2+} y el K^+ forman aluminosilicatos secundarios.

A pesar de que las condiciones ambientales que conducen a una acumulación de carbonatos en los suelos son muy variadas, la reacción química involucrada es simple.



Condiciones alcalinas favorecen la acumulación de CaCO_3 ya que consumen H^+ y desplazan la reacción hacia la derecha. Aumentando la presión de CO_2 , este reacciona aún más con CaCO_3 como sigue:



por lo que el CaCO_3 se redisuelve al aumentar la concentración de CO_2 en la fase gaseosa (Bohn et al., 1985).

2.6. Métodos de aplicación del fósforo

Diversos investigadores han concluido que la mejor forma de aplicación del fósforo al suelo es en banda, comparado con aplicaciones al voleo. La colocación en banda reduce la superficie de contacto entre el suelo y fertilizante con una consecuente reducción en la cantidad de fijación; además se incrementa la utilización por la planta del fosfato soluble del fertilizante como los superfosfatos y fosfatos de amonio. El movimiento de sales de fertilizantes fosfatados es dependiente del contenido inicial de humedad del suelo (Rodríguez, 1982). Everaarts (1992) concluyó que la aplicación del fertilizante en banda redujo el crecimiento de malezas comparado con la aplicación al voleo. Mullins et al. (1995) aplicando cuatro fertilizantes fosfatados comerciales encontraron que el rendimiento de forraje y la absorción del fósforo fueron afectados por la fuente utilizada y el contenido de fósforo soluble.

Resultados de investigaciones en Minnesota han mostrado que los índices de fosfatos necesarios para una producción óptima son mejores si el fertilizante es aplicado en banda e incorporado antes de la siembra que cuando se aplica al voleo (Rehm et al., 1997). También el índice de fosfatos necesarios puede ser reducido a 1/3 o 1/2 si es aplicado en banda.

2.7. Respuesta del sorgo a la fertilización fosfórica

En trabajos realizados en la India con sorgo, Raghuwanshi et al. (1994) reportaron rendimientos de 3.76 t ha^{-1} cuando se utiliza la fórmula de fertilización 100-60-40 recomendada para la zona; sin embargo, Kasole et al. (1994) trabajando con el mismo cultivo encontraron otra fórmula mayor con 120-60-60, obteniendo un aumento en el rendimiento de 5.13 t ha^{-1} . Patil et al. (1993) trabajando con niveles de NPK (60-30-30; 60-45-45 y 120-60-60 Kg ha^{-1}) coincidieron en sus resultados con los de Kasole et al. (1994) encontrando respuesta con la fórmula 120-60-60 al encontrar rendimientos de 5.74 t ha^{-1} . En otros trabajos llevados a cabo por Millan y Moreno (1992) en Venezuela con sorgo y aplicando 700 Kg ha^{-1} de una dosis tradicional de fertilización (15,15,15) más 100 Kg ha^{-1} de urea a los 25 días después de la siembra, incrementó los rendimientos a 6.94 t ha^{-1} . Para el Norte de Tamaulipas en sorgo se recomienda una dosis de fertilización de 120-40-00 NPK aplicando el 50% de la dosis un mes antes de la siembra y el otro 50% un mes después de la siembra (INIFAP, 1994). Para el cultivo del sorgo en los Valles Altos de México se recomienda una fórmula de fertilización de $80-40-00 \text{ Kg ha}^{-1}$ (INIA, 1982a). En cambio en el Bajío existen tres fórmulas de fertilización de acuerdo al material genético que se siembre para tardíos la fórmula recomendada es de 220-40-00; intermedios 190-40-00 y precoces 160-40-00 (INIA, 1982b).

2.8. Respuesta del maíz a la fertilización fosfórica

Los suelos del norte de Tamaulipas son deficientes en fósforo, por lo que el paquete tecnológico recomienda la aplicación de 70 unidades de este nutriente. Olivares *et al.* (1995) hallaron respuesta a la aplicación de fósforo (0 y 70 Kg ha⁻¹) para maíz en un suelo del municipio de Díaz Ordaz, Tamaulipas, en cuanto a altura y diámetro de tallo en la etapa de desarrollo con el nivel alto de fósforo, así como un incremento en el rendimiento de 856.64 Kg de maíz en las parcelas fertilizadas comparadas con las parcelas no fertilizadas.

Para áreas de cultivo en Ohio Vitosh *et al.* (1996) recomendaron dosis de fertilización fosfórica con P₂O₅ de 112 Kg ha⁻¹ para obtener un rendimiento potencial de 8.8 t ha⁻¹. Los mismos autores en estudios realizados en Indiana con maíz, recomendaron diferentes dosis de fertilización fosfórica de 95, 106, 112, 123 y 128 Kg ha⁻¹, para obtener rendimientos potenciales de 6.2, 7.5, 8.8, 10.0 y 11.37 t ha⁻¹, respectivamente, en base al contenido de fósforo presente en el suelo. Trabajando en la misma zona Brouder (1996) recomendó bajo condiciones frías, utilizar fertilizantes iniciadores que ayuden a una rápida germinación y crecimiento de las plántulas utilizando dosis: 0-0-0, 28-0-0, 28-19-0 y 28-19-8 kg ha⁻¹ reportando rendimientos de 8.8, 9.0, 9.1 y 9.1 t ha⁻¹, respectivamente.

2.9. Densidad de población

La eficiente intercepción de energía incidente en la superficie del cultivo requiere una adecuada área foliar, distribuida uniformemente para tener un dosel completo. Esto se logra manipulando densidades y su colocación sobre la superficie del terreno (Gardner et al., 1985).

2.9.1. Efecto de la densidad de población en el rendimiento de maíz

Amano y Salazar (1989) trabajando en Filipinas con densidades de población de maíz variedad IPB 2 estimaron un rendimiento de 2.75 t ha⁻¹ con una densidad de población de 60,000 plantas ha⁻¹; y concluyeron que al incrementar la densidad de población aumentó el rendimiento de materia seca total, índice de área foliar y altura de planta, pero disminuyó el índice de cosecha en ambos cultivos y el número de mazorcas por planta. Camacho et al. (1995) obtuvieron en maíz con el híbrido Pioneer 3044 una densidad de 77, 245 plantas ha⁻¹ como la óptima para el Distrito de Riego No. 26 en Tamaulipas con un rendimiento de 7800 Kg ha⁻¹. Sánchez (1995), trabajando en la misma zona coincidió con Camacho (1995), encontrando una densidad óptima de 70,000 plantas ha⁻¹. Sin embargo, el paquete tecnológico para el Norte de Tamaulipas recomienda una densidad de 55,000 plantas ha⁻¹ (INIFAP, 1994). Nagy (1996) trabajando en Hungría en un suelo calcáreo sembrado con diferentes variedades de maíz (Volga, Pannonia SC y DeKalb) estudió el nivel de fertilización (120-90-106) con densidades de plantas (60,000 y 80,000 plantas ha⁻¹) encontrando interacciones significativamente

positivas entre riego y fertilización y entre densidad de plantas y fertilización. Los incrementos en rendimiento se explicaron para fertilizantes en un 48 %, irrigación 28 % y densidad de plantas 6 %. García y Kohashi (1994) en Chiapas estudiando diferentes densidades de población 2, 4, 6, 8 y 10 plantas m² en la variedad Olotón, concluyeron que a medida que la densidad de plantas aumenta, el rendimiento de grano es significativamente afectado.

2.9.2. Efecto de la densidad de población en el rendimiento de sorgo

Blum (1970) demostró mayor rendimiento con híbridos precoces sembrados a densidades de población altas. La superioridad del híbrido precoz con mayor densidad, fue alcanzada por su habilidad para mantener granos grandes a pesar del aumento en la competencia interplanta por agua. Gerik y Neely (1987) encontraron que el ahijamiento se reduce cuando se incrementa la densidad de plantas; debido a la bioregulación de los procesos de ahijamiento y partición de fotosintatos. Los genotipos que tienen habilidad para ahijamiento, no se seleccionan porque se complica la cosecha mecánica, se prolonga la maduración del cultivo, etc. Blum (1967) concluyó que un suelo fértil y baja densidad de plantas, promueve un incremento significativo en el peso de granos por panícula comparado con suelos de baja fertilidad. Stickler *et al.* (1961) reportaron que los rendimientos en sorgo varían grandemente, indicando que este cultivo tiene cierta capacidad para ajustar diferencias entre densidades por cambios en ahijamiento, número de semillas por espiga y peso de semilla. INIFAP (1994) recomienda una

densidad de plantas de 250,000 plantas ha^{-1} para el Norte de Tamaulipas. En experimentos en Tamaulipas con sorgo variedad Pioneer 8244 sembrado en surcos sencillos (125,000 - 435,000 plantas ha^{-1}) y en surcos dobles (187,000- 625,000 plantas ha^{-1}), encontraron que el aumento en la densidad de plantas incrementó significativamente el número de panículas pero redujo peso de panícula, número de granos por panícula y longitud de panícula. Los rendimientos óptimos fueron 187,000 y 250,000 plantas ha^{-1} en surcos sencillos y dobles, respectivamente (Rodríguez *et al.*, 1994).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización del área y situación geográfica.

El estudio se llevó a cabo en el Distrito de Riego No. 26, localizado entre las coordenadas geográficas 25° 40' de latitud norte y 97° 10' y 90° 10' de longitud oeste. Su altitud sobre el nivel del mar varía de 20 a 40 msnm (INEGI, 1995).

3.2. Extensión y límites.

El Distrito de Riego No. 26 comprende un total de 31,000 hectáreas y limita al norte con los Estados Unidos de Norteamérica, al sur con la zona de temporal de esta misma región, al oeste con el Estado de Nuevo León y el municipio de Miguel Alemán, Tamaulipas, al este con los municipios de Matamoros y Valle Hermoso, Tamaulipas.

3.3. Clima.

En el área de influencia predomina el clima BS (h') hw' (e') según la carta climática de Köppen modificada por García (1964).

BS más seco de los esteparios, muy cálido y extremoso

- (h') temperatura de todos los meses mayor de 18 °C
- h temperatura media anual superior a 18 °C
- w' máximo de lluvias en otoño
- (e') muy extremoso (diferencia en temperatura entre el mes más frío y el más caliente mayor de 14 °C).

3.4. Suelos.

Los suelos predominantes son aluviales jóvenes, profundos (más de 200 cm), gris oscuro en la superficie y café pálido en los estratos inferiores, texturas finas (arcillas), permeabilidad de moderada a lenta, relieves planos no mayores de 0.05 %, sin pedregosidad superficial, manto freático de 160 a 200 cm en la mayor parte del año. La fertilidad del suelo en general es alta; contienen carbonatos y sulfatos de calcio en su perfil y aproximadamente un 20 % presenta actualmente salinidad. El pH es ligeramente alcalino, con valores promedio que fluctúan de 7.6 a 7.9 (INEGI, 1983).

3.5. Vegetación.

El Estado de Tamaulipas presenta dos tipos de vegetación: el mezquital y el matorral espinoso. Ambos se desarrollan en terrenos bajos, con suelos predominantemente profundos y arcillosos bajo la influencia de climas cálidos y semicálidos. El mezquital está formado por árboles y arbustos del género *Prosopis*, que toleran condiciones de mal drenaje y

salinidad, de este modo los terrenos, cuando las condiciones señaladas no son limitantes, se encuentran ocupados con más frecuencia por mezquiales.

Los estratos dominantes en el mezquital son el superior, en el que además de mezquites que tienen alturas de 1 - 4 m, se presentan huizaches (Acacia spp.) y ébano (Pithecellobium spp.) entre otras; y en el inferior herbáceo, con pastos y algunas otras plantas de poca altura. El matorral espinoso es una comunidad arbustiva con fisonomía de matorral espinoso y en ocasiones subinermes. Algunas especies típicas son gavia (Acacia amentacia), chaparro prieto (Acacia berlandieri), cenizo (Leucophyllum frutescens), coyotillo (Karwinskia humboldtiana), (Cercidum floridum) (INEGI, 1983).

3.6. Experimento 1. Densidad óptima de plantas en sorgo (Sorghum bicolor (L.) Moench) irrigado en el Norte de Tamaulipas.

3.6.1. Diseño experimental, tratamientos y croquis.

El diseño experimental utilizado fue el de Bloques Completos al Azar con cuatro repeticiones. El factor en estudio fue densidades de siembra que comprendió cuatro niveles: 13, 17, 21 y 25 plantas m^{-1} (151,163; 197,674; 244,186 y 290,698 plantas ha^{-1} , respectivamente). Las unidades experimentales fueron de 5 surcos espaciados a 0.86 m; y 5 m de largo sin separación entre bloques. Como parcela útil se consideraron los tres surcos

centrales de cada unidad experimental. Los tratamientos se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Densidades de plantas por hectárea en el Experimento 1. “Densidad óptima de plantas en sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) irrigado en el Norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.

TRATAMIENTOS	DENSIDAD (pl ha ⁻¹)	DENSIDAD (pl m ⁻¹)
T1	151 163	13
T2	197 674	17
T3	244 186	21
T4	290 698	25

3.6.2. Preparación del suelo y material genético

El experimento se estableció dentro de un área comercial de sorgo propiedad de un productor cooperante del municipio de Díaz Ordaz, Tamps. Por lo que las labores culturales se realizaron de acuerdo al manejo de este productor, el cual es el manejo típico en la región.

Para la preparación del terreno se realizó el desvare de la zoca de maíz, la cual se llevó a cabo en el mes de Septiembre de 1995 después de la cosecha. Posteriormente, en los meses de Octubre y Noviembre, se aplicaron un subsoleo, el rastreo, la nivelación y el bordeo; en Diciembre se construyeron los surcos y regaderas para dar el riego de asiento.

El material genético utilizado fue un híbrido comercial de la Compañía Pioneer cuyas características se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Características del híbrido Pioneer 8133 utilizado en el Experimento 1. “Densidad óptima de plantas en sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) irrigado en el Norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.

CARACTERÍSTICAS	
Ciclo	Tardío
Color de grano	Rojo
Tipo de panoja	Semi compacta
Altura de la planta promedio	1.45 m
Longitud de pedúnculo	20 / 30 cm
Días a cosecha promedio	130
Tolerancia a enfermedades	8

Los tratamientos se distribuyeron en el campo de acuerdo a la Figura 1.

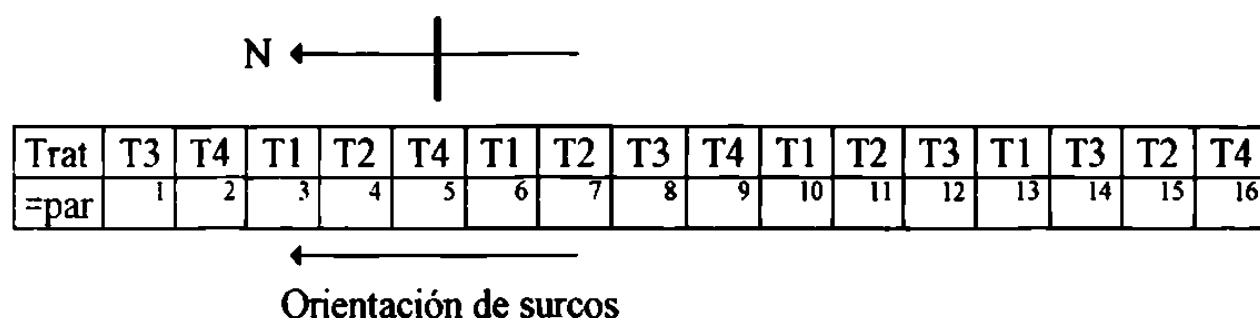


Figura 1. Distribución de los tratamientos en el campo del Experimento 1. “Densidad óptima de plantas en sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) irrigado en el Norte de Tamaulipas” Ciclo O-I 1995-1996.

3.6.3. Establecimiento del experimento y aplicación de tratamientos

La siembra se realizó el 23 de Enero de 1996, efectuada en forma mecánica, utilizando la sembradora hidrostática de plato de succión Max Emerge, a una densidad de siembra alta depositando de 30-35 semillas por metro a una profundidad aproximada de 8 cm. La distancia entre surcos fue

de 0.86 m. Los tratamientos de densidad de población se establecieron el día 21 de Marzo de 1996 cuando ya estaba emergida la plántula (etapa de 4 hojas). Eliminando las plantas excedentes para dejar las densidades adecuadas de 13, 17, 21 y 25 plantas por metro lineal, que equivalen a densidades de 151,163; 197,674; 244,186 y 290,698 plantas ha⁻¹, respectivamente.

3.6.4. Riegos y labores culturales

El paquete tecnológico para producir sorgo de riego en el norte de Tamaulipas es de un riego de asiento y tres de auxilio. Sin embargo, en este ciclo, el riego de asiento no se efectuó, debido a que se presentaron precipitaciones de 6 cm los días del 26 al 28 de Diciembre de 1995. Los tres riegos de auxilio fueron aplicados : el 24 de Marzo, el 27 de Abril y el 23 de Mayo de 1996. Los riegos se aplicaron utilizando el método por surcos con sifones, por lo que el control y distribución del agua se hicieron en forma adecuada y oportuna.

Las labores de cultivo realizadas fueron: bordeo para preparación del riego, control de malezas, control de plagas y fertilización. Para esta última actividad se utilizaron 130 unidades de nitrógeno en dos aplicaciones, el 50% un mes antes de la siembra y el otro un mes después de la siembra; 70 unidades de fósforo en una aplicación un mes antes de la siembra. Como fuente de nitrógeno y fósforo se usaron los fertilizantes amoníaco anhidro

(NH₃) y superfosfato triple (SPT), respectivamente. La aplicación del fertilizante se realizó en banda.

3.6.5. Plagas y enfermedades

Al momento de la siembra se aplicó al suelo un insecticida sistémico Counter® de amplio espectro con ingrediente activo terbufos, del grupo químico organofosforados, para el control preventivo de gallina ciega (Phyllophaga crinita). El cultivo durante el ciclo vegetativo estuvo libre de plagas y enfermedades por lo que no fue necesario la aplicación de otros pesticidas.

3.6.6. Variables estudiadas en el experimento

En el estudio se consideró evaluar las siguientes variables:

3.6.6.1. Altura de planta (cm)

Se tomaron cuatro plantas al azar dentro de cada parcela útil; a cada planta se le midió la altura desde la base del tallo hasta el ápice de la panoja y se expresó en cm.

3.6.6.2. Diámetro de tallo (cm)

Se tomaron cuatro plantas al azar por parcela útil, midiéndose a cada una el diámetro en cm con un vernier, la lectura se tomó aproximadamente a 5 cm de la superficie del suelo.

3.6.6.3. Número de hojas

Se utilizaron cuatro plantas al azar, por tratamiento en cada repetición; se contó el número total de hojas en la etapa de madurez fisiológica del cultivo. El análisis estadístico se realizó con los datos transformados a $\sqrt{X+1}$, estabilizando de esta manera la varianza de los datos con mayor eficacia (Snedecor y Cochran, 1967).

3.6.6.4. Número de hijuelos

La variable número de hijuelos fue evaluada usando cuatro plantas al azar dentro de cada parcela útil, contando el número de hijuelos propagados por la planta madre. El análisis estadístico se realizó con los datos transformados a $\sqrt{X+1}$, estabilizando de esta manera la varianza de los datos con mayor eficacia (Snedecor y Cochran, 1967).

3.6.6.5. Longitud de panoja (cm)

La cuantificación de esta variable se realizó en 10 plantas al azar en cada parcela útil al momento de la cosecha. La longitud se midió en cm desde la base del raquis al ápice de la panoja.

3.6.6.6. Índice de cosecha

Con el rendimiento de grano seco y peso seco total de planta de cuatro plantas cosechadas individualmente, se obtuvo el índice de cosecha (IC) para sorgo, el cuál fue calculado mediante la fórmula:

$$IC = \text{Peso de grano seco} / \text{Peso seco total de la planta.}$$

3.6.6.7. Rendimiento de grano (ton ha⁻¹)

La cosecha se realizó en forma manual el día 8 de Junio de 1996. Se cosecharon los tres surcos centrales eliminando 0.50 m de cabecera por unidad experimental. En el campo se pesó el rendimiento total en Kg. de panojas por parcela útil utilizando una báscula. Se tomaron 10 panojas al azar para realizar la estimación del rendimiento de grano en ton ha⁻¹. Se determinó el contenido de humedad del grano al momento de la cosecha con un determinador de humedad de grano.

3.6.6.8. Dosis óptima fisiológica

Para la estimación de la densidad óptima fisiológica y económica se aplicó un modelo de regresión múltiple de segundo orden (ajuste cuadrático) de acuerdo con la metodología descrita por Martínez (1987) y Olivares (1995).

Para la estimación de la densidad óptima fisiológica se utilizó el modelo:

$$\hat{Y}_i = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 D_i + \hat{\beta}_2 D_i^2$$

donde:

\hat{Y}_i = Rendimiento estimado (Kg ha⁻¹)

$\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2$ = Coeficientes de regresión

D_i = Densidad de población (plantas por m⁻¹)

La derivada respecto a densidad es:

$$\frac{d\hat{Y}}{dD} = \hat{\beta}_1 + 2\hat{\beta}_2 D = 0$$

Por lo que la densidad óptima estimada es:

$$D = \frac{-\hat{\beta}_1}{2\hat{\beta}_2}$$

3.6.6.9. Dosis óptima económica

Para la estimación de la densidad óptima económica se utilizó el modelo:

$$\hat{Y}_\$ = P_p \hat{Y}_i - C_s D_i - C_o$$

donde:

$\hat{Y}_\$$ = Ganancia neta

\hat{Y}_i = Rendimiento estimado por regresión

P_p = Precio de un m lineal del producto

C_s = Costo de un m lineal de semilla

C_o = Otros costos

La derivada respecto a densidad es:

$$\frac{d\hat{Y}}{dD} = \hat{\beta}_1 + 2\hat{\beta}_2 D = \frac{C_s}{P_p}$$

Por lo que la densidad óptima económica es:

$$D = \frac{\frac{C_s}{P_p} - \hat{\beta}_1}{2\hat{\beta}_2}$$

3.6.7. Análisis estadístico de las variables

Para el análisis estadístico de las variables altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas, número de hijuelos, longitud de panoja y rendimiento de grano se utilizó el diseño experimental bloques al azar con muestreo en las unidades experimentales y para rendimiento de grano se utilizó la técnica de parcela perdida debido a que una de las parcelas no presentó la densidad esperada. Las variables que resultaron con diferencia entre tratamientos se evaluaron con el método de comparación de medias de la diferencia mínima significativa y con polinomios ortogonales (Steel y Torrie, 1985)

3.7. Experimento 2. “Respuesta a la aplicación de fósforo en sorgo (Sorghum bicolor (L.) Moench) para grano en el Norte de Tamaulipas”.

3.7.1. Diseño experimental, tratamientos y croquis.

El objetivo inicial del experimento era la evaluación conjunta de fósforo y densidad de siembra en sorgo, utilizando un diseño de tratamientos “San Cristóbal” bajo un diseño experimental de bloques al azar con cuatro repeticiones. Los factores en estudio fueron densidad de plantas y fertilización. El primer factor comprendió cuatro niveles: 150,000; 220,000; 290,000 y 360,000 plantas ha⁻¹; mientras el segundo: 0, 45, 90 y 135 Kg ha⁻¹ de P₂O₅ con superfosfato triple como fuente más otro tratamiento de Nitrofoska (20-10-10 de N₂-P₂O₅-K₂O). Las unidades experimentales fueron de cinco surcos espaciados a 0.86 m y 10 m de largo con una separación entre bloques de 0.50 m. Como parcela útil se consideraron los tres surcos centrales de cada unidad experimental. Los tratamientos evaluados se presentan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Dosis de fertilización fosfórica por hectárea en el Experimento 2. “Respuesta a la aplicación de fósforo en sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) para grano en el Norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.

TRATAMIENTOS	DENSIDADES (pl ha ⁻¹)	P ₂ O ₅ (Kg ha ⁻¹)
T1	150	0
T2	150	90
T3	220	45
T4	220	135
T5	290	0
T6	290	90
T7	360	45
T8	360	250

El factor de densidad no fue posible evaluarlo, se presentó una emergencia muy irregular de las plántulas debido a deficiencias de humedad en el suelo. Por lo anterior, el objetivo final del experimento fue el de evaluar los niveles de fertilización fosfórica en ocho repeticiones para los tratamientos de 0, 45 y 90 Kg ha⁻¹ y cuatro repeticiones para cada uno de los tratamientos de 135 y 250 Kg ha⁻¹ de P₂O₅.

Al no tener las densidades adecuadas, la cosecha se realizó tomando plantas con competencia completa en distancias conocidas dentro de cada parcela útil.

3.7.2. Preparación del suelo y material genético.

El experimento se estableció dentro de un área comercial de sorgo propiedad de un productor cooperante del municipio de Díaz Ordaz,

Tamaulipas por lo que las labores culturales se realizaron de acuerdo al manejo de este productor el cual es representativo del manejo de los mejores productores de la región.

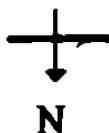
Para la preparación del terreno se realizó el desvare de la zoca de maíz, la cual se llevó a cabo en el mes de Septiembre de 1995. Posteriormente en los meses de Octubre y Noviembre se aplicó un subsoleo, rastreo, nivelación y bordeo; en el mes de Diciembre se realizó la distribución de los tratamientos de fertilización en el campo, la aplicación se realizó en el fondo del surco y después se efectuó un contrabordeo para dejar el terreno listo para la siembra.

El material genético utilizado fue un híbrido comercial de la Compañía Pioneer cuyas características se muestran en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Características del híbrido Pioneer 8133 utilizado en el Experimento 2. "Respuesta a la aplicación de fósforo en sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) para grano en el Norte de Tamaulipas". Ciclo O-I 1995-96.

CARACTERÍSTICAS	
Ciclo	Tardío
Color de grano	Rojo
Tipo de panoja	Semi compacta
Altura de la planta promedio	1.45 m
Longitud de pedúnculo	20 / 30 cm
Días a cosecha promedio	130
Tolerancia a enfermedades	8

Los tratamientos se distribuyeron en el campo según croquis de la Figura 2.



T2 ³²	T7 ³¹	T4 ³⁰	T8 ²⁹	T1 ²⁸	T6 ²⁷	T5 ²⁶	T3 ²⁵
T8 ¹⁷	T1 ¹⁸	T6 ¹⁹	T5 ²⁰	T3 ²¹	T2 ²²	T7 ²³	T4 ²⁴
T3 ¹⁶	T5 ¹⁵	T2 ¹⁴	T7 ¹³	T4 ¹²	T8 ¹¹	T1 ¹⁰	T6 ⁹
T6 ¹	T4 ²	T8 ³	T1 ⁴	T5 ⁵	T3 ⁶	T2 ⁷	T7 ⁸

↓ Orientación de los surcos

Figura 2. Distribución de los tratamientos en el campo del Experimento 2. “Respuesta a la aplicación de fósforo en sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) para grano en el Norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.

3.7.3. Establecimiento del experimento y aplicación de tratamientos.

Los tratamientos de fertilización se establecieron el 20 de Diciembre de 1995. La siembra se realizó el día 23 de Enero de 1996 efectuada en forma mecánica, utilizando la sembradora hidrostática de plato de succión Max Emerge, depositando un promedio de 30-35 semillas por metro lineal de surco a una profundidad de 5 cm. La distancia entre surcos fue de 0.86 m.

3.7.4. Riegos y labores culturales

El paquete tecnológico para producir sorgo de riego en el Norte de Tamaulipas es de un riego de asiento y tres de auxilio. Sin embargo, en este ciclo el riego de asiento no se efectuó, debido a que se presentaron

precipitaciones de 6 cm los días 26-28 de Diciembre de 1995. Los tres riegos de auxilio fueron aplicados en las fechas: el 24 de Marzo, el 27 de Abril y el 23 de Mayo de 1996. Los riegos se aplicaron utilizando el método por surcos con sifones, por lo que el control y distribución del agua se hicieron en forma adecuada y oportuna.

Las labores de cultivo realizadas fueron: el bordeado para preparación del riego, el control de malezas, el control de plagas y la fertilización. Para esta última actividad se utilizaron 130 unidades de nitrógeno en dos aplicaciones el 50% un mes antes de la siembra y el otro un mes después de la siembra. Como fuente de nitrógeno se usó amoníaco anhidro (NH_3). La aplicación del fertilizante se realizó en banda.

3.7.5. Plagas y enfermedades

Antes de la siembra se aplicó al suelo el insecticida Counter® con un ingrediente activo terbufos, del grupo químico organofosforados, para prevenir el ataque de gallina ciega (Phyllophaga crinita). Durante el ciclo vegetativo, el cultivo estuvo libre de plagas y enfermedades por lo que no fue necesario la aplicación de pesticidas.

3.7.6. Variables estudiadas en el experimento

Se evaluaron las siguientes variables: longitud de panoja y rendimiento de grano.

3.7.6.1. Longitud de panoja

Para esta variable se tomaron 10 panojas al azar de cada parcela útil al momento de la cosecha. La longitud se tomó en cm midiendo desde la base del raquis al ápice de la panoja.

3.7.6.2. Rendimiento de grano.

La cosecha se realizó en forma manual el día 9 de Junio de 1996. El número de metros lineales cosechados fueron diferentes (en el rango de 5 a 20 m) en cada tratamiento, ya que el cultivo presentó problemas de germinación por falta de humedad. En campo se pesó el rendimiento total en Kg de panojas en cada unidad experimental. Se tomaron 10 panojas al azar con competencia completa para realizar la estimación del rendimiento de grano respecto al rendimiento de panojas. El contenido de humedad del grano se hizo con un determinador de humedad al momento de la cosecha.

3.7.6.3. Dosis óptima fisiológica

Para la determinación de la dosis óptima fisiológica se aplicó un modelo de regresión múltiple de segundo orden (ajuste cuadrático), con la metodología descrita por Martínez (1987) y Olivares (1995).

Para la estimación de la dosis óptima fisiológica del fósforo se utilizó el modelo:

$$\hat{Y}_i = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 P + \hat{\beta}_2 P^2$$

donde:

\hat{Y}_i = Rendimiento estimado (Kg ha⁻¹)

$\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2$ = Coeficientes de regresión

P= Fósforo

La derivada respecto a dosis es:

$$\frac{d\hat{Y}}{dP} = \hat{\beta}_1 + 2\hat{\beta}_2 P = 0$$

Por lo que la dosis óptima estimada es:

$$P = \frac{-\hat{\beta}_1}{2\hat{\beta}_2}$$

3.7.6.4. Dosis óptima económica

Para la estimación de la dosis óptima económica del fósforo se utilizó el modelo:

$$\hat{Y}\$ = P_p \hat{Y}_i - C_p P - C_o$$

donde:

$\hat{Y}\$$ = Ganancia neta

\hat{Y}_i = Rendimiento estimado por regresión

P_p = Precio de un Kg del producto por ha

C_p = Costo de un Kg de fósforo

C_o = Otros costos

La derivada respecto a dosis es:

$$\frac{d\hat{Y}}{dP} = \hat{\beta}_1 + 2\hat{\beta}_2 P = \frac{C_p}{P_p}$$

Por lo que la dosis óptima económica es:

$$P = \frac{\frac{C_p}{P_p} - \hat{\beta}_1}{2\hat{\beta}_2}$$

3.7.7. Análisis estadístico de las variables.

Para la variable longitud de panoja se utilizó el diseño experimental de bloques completos al azar con muestreo en las unidades experimentales. Como no hubo diferencia significativa entre tratamientos no se realizó la comparación de medias.

La variable rendimiento de grano se evaluó con un diseño experimental completamente al azar; el tratamiento de Nitrofoska fue comparado con los otros tratamientos utilizando el método de comparación de medias de t de Dunnett (Steel y Torrie, 1985) y se usaron polinomios ortogonales para identificar la tendencia de la respuesta a las dosis de fertilización fosfórica.

3.8. Experimento 3. “Densidad óptima de plantas y fertilización fosfórica en sorgo (Sorghum bicolor (L.) Moench) irrigado en el Norte de Tamaulipas”.

El experimento 2 estuvo diseñado para obtener los niveles óptimos de densidad y fósforo considerando la estimación de los efectos principales y la interacción, sin embargo, no fue posible lograr el objetivo debido a que la emergencia fue muy heterogénea por falta de humedad al momento de la siembra, por lo que se planeó nuevamente el experimento en otro lote con un híbrido diferente.

3.8.1. Diseño experimental, tratamientos y croquis

El diseño experimental se estableció bajo un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Se utilizó un diseño de tratamientos “San Cristóbal”, los factores en estudio fueron densidad de plantas y fertilización. En los dos factores se estudiaron cuatro niveles: 150 000, 220 000, 290 000 y 360 000 plantas ha⁻¹; mientras que para fósforo se estudiaron las dosis de 0, 45, 90 y 135 Kg ha⁻¹ de P₂O₅ utilizando superfosfato triple como fuente. Además se evaluó otro tratamiento de Nitrofoska (20-10-10 de N₂-P₂O₅-K₂O). Las unidades experimentales fueron de cinco surcos espaciados a 0.86 m y 10 m de largo con una separación entre bloques de 0.50 m. Como parcela útil se consideraron los tres surcos centrales, eliminando 1.0 m de los extremos. Los tratamientos evaluados se presentan en el Cuadro 5 y su distribución en el campo en la Figura 3.

Cuadro 5. Niveles de densidades de población y fertilización fosfórica en el Experimento 3. “Densidad óptima de plantas y fertilización fosfórica en sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) irrigado en el Norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.

TRATAMIENTOS	DENSIDADES (pl ha ⁻¹)	FÓSFORO (Kg ha ⁻¹)
T1	150	0
T2	150	90
T3	220	45
T4	220	135
T5	290	0
T6	290	90
T7	360	45
T8	360	250

La distribución de los tratamientos en el campo se presentan en la Figura 3.

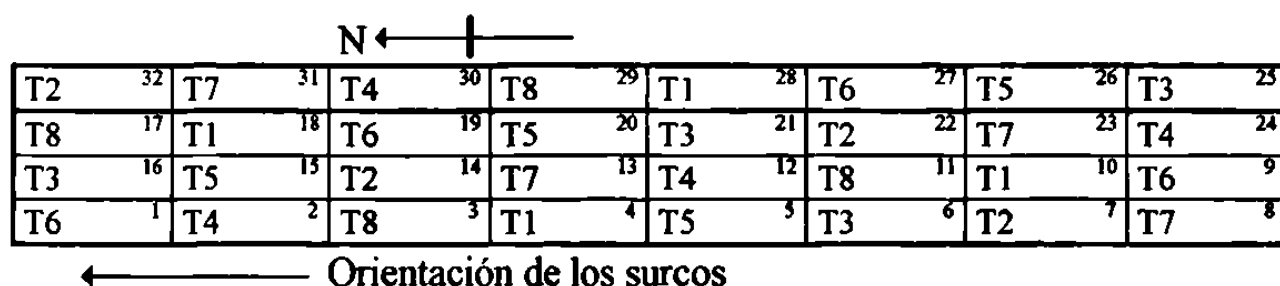


Figura 3. Distribución de los tratamientos en el campo del Experimento 3. “Densidad óptima de plantas y fertilización fosfórica en sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) irrigado en el Norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.

3.8.2. Preparación del suelo y material genético

El experimento se estableció dentro de un área comercial de sorgo propiedad de un productor cooperante del municipio de Díaz Ordaz,

Tamaulipas y las labores culturales se realizaron de acuerdo al manejo de este productor el cual es predominante de la región.

Para la preparación del terreno se realizó el desvare de la zoca de maíz, la cual se llevó a cabo en Septiembre de 1995, después de la cosecha del cultivo anterior. Posteriormente en los meses de Octubre y Noviembre se aplicó un subsleo, el rastreo, la nivelación y el bordeo. En Diciembre se construyeron los surcos y regaderas para dar el riego de asiento, este se realizó hasta el 29 de Febrero de 1996. El material genético utilizado fue un híbrido comercial de la Compañía Pioneer cuyas características se muestran en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Características del híbrido Pioneer 8428 utilizado en el Experimento 3. "Densidad óptima de plantas y fertilización fosfórica en sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) irrigado en el Norte de Tamaulipas". Ciclo O-I 1995-96.

CARACTERÍSTICAS	
Ciclo	Tardío
Color de grano	Rojo
Tipo de panoja	Semi compacta
Altura de la planta promedio	1.40 m
Longitud de pedúnculo	20 / 30 cm
Días a cosecha promedio	130
Tolerancia a enfermedades	8

3.8.3. Establecimiento del experimento y aplicación de tratamientos

La siembra se realizó el 16 de Marzo de 1996, efectuada en forma mecánica a doble surco, con una sembradora hidrostática de plato de succión Max Emerge; para dejar una población alta de plantas. La fertilización para aplicar los tratamientos de fósforo se llevó a cabo el 30 de Marzo de 1996. El establecimiento de las densidades se efectuó el 17 de Abril de 1996. La distancia entre surcos fue de 0.86 m.

3.8.4. Riegos y labores culturales

El paquete tecnológico para producir sorgo de riego en el norte de Tamaulipas es de un riego de asiento y tres de auxilio; sin embargo, en este ciclo el riego de asiento se efectuó el 29 de Febrero de 1996 por ser una siembra tardía. Los riegos de auxilio se aplicaron el 24 de Abril y el 23 de Mayo de 1996 . Los riegos se aplicaron utilizando surcos y sifones, por lo que el control y distribución del agua se hicieron uniformemente.

Las labores de cultivo realizadas fueron: el bordeo para la preparación del riego, el control de malezas y fertilización. Para esta última actividad se utilizaron 130 unidades de nitrógeno en dos aplicaciones el 50% un mes antes de la siembra y el otro un mes después de la siembra. Como fuente de nitrógeno se usó amoníaco anhidro (NH_3). La aplicación del fertilizante se realizó en banda.

3.8.5. Plagas y enfermedades

Se aplicó al suelo el insecticida preventivo Counter® con ingrediente activo terbufos, del grupo químico organofosforados, antes de la siembra para el control de gallina ciega (Phyllophaga crinita). El cultivo durante el ciclo vegetativo estuvo libre de plagas y enfermedades por lo que no fue necesario la aplicación de otros pesticidas.

3.8.6. Variables estudiadas

Durante el desarrollo del cultivo se realizaron dos muestreos con seis plantas marcadas previamente: el 8 y el 25 de mayo de 1996 para las variables: altura de planta, altura a la panoja, diámetro de tallo, número de hojas, número de hijuelos, se tomaron muestras de hojas para análisis foliar y determinar el contenido de fósforo. Además, se hizo un muestreo durante cuatro semanas, tomando cuatro plantas de cada parcela útil para determinar materia seca y finalmente se estimó el rendimiento de grano, el procedimiento seguido para cada variable se da a continuación:

3.8.6.1. Altura de planta (cm)

Se evaluó esta variable tomando seis plantas al azar dentro de cada parcela útil y se procedió a marcarlas con una cinta de color rojo para llevarles un seguimiento en la toma de datos. Esta medición se realizó dos

veces, el 8 y el 25 de Mayo de 1996, durante el desarrollo del cultivo, a cada planta se le midió su altura en cm desde la base del tallo hasta el ápice de la panoja.

3.8.6.2. Altura a la panoja (cm)

Se realizó la evaluación de esta variable tomando las seis plantas marcadas previamente, esta medida se hizo midiendo de la base del tallo hasta la base de la panoja con cinta métrica.

3.8.6.3. Diámetro de tallo (cm)

Se evaluó tomando seis plantas al azar previamente marcadas y se procedió a medirlas en cm con un vernier; la lectura se tomó aproximadamente a los 5 cm de la superficie del suelo.

3.8.6.4. Número de hojas

Se tomaron las plantas previamente marcadas por tratamiento en cada parcela de cada repetición y se contó el número total de hojas, este conteo se llevó a cabo dos veces, el 8 y el 25 de Mayo de 1996, durante el desarrollo del cultivo, obteniendo el número final total.

3.8.6.5. Número de hijuelos

Esta variable fue evaluada tomando las plantas marcadas de cada parcela útil, contando el número de hijuelos junto al tallo principal.

3.8.6.6. Análisis foliar

Se tomaron muestras de la hoja número 7 en la etapa vegetativa del cultivo, en cada unidad experimental. Se analizó el tejido de acuerdo con la metodología propuesta por Chapman y Pratt (1973) para conocer el contenido de fósforo en la hoja.

3.8.6.7. Análisis de crecimiento

Para la obtención de esta variable se realizaron cuatro muestreos semanales los días 8, 15, 22 y 29 de Junio de 1996, tomando cuatro plantas de los surcos laterales de cada parcela útil, se procedió a secar las muestras en el invernadero separando los tallos, las hojas y las panojas; finalmente se pesó el material para expresar el peso seco de cada una de estas partes de las plantas.

3.8.6.8. Rendimiento de grano (Kg ha⁻¹)

La cosecha fue en forma manual el 6 de Julio de 1996. Se cosecharon los tres surcos centrales eliminando 1.0 m de cabecera por unidad experimental. En el campo se determinó el peso en Kg de las panojas en cada parcela útil, utilizando una báscula de plancha. Se eligieron al azar 20 panojas para desgranarlas y estimar la proporción de grano así como el rendimiento de grano por unidad experimental el cual se expresó en Kg ha⁻¹.

3.8.7. Análisis estadístico de las variables

Para las variables altura de planta, altura a la base de la panoja, diámetro de tallo, número de hijuelos, número de hojas, análisis foliar y análisis de crecimiento se utilizó el diseño experimental de bloques completos al azar; además, se utilizó un análisis de correlación para conocer la relación entre las variables mencionadas y el híbrido utilizado.

Para la estimación de cada una de las variables antes mencionadas así como para rendimiento de grano se aplicó un modelo de regresión múltiple. El modelo utilizado fue:

$$\hat{Y}_i = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_1 + \hat{\beta}_2 x_2$$

donde:

\hat{Y}_i = Variable estimada

$\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2$ = Coeficientes de regresión

x_1 = Fertilización fosfórica

x_2 = Densidades de población

3.9. Experimento 4. “Respuesta del cultivo de maíz (Zea mays L.) al fertilizante fosfórico en suelos del Norte de Tamaulipas”.

3.9.1. Diseño experimental, tratamientos y croquis.

El experimento se estableció bajo un diseño experimental de bloques completos al azar. Se evaluaron cinco tratamientos en cuatro repeticiones. Los cuatro primeros tratamientos fueron 0, 45, 90, 135 Kg ha⁻¹ de P₂O₅ siendo la fuente de fósforo el superfosfato triple y el quinto tratamiento fue con Nitrofoska (12-12-17-2-N₂-P₂O₅-K₂O-MgO). Las unidades experimentales fueron de cinco surcos de 10 m de largo con una separación entre bloques de 0.5 m. Como parcela útil se utilizaron los tres surcos centrales de cada unidad experimental. Los tratamientos evaluados se muestran en la Cuadro 7 y la distribución en el campo en la Figura 4.

Cuadro 7. Dosis de fertilización fosfórica en el Experimento 4. “Respuesta del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) al fertilizante fosfórico en suelos del Norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.

TRATAMIENTOS	DOSIS DE FÓSFORO (Kg ha ⁻¹)
T1	0
T2	45
T3	90
T4	135
T5 (Nitrofoska)	250

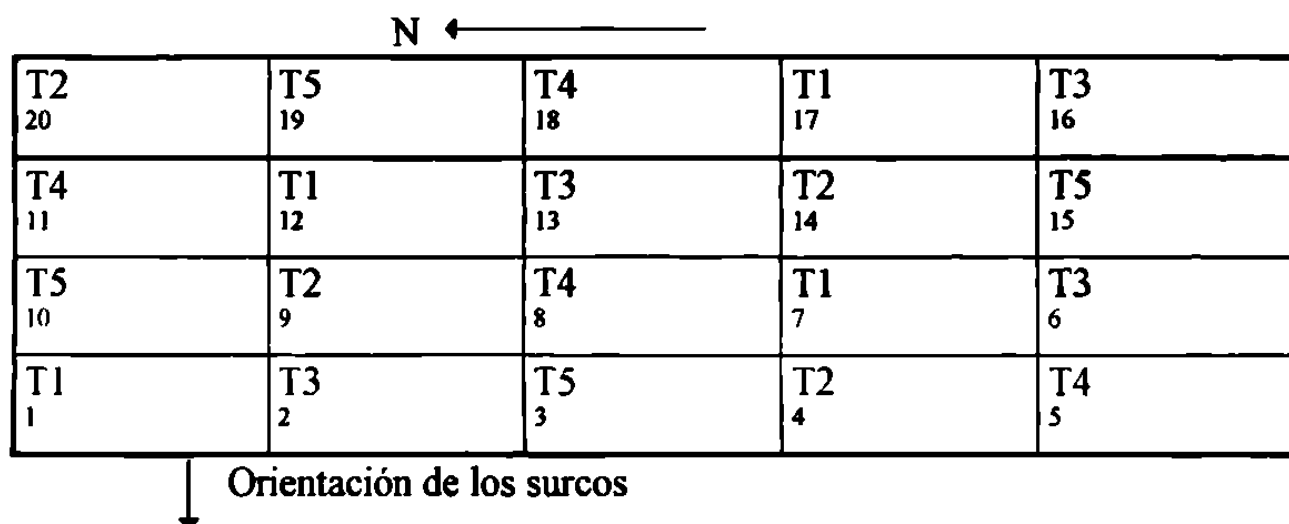


Figura 4. Distribución de los tratamientos en el campo del Experimento 4. “Respuesta del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) al fertilizante fosfórico en suelos del Norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.

3.9.2. Preparación del suelo y material genético

El experimento se estableció dentro de un área comercial de maíz propiedad de un productor cooperante del municipio de Díaz Ordaz, Tamaulipas, dándose las labores culturales acostumbradas en la región.

Para la preparación del terreno se realizó el desvare de la zoca de maíz, la cual se llevó a cabo en Septiembre de 1995, después de la cosecha del cultivo del ciclo anterior. En Octubre y Noviembre se aplicaron un subsoleo, el rastreo, la nivelación y el bordeo; para Diciembre se construyeron los surcos y regaderas para dar el riego de asiento el 29 de Febrero de 1996.

El material genético utilizado fue un híbrido comercial de la Compañía Pioneer cuyas características se muestran en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Características del híbrido Pioneer 3044 utilizado en el Experimento 4. "Respuesta del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) al fertilizante fosfórico en suelos del Norte de Tamaulipas". Ciclo O-I 1995-96.

CARACTERÍSTICAS	
Cruza	Simple
Ciclo	Intermedio
Grano	Blanco
Altura de planta	1.80 m
Altura de mazorca	0.80 m
Días promedio a floración	75
Potencial de rendimiento	Excelente
Densidad de población	55 a 60
Tolerancia al acame	8
Cobertura de mazorca	7
Días promedio a cosecha	145

3.9.3. Establecimiento del experimento y aplicación de los tratamientos

La siembra se realizó el 25 de Enero de 1996, en forma mecánica, con una sembradora hidrostática de plato de succión Max Emerge y depositando de 5 a 6 semillas por metro a una profundidad de 7 cm. La distancia entre surcos fue de 0.92 m.

Los tratamientos de fertilización se establecieron el 10 de Febrero de 1996 en forma manual con la cantidad correspondiente del fertilizante por surco y distribuyéndolo de acuerdo al croquis del experimento. En la misma fecha el productor aplicó 65 unidades de nitrógeno, usando como fuente amoníaco anhidro (NH_3).

3.9.4. Riegos y labores culturales

El paquete tecnológico para producir maíz de riego en el Norte de Tamaulipas (INIFAP, 1994), es de un riego de asiento y tres de auxilio. El riego de asiento no se llevó a cabo debido a precipitaciones de 6 cm los días del 26 al 28 de Diciembre de 1995. Los tres riegos de auxilio fueron aplicados el 19 de Marzo, el 23 de Abril y el 19 de Mayo de 1996. Se utilizaron surcos y sifones para lograr una distribución del agua en forma adecuada.

3.9.5. Plagas y enfermedades

Antes de la siembra se aplicó al suelo el insecticida Counter® con ingrediente activo terbufos, del grupo químico organofosforados, como preventivo contra gallina ciega (Phyllophaga crinita). El cultivo durante todo el ciclo vegetativo estuvo libre de plagas y enfermedades por lo que no fue necesario la aplicación de otros pesticidas.

3.9.6. Variables estudiadas en el experimento

En el estudio se tomaron las variables: altura de planta, altura a la mazorca, diámetro de tallo, área foliar, materia seca en la etapa vegetativa; y a la cosecha se evaluaron: el diámetro de mazorca, la longitud de mazorca, el peso de mazorca, peso de grano, peso de 100 granos, número de hileras de granos por mazorca, número de granos por hilera, peso de olote, diámetro de olote, rendimiento de grano y análisis foliar para el contenido de fósforo.

3.9.6.1. Altura de planta (cm)

Se evaluó esta variable tomando seis plantas al azar dentro de cada parcela útil y se procedió a marcarlas con una cinta de tela color rojo para llevarles un seguimiento en la toma de datos. Esta medición se realizó dos veces el 8 y el 25 de Mayo de 1996 durante la etapa de desarrollo del

cultivo, a cada planta se le midió su altura en cm desde la base del tallo hasta el ápice de la espiga.

3.9.6.2. Altura de la mazorca (cm)

Para la evaluación de esta variable se tomaron seis plantas al azar dentro de cada parcela útil, las cuáles se marcaron para tomar los datos durante el desarrollo del cultivo que se llevaron a cabo dos veces, el 8 y el 25 de Mayo de 1996. La altura se midió en cm desde la base del tallo hasta la base de la espiga.

3.9.6.3. Diámetro de tallo (cm)

Se evaluó tomando seis plantas al azar previamente marcadas y se procedió a medir con un vernier en cm el diámetro, aproximadamente a los 5 cm de la superficie del suelo, los días 8 y 25 de Mayo de 1996.

3.9.6.4. Área foliar (cm²)

A las seis plantas previamente marcadas se les estimó el área foliar de la hoja de la mazorca, midiendo el ancho y el largo en cm y multiplicando por el factor de corrección de 0.75 para maíz (Sepaskhah, 1977).

3.9.6.5. Peso total de materia seca (g)

Esta variable se estimó con las seis plantas marcadas, las cuáles fueron cosechadas y secadas en el invernadero para que perdieran toda la humedad y finalmente se pesaron para expresar el peso total en Kg.

3.9.6.6. Diámetro de mazorca (cm)

Esta variable se evaluó con las seis plantas marcadas de cada parcela útil, se cosecharon y se procedió a medir con un vernier en cm en la parte media de las mazorcas.

3.9.6.7. Longitud de mazorca (cm)

Para esta variable la evaluación se realizó cosechando las mazorcas de las seis plantas cosechadas de cada parcela útil y midiendo en cm el largo de la mazorca desde la base hasta la punta.

3.9.6.8. Peso promedio de mazorca (g)

La evaluación de esta variable se hizo pesando con una balanza granataria las seis mazorcas cosechadas de cada parcela útil obteniendo su promedio.

3.9.6.9. Número promedio de hileras de grano

Se contaron el número de hileras para cada una de las mazorcas cosechadas y se obtuvo el promedio.

3.9.6.10. Número promedio de granos por hilera

Se contó el número de granos por hilera de cada una de las mazorcas de las seis plantas y se obtuvo el promedio.

3.9.6.11. Peso promedio de grano por mazorca (g)

Se procedió a desgranar las seis mazorcas y se pesó el grano individualmente en una balanza granataria para obtener el peso promedio de grano por mazorca.

3.9.6.12. Peso promedio de 100 granos (g)

De las mazorcas desgranadas de las seis plantas cosechadas en cada parcela útil se tomaron 100 granos, se pesaron en una balanza granataria y se calculó el peso promedio.

3.9.6.13. Peso promedio de olote (g)

Después de desgranadas las seis mazorcas de cada parcela útil se pesaron los olotes en la balanza granataria y se obtuvo el promedio en gramos.

3.9.6.14. Diámetro promedio de olote (cm)

En los olotes de las seis mazorcas desgranadas por parcela útil se midió el diámetro en cm en el centro con un vernier y se obtuvo el promedio.

3.9.6.15. Rendimiento de mazorcas (Kg ha⁻¹)

La cosecha fue manual el 6 de Julio de 1996. Se cosecharon los tres surcos centrales eliminando 1.0 m de cabecera por unidad experimental. En el campo se pesó el rendimiento total en Kg de mazorcas cosechadas por parcela útil utilizando una báscula de plancha y el rendimiento de grano en Kg ha⁻¹.

3.9.6.16. Análisis foliar

Se tomaron muestras de la hoja junto a la mazorca en cada parcela útil para efectuar un análisis foliar y determinar fósforo por el método de azul de molibdeno (Chapman y Pratt, 1973).

3.9.7. Análisis estadístico de las variables

Para las variables altura de planta (cm), altura de la mazorca (cm), diámetro de tallo (cm), área foliar (cm), materia seca (g), diámetro de mazorca (cm), longitud de mazorca (cm), peso de mazorca (g), número de hileras de granos, número de granos por hilera, peso de grano por mazorca (g), peso de 100 granos (g), peso de olote (g), diámetro de olote (cm), rendimiento de mazorcas (Kg ha^{-1}), contenido de fósforo en las hojas y análisis foliar se realizaron análisis de varianza mediante un diseño de bloques completos al azar.

Para la variable rendimiento de grano, se realizó un análisis de regresión múltiple incluyendo como covariable el número total de plantas cosechadas y como variable independiente los diferentes niveles de fósforo aplicados.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Experimento 1. “Densidad óptima de plantas en sorgo (Sorghum bicolor (L.) Moench) irrigado en el Norte de Tamaulipas”.

Los resultados para las variables evaluadas en este experimento se presentan a continuación:

4.1.1. Altura de planta

Los resultados del análisis de varianza para la variable altura de planta (Cuadro A1) indican que no existe diferencia significativa entre tratamientos; sin embargo, las medias por tratamientos se presentan en el Cuadro 9 en orden descendente.

Cuadro 9. Medias de la variable altura de planta en el Experimento 1. “Densidad óptima de plantas en sorgo (Sorghum bicolor (L.) Moench) irrigado en el Norte de Tamps”. Ciclo O-I 1995-96.

TRATAMIENTOS (pl m ⁻¹)	MEDIAS (cm)
17	135
25	133
13	132
21	132

Los resultados obtenidos no coinciden con los encontrados con Stickler *et al.* (1961) en el cultivo de sorgo donde mencionan que la altura de

planta aumenta cuando la densidad se incrementa lo que puede ser atribuido a la competencia por luz. Bajo luz limitada, la elongación de internudos es una respuesta común de la planta, aquí no se presentaron diferencias tan marcadas, esto pudo ser debido a que la competencia entre plantas por luz no fue limitante cuando se incrementaron las densidades.

4.1.2. Diámetro de tallo

En el Cuadro A1 se observa que hay diferencia significativa entre los tratamientos. En el Cuadro A2 en el análisis de polinomios ortogonales la tendencia cuadrática fue significativa. En el Cuadro 10 puede observarse que sólo la mayor densidad de 25 plantas m^{-1} fue la que significativamente redujo el diámetro de tallo respecto a la densidad de 17 plantas m^{-1} . Contrario a lo que se esperaría, la densidad menor de 13 plantas m^{-1} fue estadísticamente igual a las densidades de 21 y 25 plantas m^{-1} . Por otro lado, considerando que a la densidad de 25 plantas m^{-1} se presentó el menor diámetro de tallo, estos resultados coinciden con los de Arizpe (1985) y Gómez (1992) quienes reportaron que a medida que se aumentó la densidad de plantas los tallos fueron más frágiles y delgados. Una densidad alta de plantas es un factor determinante en la disponibilidad de luz en la parte inferior del dosel, lo que hace que los internudos de plantas sombreadas sean más etiolados; se cree es debido al aumento de auxinas que actúan en forma sinérgica con el ácido giberélico.

Cuadro 10. Medias de la variable diámetro de tallo en el Experimento 1. “Densidad óptima de plantas en sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) irrigado en el Norte de Tamps”. Ciclo O-I 1995-96.

TRATAMIENTO (pl m ⁻¹)	MEDIAS (cm)
17	1.4419 a ¹
21	1.3894 ab
13	1.3781 ab
25	1.2950 b

¹ Letras diferentes indican que hay diferencia significativa entre las medias. DMS= 0.1014

4.1.3. Número de hojas

El análisis estadístico en el Cuadro A1 para la variable número de hojas no mostró diferencia significativa entre tratamientos. En el Cuadro 11 de medias de tratamientos, se observan diferencias muy pequeñas esto es debido a que el número de hojas es altamente controlado por el genotipo y poco afectado por el ambiente. Cuando hay disminución de hojas inferiores la causa parece ser una competencia con la inflorescencia por nutrientes (Gardner *et al.*, 1985). En otros trabajos realizados en sorgo se encontró que el número total de hojas en el tallo principal tiende a reducirse aproximadamente en dos hojas por planta cuando la densidad de plantas se incrementa de 2.5-22.3 plantas m² (Gerik y Neely, 1987), lo cual no fue observado en el presente experimento. No se encontraron diferencias en el número de hojas entre las densidades, lo que puede deberse a que el número de hojas se determina aproximadamente a los 30 o 40 días después de la siembra cuando todavía los efectos de la competencia no son muy marcados.

Cuadro 11. Medias de la variable número de hojas en el Experimento 1. “Densidad óptima de plantas en sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) irrigado en el Norte de Tamps”. Ciclo O-I 1995-96.

TRATAMIENTO (pl m ⁻¹)	MEDIAS
17	8.93
13	8.81
21	8.81
25	8.68

4.1.4. Número de hijuelos

En el Cuadro A1 se observa que para esta variable no se encontró diferencia significativa entre tratamientos. En el cuadro 12 se presentan las medias por tratamientos en forma decreciente; y se observa que no hubo una tendencia definida para esta característica debido a que el número de plantas con hijuelos fue muy pequeño. La poca variación en el número de hijuelos está asociada con el híbrido usado en la prueba, puesto que se sabe que el número de hijuelos se incrementa al disminuir la densidad (Gerik y Neely, 1987). Gardner *et al.* (1985) mencionaron que el sorgo es una especie que puede aumentar el área foliar y el número de unidades reproductivas por ahijamiento a densidades de población bajas. A densidades altas el ahijamiento es restringido ya que el grado de competencia inter e intraplanta por minerales, fotosintatos, luz y agua determinan la cantidad de hijuelos que podrán alcanzar la madurez. Posiblemente el rango de plantas por m² no fue lo suficientemente amplio para observar este efecto.

Cuadro 12. Medias de la variable número de hijuelos en el Experimento 1. “Densidad óptima de plantas en sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) irrigado en el Norte de Tamps”. Ciclo O-I 1995-96.

TRATAMIENTOS (pl m ⁻¹)	MEDIAS
21	0.50
25	0.37
13	0.25
17	0.18

4.1.5. Longitud de panoja

El análisis de varianza para longitud de panoja del Cuadro A1, se observó una diferencia altamente significativa entre tratamientos. En el Cuadro A2 en el análisis de polinomios ortogonales la tendencia lineal fue significativa, observándose que en las menores densidades de población de 13 y 17 plantas m⁻¹ se tuvo la mayor longitud de panoja como se observa en el Cuadro 13. La relación lineal detectada se da en la Figura 5 en la regresión entre densidad de plantas y longitud de panoja indica que a medida que se incrementa una planta por metro lineal, la longitud de panoja disminuye en 0.32 cm.

Cuadro 13. Medias de la variable longitud de panoja en el Experimento 1. “Densidad óptima de plantas en sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) irrigado en el Norte de Tamps”. Ciclo O-I 1995-96.

TRATAMIENTOS (pl m ⁻¹)	MEDIAS (cm)	
13	24.11	a ¹
17	22.75	a
21	22.10	ab
25	20.06	b

¹ Letras iguales indican que no hay diferencia entre medias. DMS= 2.328

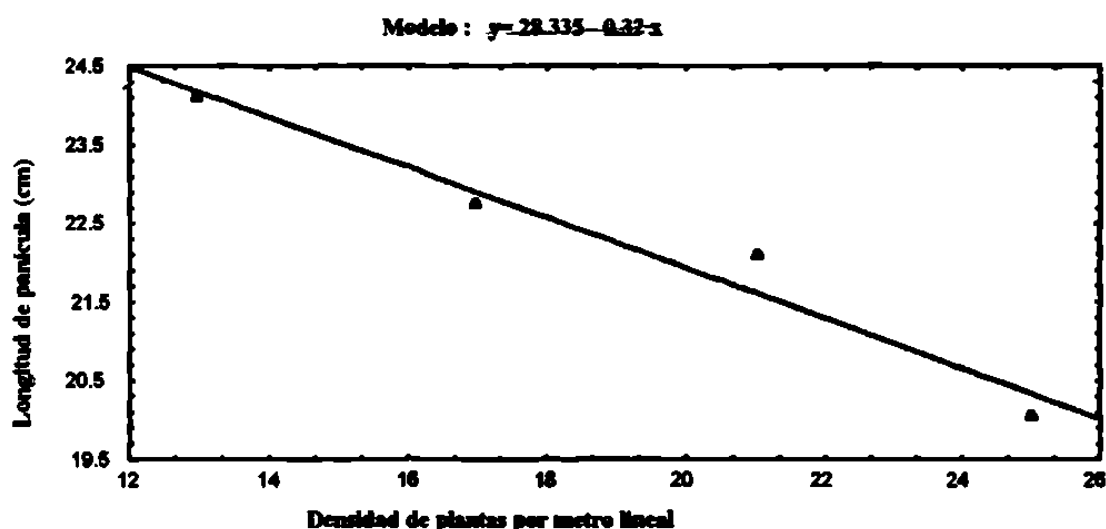


Figura 5. Relación entre longitud de panoja y densidad de plantas en el Experimento 1. “Densidad óptima de plantas en sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) irrigado en el Norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.

En trabajos realizados sobre densidades de plantas en sorgo, se encontraron resultados similares a los de la presente investigación; en donde a menor densidad de plantas se promueve la elongación de la panoja debido a la menor competencia. Blum (1967) atribuyó esta relación al aumento internodal de 8 espiguillas y al incremento en el número de internudos del raquis.

4.1.6. Índice de cosecha

El análisis de varianza para el índice de cosecha se da en el Cuadro A3 en el cual no existe diferencia significativa entre tratamientos. En el Cuadro 14 se muestran las medias por tratamientos.

Según Stoskopf (1981) y Gardner *et al.* (1985) el índice de cosecha es la proporción de rendimiento económico respecto al rendimiento biológico. En trabajos realizados en avena y maíz se han encontrado incrementos en rendimiento aumentando rendimiento biológico e índice de cosecha. En cacahuete los incrementos en el rendimiento van desde un 23% hasta 51% debido al incremento en el índice de cosecha.

Cuadro 14. Medias de la variable índice de cosecha en el Experimento 1. "Densidad óptima de plantas en sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) irrigado en el Norte de Tamps". Ciclo O-I 1995-96.

TRATAMIENTOS (pl m ⁻¹)	MEDIAS
17	0.4224
21	0.4220
13	0.4200
25	0.4000

4.1.7. Rendimiento de grano

En el Cuadro A4 se presentan los resultados del análisis de varianza, los cuales indican diferencia significativa entre tratamientos ($p = 0.04$). En el Cuadro 15 el rendimiento máximo estimado de 7.9 Ton ha⁻¹ fue con la densidad de población de 21 plantas m⁻¹. El análisis de varianza, mediante polinomios ortogonales (Cuadro A5), detectó una tendencia cuadrática altamente significativa, observándose que a medida que aumenta la densidad hasta 21 plantas m⁻¹ el rendimiento se incrementó y después de esta densidad el rendimiento disminuyó. El análisis de regresión entre densidad de plantas

y rendimiento de grano mostró efectos lineales y cuadráticos significativos, (Cuadro A6 y A7).

Cuadro 15. Medias de la variable rendimiento de grano en el Experimento 1. "Densidad óptima de plantas en sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) irrigado en el Norte de Tamps". Ciclo O-I 1995-96.

TRATAMIENTOS (pl m ⁻¹)	MEDIAS (Ton ha ⁻¹)	
21	7.911	a ¹
17	7.159	b
13	7.029	b
25	6.737	b

¹ Letras iguales indican que no hay diferencia entre las medias. DMS= 0.7384

Blum (1970) encontró que en sorgo el rendimiento no es afectado drásticamente por un rango amplio de densidades de plantas; esto es debido a su habilidad para compensar a través de componentes de rendimiento sus cambios en el espacio disponible. Por lo que a densidades bajas hay un incremento en el peso de grano por panoja comparado con densidades altas. Esto último concuerda con Gardner *et al.* (1985) quienes encontraron que el rendimiento por planta disminuyó cuando el número de plantas se incrementó, aunque se incrementan las panojas por hectárea, la cantidad de granos por panoja disminuyen proporcionalmente; esto puede ser debido a la competencia que se da entre e intra plantas en una densidad de población alta.

4.1.8 Densidad óptima fisiológica

En el Cuadro A7 se presentan los coeficientes de regresión para los efectos lineales y cuadráticos de la densidad de plantas, los cuales fueron significativos ($p=0.05$ y $p=0.04$), aunque el coeficiente de determinación del análisis de regresión solo explicó un 32 % de la varianza del rendimiento. El modelo estimado fue:

$$\hat{Y}_i = 1072.768088 + 667.405061D_i - 16.757388D_i^2$$

donde :

\hat{Y}_i = Rendimiento estimado (Kg ha^{-1})

D_i = Densidad de población (plantas por metro)

Utilizando la expresión para la densidad de población óptima fisiológica de la página No. 26 y sustituyendo:

$$D = \frac{-667.405061}{2(-16.757388)} = 19.91$$

Se encontró que la densidad óptima fisiológica obtenida fue de 19.91 plantas por metro, lo que equivale a 231,511 plantas ha^{-1} . Este resultado indica que lo propuesto por INIFAP (1994) de recomendar 250,000 plantas ha^{-1} para la región está ligeramente por arriba de lo encontrado en el presente estudio.

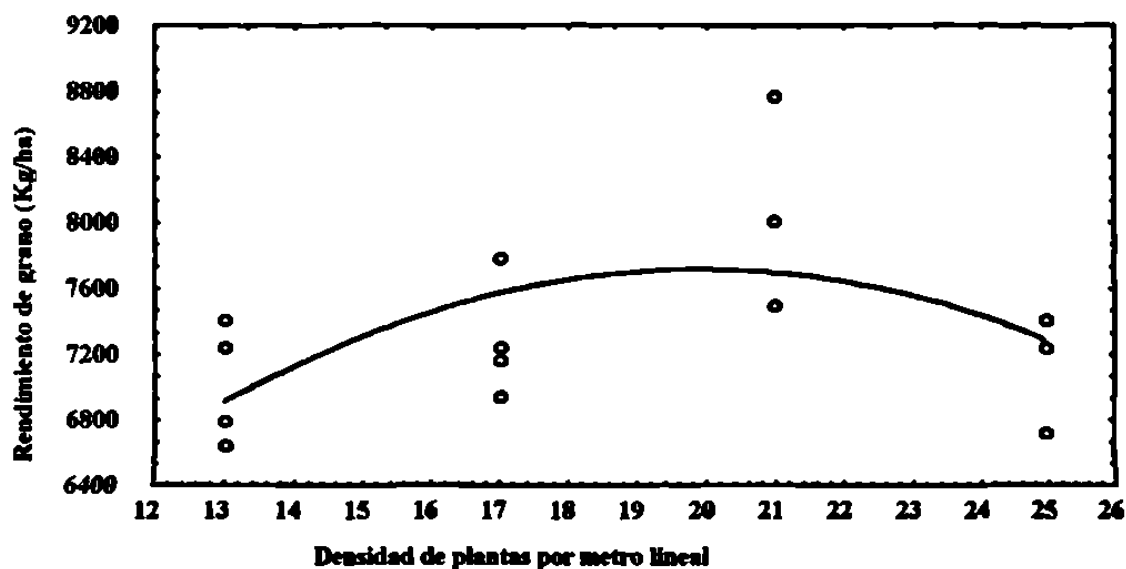


Figura 6. Densidad óptima fisiológica en el Experimento 1. “Densidad óptima de plantas en sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) irrigado en el Norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.

4.1.9. Densidad óptima económica

El valor de la densidad óptima económica fue estimado mediante la ecuación:

$$D = \frac{\frac{C_s}{P_p} - \hat{\beta}_1}{2\hat{\beta}_2} = \frac{\frac{11}{1.2} - 667.405061}{2(-16.757388)} = 19.64$$

donde:

C_s = Costo de la siembra de una semilla /m lineal /hectárea (\$)

P_p = Precio de venta de un Kg del producto (\$)

β_1 y β_2 = Coeficientes de regresión

La dosis óptima económica de 19.64 plantas por metro equivalen a 228, 372 plantas ha^{-1} . Este valor, desde un punto de vista práctico, es equivalente al de la densidad de población óptima fisiológica, por lo que el costo de la semilla no tiene un impacto importante sobre un pequeño incremento en la densidad de siembra.

4.2. Experimento 2. “Respuesta a la aplicación de fósforo en sorgo (Sorghum bicolor (L.) Moench) para grano en el Norte de Tamaulipas”.

Para las variables evaluadas en este experimento los resultados son los siguientes:

4.2.1. Longitud de panoja

En el Cuadro A8, se observa que para la variable longitud de panoja los resultados del análisis de varianza mostraron que no existe diferencia significativa entre tratamientos; debido a esto, las medias de tratamientos no presentan diferencias para este caracter entre las dosis de fertilización (Cuadro 16).

Cuadro 16. Medias de la variable longitud de panoja de cuatro niveles de fósforo y Nitrofoska en el Experimento 2. “Respuesta a la aplicación de fósforo en sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) para grano en el Norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.

TRATAMIENTOS (Kg ha⁻¹ P₂O₅)	MEDIAS (cm)
90	26.96
45	26.08
250	25.93
0	25.46
135	25.07

4.2.2. Rendimiento de grano

El rendimiento de grano fue superior a la media regional (INIFAP, 1994; INEGI, 1996). A pesar de que las plantas no emergieron uniformemente debido a la falta de humedad al momento de la siembra; sin embargo, el lote donde se estableció el experimento estuvo manejado adecuadamente.

En este experimento se evaluaron cuatro niveles de fósforo y un tratamiento adicional de 250 Kg ha⁻¹ de Nitrofoska. En el Cuadro A9 se da el análisis de varianza para rendimiento de grano por hectárea en el cual hay diferencia significativa entre tratamientos. Las medias de rendimiento por tratamiento se presentan en el Cuadro 17, en donde se observa que el tratamiento de Nitrofoska fue superior al tratamiento sin fertilización fosfórica. También se puede apreciar que el tratamiento de Nitrofoska tuvo una media de rendimientos superior a los otros tratamientos, aunque la diferencia no fue significativa estadísticamente. El fertilizante Nitrofoska

tiene una fórmula 20-10-10, la cual se aplicó en dosis de 250 Kg ha⁻¹, lo que equivale a una aplicación de 45 Kg de N, 25 Kg de P₂O₅ y 25 Kg de K₂O; estos resultados sugieren que el incremento en rendimiento con este tratamiento se debe al efecto del nitrógeno y/o el potasio, por lo que en futuros experimentos con estos nutrientes se consideren dosis más altas de 130 Kg ha⁻¹ de nitrógeno y aplicaciones de potasio.

Cuadro 17. Comparación de medias de Nitrofoska con los tratamientos de fósforo para rendimiento de grano en el Experimento 2. “Respuesta a la aplicación de fósforo en sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) para grano en el Norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.

MEDIA TESTIGO NITROFOSKA (Kg ha ⁻¹)	MEDIAS DE TRATAMIENTOS (Kg ha ⁻¹)	
10530.46	T ₁ = 9452.38	Diferentes
10530.46	T ₂ = 10123.38	Iguales
10530.46	T ₃ = 10400.24	Iguales
10530.46	T ₄ = 9617.73	Iguales

En el Cuadro A10 se encontró un efecto cuadrático en la respuesta en el rendimiento por efecto de los tratamientos con fertilización fosfórica, lo cual se comprobó en el análisis de regresión múltiple que resultó significativo como se aprecia en los Cuadros A11 y A12.

En la Figura 7 se presenta la respuesta en el rendimiento de grano en función de los niveles de fertilización fosfórica y se observa que el nivel máximo de rendimiento estaría dado por la fertilización con fósforo entre los

niveles de 40 y 85 Kg ha⁻¹, lo que obligó a la estimación de las dosis óptimas fisiológicas y económicas.

4.2.3. Dosis óptima fisiológica

El análisis de varianza y las pruebas de t para los coeficientes de regresión mostraron significancia estadística (Cuadro A12 y Figura 7); aunque el coeficiente de determinación del análisis de regresión solo explicó el 30 % de la varianza del rendimiento. La dosis óptima fisiológica fue estimada mediante el modelo:

$$\hat{Y}_i = 9418.482026 + 25.504834P - 0.174737P^2$$

donde :

\hat{Y}_i = Rendimiento estimado (Kg ha⁻¹)

P_i = Dosis de fósforo (Kg ha⁻¹)

La dosis óptima fisiológica fue:

$$P = \frac{-25.504834}{2(-0.174737)} = 72.98$$

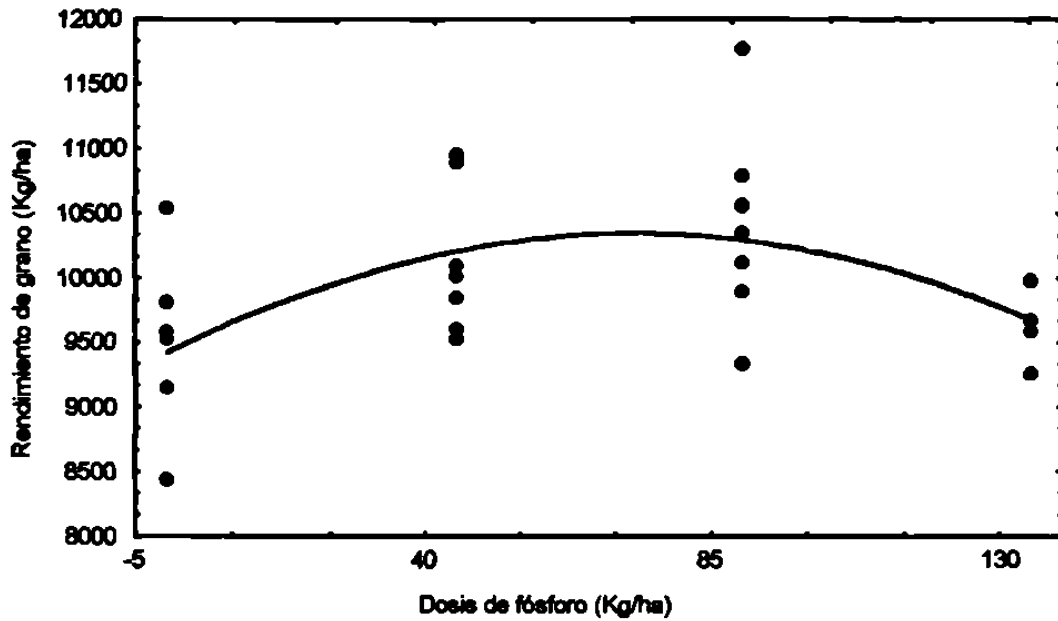


Figura 7. Dosis óptima fisiológica de fósforo en el Experimento 2. “Respuesta a la aplicación de fósforo en sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) para grano en el Norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.

4.2.4. Dosis óptima económica

El valor de la dosis óptima económica fue estimada mediante la ecuación:

$$DOE = \frac{\frac{C_p}{P_p} - \hat{\beta}_1}{2\hat{\beta}_2} = \frac{\frac{4}{12} - 25.504834}{2(-0.174737)} = 63.42$$

donde:

C_p = Costo de un Kg de fósforo (\$)

P_p = Precio de venta de un Kg del producto (\$)

β_1 y β_2 = Coeficientes de regresión

En la mayoría de los experimentos en donde se han probado niveles de fósforo, el rendimiento no disminuye en las dosis altas debido a que cuando se aplica como superfosfato de calcio triple no es tóxico para las plantas (Tisdale y Nelson, 1985). Olivares (1983) estudió niveles de hasta 15,132 Kg ha⁻¹ de P₂O₅ y no encontró detrimentos en el rendimiento de materia seca de alfalfa; sin embargo, en el presente estudio se observó que el rendimiento disminuyó cuando se aplicaron 135 Kg ha⁻¹ de P₂O₅; esto fue debido a que después de la aplicación del fertilizante no se realizó el riego de asiento previo a la siembra, por lo que las plantas al inicio del período vegetativo mostraron estrés de humedad, principalmente en las dosis altas de fósforo. Esta observación conduce a pensar que las dosis óptimas fisiológica y económica para sorgo bajo condiciones adecuadas de humedad pudieran ser mayores que las reportadas en este estudio. Olivares *et al.* (1995) en otros experimentos en este mismo terreno mostraron que la aplicación de 70 Kg ha⁻¹ de P₂O₅ fueron suficientes para obtener resultados óptimos de maíz. Por otra parte, es importante señalar que la dosis óptima fisiológica obtenida en este estudio es mayor que la recomendada por INIFAP (1994) en el paquete tecnológico para producir sorgo de riego en el norte de Tamaulipas, la cual es de 40 Kg ha⁻¹ de P₂O₅, por lo que, considerando los resultados del presente estudio, es conveniente revisar con experimentos complementarios, la recomendación del paquete tecnológico.

4.3. Experimento 3. “Densidad óptima de plantas y fertilización fosfórica en sorgo (Sorghum bicolor (L.) Moench) irrigado en el norte de Tamaulipas”.

4.3.1. Altura de planta, 4.3.2. altura a la panoja. 4.3.3. diámetro de tallo, 4.3.4. número de hojas y 4.3.5. número de hijuelos y 4.3.7. rendimiento de grano.

En el Cuadro A13 se presentan los cuadrados medios de los análisis de varianza para altura de planta, altura a la panoja, diámetro de tallo, número de hojas y número de hijuelos, en donde se observa que los tratamientos no mostraron efecto sobre estas variables. Las medias de tratamientos se presentan en el Cuadro 18, en donde se observa la poca variación entre los valores. En general, la fertilización fosfórica y las densidades de siembra no mostraron efectos importantes sobre el desarrollo de la planta. Este resultado puede ser debido a que la fertilización fosfórica fue aplicada en la etapa de la cuarta hoja. En cuanto a las densidades, no se encontraron los efectos esperados debido a que no se aplicó el último riego de auxilio.

Con la finalidad de caracterizar las relaciones entre las variables antes mencionadas en el híbrido Pioneer 8428 bajo el sistema de producción utilizado, se hizo un análisis de correlación para estas variables y se encontró que altura a la panoja estuvo correlacionada positivamente con altura de planta y diámetro de tallo, lo que muestra que las plantas más altas fueron las más vigorosas. La altura de la panoja estuvo negativamente correlacionada

con el número de hojas, mostrando que las plantas más altas tenían un menor número de hojas indicando una posible competencia entre plantas. Diámetro de tallo está correlacionado positivamente con número de hijuelos y con número de hojas en forma negativa lo que indica que las plantas más vigorosas en cuanto a diámetro de tallo tuvieron un mayor número de hijuelos, sin embargo tuvieron un menor número de hojas (Cuadro A14).

Cuadro 18. Medias de tratamientos para las variables altura de planta, altura a la panoja, diámetro de tallo, número de hijuelos, número de hojas y rendimiento de grano en el Experimento 3. “Densidad óptima de plantas y fertilización fosfórica en sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) irrigado en el norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-1996.

Tratamientos Kg. ha ⁻¹ - pl ha ⁻¹ (P ₂ O ₅) (miles)	Altura de planta (cm)	Altura a la panoja (cm)	Diámetro de tallo (cm)	Número de hijuelos No.	Número de hojas No.	Rendi- miento Kg ha ⁻¹
00 - 150	134	109	163	2.04	7.79	5806.9
90 - 150	130	101	190	2.42	8.17	5870.8
45 - 220	177	166	225	2.25	7.83	5633.4
135 - 220	136	108	170	1.83	8.38	5679.0
00 - 290	133	108	162	2.04	7.88	5560.3
90 - 290	132	107	177	2.46	8.21	5505.6
45 - 360	137	110	170	2.08	8.42	5514.7
250 - 360	140	113	169	2.46	7.92	5459.9

4.3.6. Contenido de fósforo

En el Cuadro A15 se presenta el análisis de varianza para la variable contenido de fósforo en el tejido vegetal, encontrándose diferencia significativa entre tratamientos. La comparación de medias de tratamientos

se presenta en el Cuadro 19, en donde se aprecia que la plantas a las que se les aplicó el fertilizante Nitrofoska tuvieron el mayor porcentaje de fósforo en las hojas comparado con el testigo, seguido de la aplicación de 135 Kg ha⁻¹ de P₂O₅. En forma general, se aprecia que la concentración de fósforo en las hojas se incrementa a medida que se incrementa la fertilización fosfórica.

Cuadro 19. Medias por tratamientos de la variable contenido de fósforo en las hojas del Experimento 3. “Densidad óptima de plantas y fertilización fosfórica en sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) irrigado en el norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.

TRATAMIENTOS Kg. ha ⁻¹ (P ₂ O ₅)	MEDIAS (% de P)
250 (Nitrofoska)	0.2450 a ¹
135	0.2125 ab
45	0.1900 abc
90	0.1800 bc
0	0.1475 c

¹Letras diferentes indican diferencias entre medias DMS= 0.0590

La concentración de fósforo en el tejido vegetal resultó de 0.24, menor que el nivel crítico reportado para sorgo por Sumner (1979) y Reuter y Robinson (1986) el cuál fue de 0.3 a 0.4%. Esto indica que los suelos en donde se realizó el experimento son deficientes en este elemento. Esto coincide con lo reportado por Sánchez (1995) y Valdez (1997), quienes encontraron valores de fósforo por debajo de la media reportada en los rangos críticos. Esto puede ser debido a que los suelos de esta región son bajos en materia orgánica, de origen calcáreo y con pH alto (Sánchez, 1995), lo que resulta en contenidos bajos de fósforo en la solución del suelo. Además, los suelos de la región se han cultivado extensivamente desde hace

50 años y la remoción de nutrientes ha sido continua durante este tiempo. Aunado a que los cultivares mejorados como los híbridos de alto rendimiento requieren mayores cantidades de nutrientes para alcanzar su rendimiento potencial ocasionando que el contenido de fósforo en el suelo no sea suficiente en los períodos de máxima demanda.

4.3.7. Modelo para estimar rendimiento de grano

El análisis de varianza para rendimiento de grano no mostró diferencias significativas entre los tratamientos (Cuadro A13). En el Cuadro 18 se presentan las medias de rendimiento por tratamientos, en donde se observa que los rendimientos disminuyen al incrementarse la densidad de siembra. Para estudiar mejor esta tendencia se realizó un análisis de polinomios ortogonales (Cuadro A20) y un análisis de regresión lineal simple considerando como variable independiente al número de plantas cosechadas y como variable dependiente el rendimiento. En este análisis se encontró una tendencia lineal significativa (Cuadros A21 y A22).

El modelo estimado fue:

$$\hat{Y}_i = 6227.4867 - 2.544794X_i$$

lo que indica que a medida que se incrementaba una planta por parcela, el rendimiento disminuía en 2.54 Kg ha⁻¹. Este efecto negativo del incremento

en densidad se debió a que en la etapa de llenado de grano hubo estrés de humedad por la falta del último riego de auxilio. Esto coincide con lo presentado por Blum (1970) quién mencionó que si una planta de sorgo tiene una entrada limitada de agua la competencia entre e intra planta puede determinar el número de granos y el aumento de peso de cada grano. Concordando con lo encontrado por Day e Intalap mencionados por Mengel y Kirkby (1982) quienes encontraron que el estrés de agua a espigamiento resulta en una reducción en el número de espigas por unidad de área y también en granos por panoja. El estrés de agua durante la floración acelera el proceso de maduración, así la panoja tiene granos más pequeños y rendimientos de grano más bajos.

4.3.8. Análisis de crecimiento.

El estudio de crecimiento se inició a los 84 días después de la siembra, en donde se tomaron cuatro plantas por parcela cada semana durante cuatro semanas. En el Cuadro A15 se presenta el análisis de varianza para la variable materia seca total por planta. Se encontró en promedio, que el peso de materia seca por planta disminuyó a medida que se incrementaron las densidades, lo mismo ocurrió con el peso de hojas, el peso de tallos y el peso de panojas (Cuadros A16, A17, A18 y A19). Estos resultados coinciden con los reportados por Rodríguez *et al.* (1994), quienes encontraron que al incrementar la densidad en el rango de 125,000 a 435,000 plantas ha^{-1} se redujo el tamaño y peso de la panoja.

La producción de materia seca es la resultante de la fotosíntesis y la respiración. Las velocidades de estos procesos fisiológicos difieren entre los órganos, edad y condiciones de cultivo (Gardner *et al.*, 1985). Para la variable materia seca total se puede observar en la Figura 8 que los tratamientos con las densidades más bajas presentaron mayor acumulación de materia seca; sin embargo, a medida que se incrementaron las densidades de población la acumulación de materia seca disminuyó.

En la comparación de los tratamientos T1 vs T5, los cuales tienen la misma cantidad de fósforo pero diferente densidad de población hay mayor acumulación de materia seca en el tratamiento de menor densidad de población debido a que existe menor competencia por nutrientes, humedad y luz, lo mismo sucede con los tratamientos T3 vs T7 y T2 vs T6. El tratamiento 8 fue diferente a los demás, se aplicó 250 Kg del fertilizante Nitrofoska y mayor densidad de población y fue el que acumuló menor cantidad de materia seca ya que a medida que aumenta la densidad de plantas estas se encuentran bajo estrés compitiendo por humedad, fertilidad y luz.

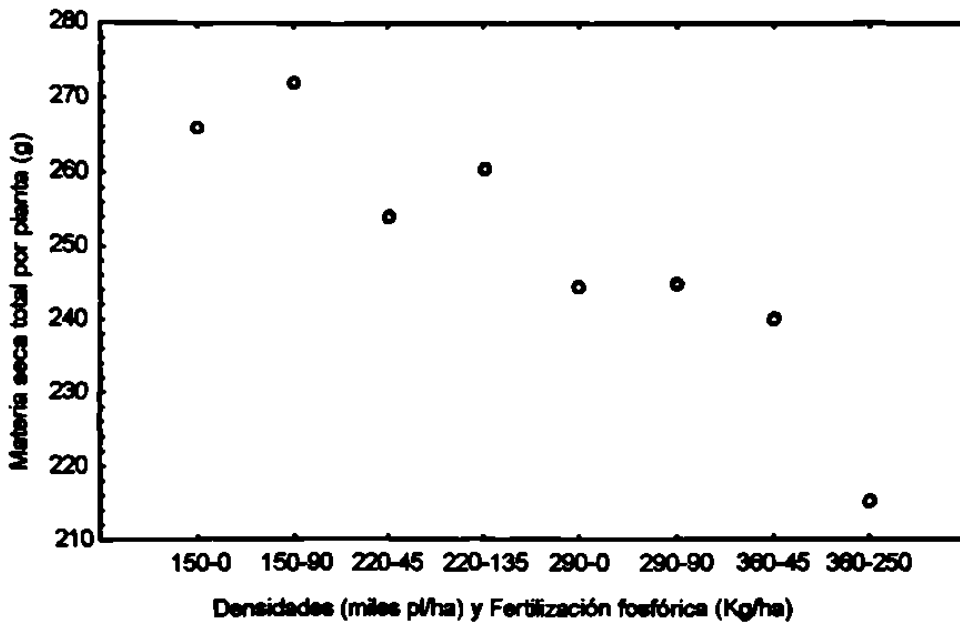


Figura 8. Materia seca total por planta del Experimento 3. “Densidad óptima de plantas y fertilización fosfórica en sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) irrigado en el norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.

En la Figura 9 se puede observar que las hojas son las fuentes originales de fotosintatos. Durante el crecimiento vegetativo las hojas son demandas fisiológicas competitivas por fotosintatos para suministrar la energía para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Después de la expansión completa pueden exportar de 60 a 80% de sus fotosintatos a otras partes de las plantas. El crecimiento de hojas cesa a floración debido a competencia por nutrientes con la inflorescencia; después de floración la demanda reproductiva es fuerte y limita los fotosintatos para hoja, tallo y raíz ya que comienza la iniciación de la semilla y la demanda de fotosintatos actuales y almacenados para incrementar peso de semilla, por último la senescencia de las hojas es por la movilización y redistribución de nutrientes minerales y orgánicos hacia demandas más competitivas.

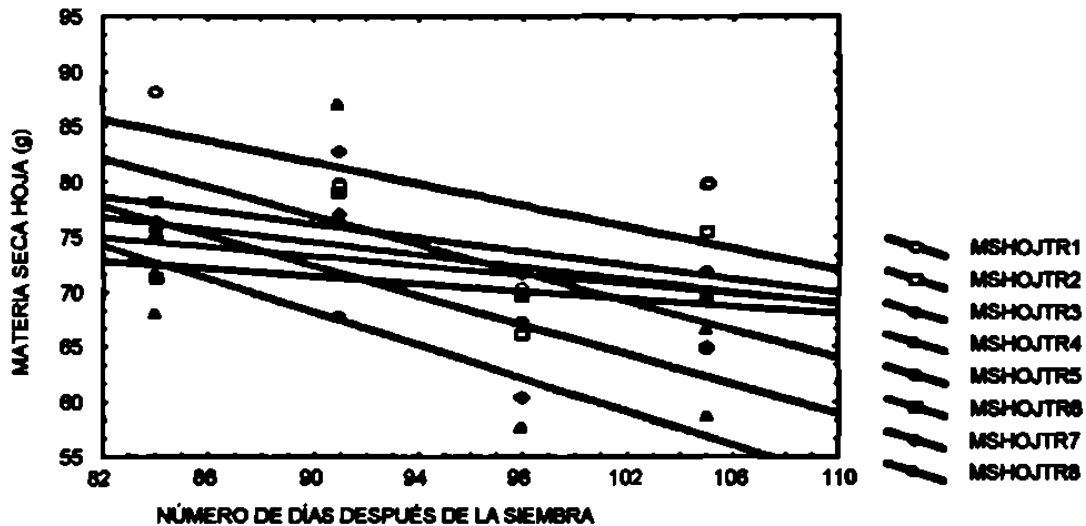


Figura 9. Comportamiento de materia seca de hojas por planta en el Experimento 3. “Densidad óptima de plantas y fertilización fosfórica en sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) irrigado en el norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.

En la Figura 10 se observa que la acumulación de materia seca en el tallo en las primeras semanas es baja, después se incrementa hasta que los tallos alcanzan madurez fisiológica y las ganancias en esta etapa están en balance con las pérdidas; pasando esta fase los tallos tienen pérdidas de peso al inicio de la formación de granos debido a la movilización y redistribución de fotosintatos disponibles y de reserva hacia las semillas.

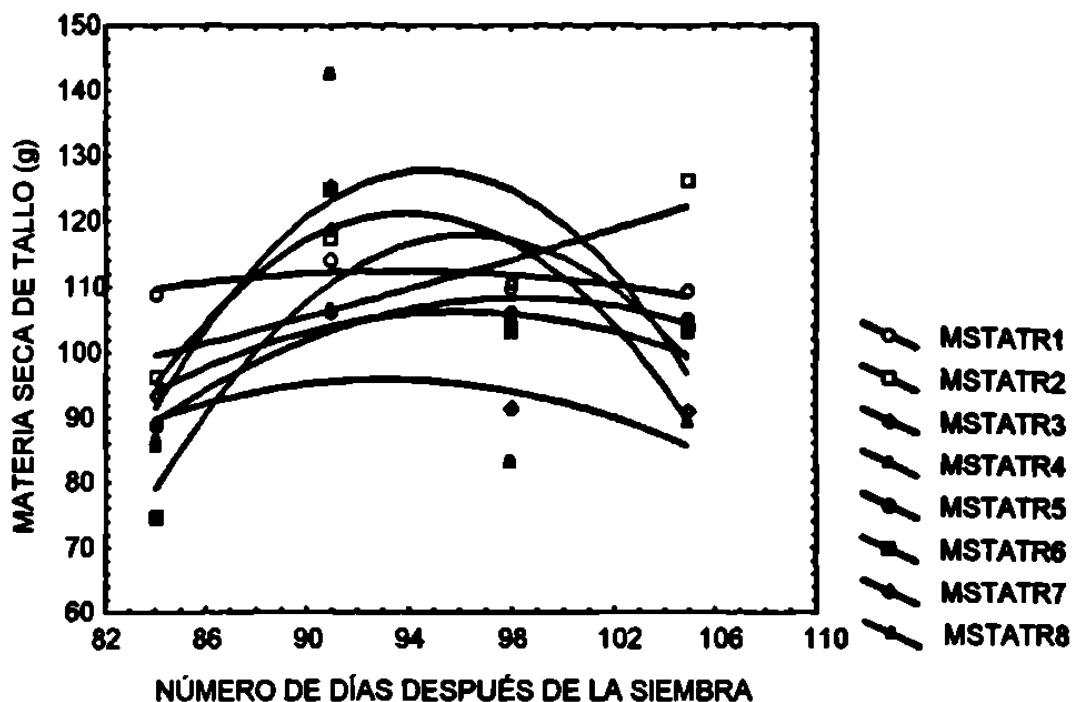


Figura 10. Comportamiento de materia seca de tallos por planta en el Experimento 3. “Densidad óptima de plantas y fertilización fosfórica en sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) irrigado en el norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.

En la Figura 11 se observó que después de floración las demandas reproductivas son fuertes debido a que comienza la formación de granos, por lo que hay una movilización y transporte de fotosintatos de partes vegetativas hacia el desarrollo de las semillas. El porcentaje de nitrógeno, fósforo y potasio en tallos y hojas después de espigamiento disminuye con la formación de grano; hacia la fase de llenado de grano los compuestos almacenados son removilizados y redistribuidos a estos sitios activos. En plantas C_4 se ha demostrado que la fotosíntesis de la hoja bandera, tallo y panoja son las fuentes cercanas al grano y las principales contribuyentes de fotosintatos hacia este.

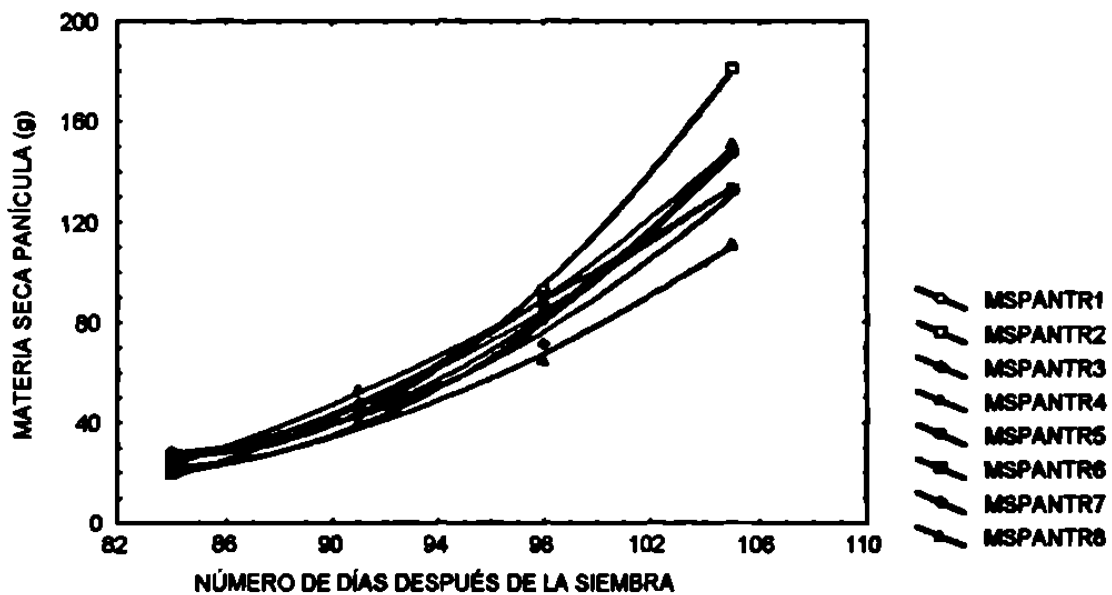


Figura 11. Comportamiento de materia seca de panoja por planta en el Experimento 3. “Densidad óptima de plantas y fertilización fosfórica en sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) irrigado en el norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.

4.4. Experimento 4. “Respuesta del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) al fertilizante fosfórico en suelos del Norte de Tamaulipas”.

4.4.1. Variables morfológicas de planta y mazorca.

En el Cuadro A23 se presentan los cuadrados medios de los análisis de varianza para altura de planta, altura a la mazorca, diámetro de tallo, área foliar, materia seca, diámetro de mazorca, longitud de mazorca, peso de mazorca, número de hileras de grano, número de granos por hilera, peso de grano, peso de 100 granos, peso de olote y diámetro de olote; no se detectó diferencia significativa entre tratamientos para ninguna de estas variables. Las medias por tratamiento se presentan en el Cuadro 20.

Cuadro 20. Medias de tratamientos para las variables altura de planta, altura a la mazorca, diámetro de tallo, área foliar, materia seca, peso de mazorca, peso de grano por mazorca, peso de 100 granos, diámetro de mazorca, longitud de mazorca, número de hileras de grano, número de granos por hilera, peso de olate y diámetro de olate en el Experimento 4. “ Respuesta del cultivo de maíz (Zea mays L.) al fertilizante fosfórico en suelos del Norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.

Trat. Kg ha ⁻¹ (P ₂ O ₅)	Alt. de planta (cm)	Alt. a la mz de tallo (cm)	Diám. de tallos (cm)	Area foliar (cm ²)	Mat. seca tot. (g)	Peso de mazor ca (g)	Peso mz (g)	Peso gran/ 100 granos (g)	Peso mzca mzca (cm)	Diam. mzca (cm)	Long. mzca (cm)	No. hileras de grano	No. granos / hilera	Peso de olate (g)	Diam. de olate (cm)
0	115	50.2	1.99	511.2	92.9	157.8	137.9	29.2	4.45	16.2	13.2	37.2	19.8	2.56	
45	114	46.5	1.90	510.4	90.8	144.0	124.0	29.1	4.23	15.1	12.9	33.2	19.9	2.44	
90	117	49.7	1.96	518.2	90.6	158.3	138.1	29.8	4.41	16.3	12.9	38.0	20.2	2.55	
135	113	46.2	1.99	495.4	89.9	152.4	133.1	29.2	4.34	16.1	13.0	37.7	19.2	2.50	
250	108	45.0	1.93	496.0	84.6	143.4	124.8	28.3	4.30	15.6	13.0	35.3	18.6	2.46	

La aplicación de los tratamientos no afectó a las variables morfológicas debido a que fueron aplicados un mes después de la siembra y además el primer riego de auxilio se realizó un mes después por lo que no hubo la suficiente humedad para la disponibilidad inmediata del fósforo.

4.4.2. Rendimiento de grano y contenido de fósforo en la hoja

En los Cuadros A23 y A24 se presentan los análisis de varianza para el rendimiento de grano con la covariable número total de mazorcas cosechadas y contenido de fósforo en las hojas y no se encontró diferencia significativa entre tratamientos.

En los Cuadros A25 y A26 se presenta el análisis y los coeficientes de regresión para conocer el efecto de los tratamientos sobre el rendimiento, el cual no fue significativo. Esto pudo ser debido a que no se dio el riego de asiento y los tratamientos de fertilización fueron aplicados hasta Febrero y el primer riego de auxilio se dio un mes después por lo que no hubo la suficiente humedad para que hubiese una rápida disolución del fósforo antes de que se fije a los carbonatos de calcio y se vuelva insoluble. Los resultados obtenidos en este experimento no coinciden con los de Olivares *et al.* (1995) quienes encontraron respuesta a los tratamientos con fósforo y Nitrofoska comparados con el testigo en rendimiento de grano, obteniendo un incremento en rendimiento de 856.64 Kg con una dosis de fertilización de fósforo de 70 Kg ha⁻¹.

5. CONCLUSIONES

- 1. La densidad óptima encontrada fue de 20 plantas por m^{-1} a surcos de 0.86 m (231,511 plantas ha^{-1}) bajo condiciones de humedad adecuada (tres riegos de auxilio) con el híbrido Pioneer 8133.**
- 2. La densidad en donde se obtuvieron los mayores rendimientos bajo condiciones de escasez de humedad en el período de llenado de grano (dos riegos de auxilio) fue de 17 plantas m^{-1} a 0.86 m (197,674 plantas ha^{-1}) con el híbrido Pioneer 8133.**
- 3. La dosis óptima económica de fósforo fue de 63.42 Kg ha^{-1} obtenida con el híbrido Pioneer 8133.**
- 4. No se obtuvieron respuestas de incrementos de rendimiento importante en maíz debidos a la aplicación del fertilizante fosfórico.**
- 5. La aplicación del fertilizante Nitrofoska ($N_2P_2O_5K_2O$) no fue diferente significativamente de la aplicación de 70 unidades de P_2O_5 con superfosfato triple.**

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar S. A., J. Etchevers B. y J. Z. Castellanos R. 1987. Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo. Publicación Especial No. 1. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo Estado de México.
- Amano, L. O., and A. M. Salazar. 1989. Comparative productivity of corn and sorghum as affected by population density and nitrogen fertilization. *Philippine Agriculturist*. 72:247-254.
- Arizpe M. A. 1985. Cambios genotípicos y parámetros de estabilidad de cuatro poblaciones de maíz (*Zea mays* L.). Tesis profesional. FAUANL. Marín, N. L.
- Black, C. A. 1969. Phosphorus nutrition of plants in soils. *Hort Sci*. Vol. 4:314-320.
- Bohn, L. H., L. B. McNeal, and A. G. O'Connor. 1985. *Soil Chemistry*. Wiley Interscience Publication. U. S. A.
- Blum, A. 1967. Effect of soil fertility and plant competition on grain sorghum panicle morphology and panicle weight components. *Agronomy Journal* 59: 400-403.
- _____ 1970. Effect of plant density and growth duration on grain sorghum yield under limited water supply. *Agronomy Journal* 62: 333-336.
- Brouder, S. 1996. Starter fertilizer for Indiana corn production. *Agronomy Guide*. Purdue University. Cooperative Extension Service. West Lafayette, Indiana.
- Boursier, P. and A. Läuchli. 1990. Growth responses and mineral nutrient relations of salt-stressed Sorghum. *Crop. Sci*. Vol. 30:1226-1233

- Camacho Ch. W., R. D. Valdez C. y E. Olivares S. 1995. Optimización de la densidad de plantas de maíz en el Distrito de Riego No. 26. En: Memoria del XXVI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. 14-17 de noviembre. Cd. Victoria, Tamaulipas, México.
- Chapman D. H., y P. Pratt F. 1973. Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas. 1a. Ed. Trillas, S. A. México, D. F. 195 p.
- Everaarts, A. P. 1992. Response of weeds to application of nitrogen, phosphorus and potassium on low fertility acid soils in Surinam. *Weed Research Oxford*. 32:5, 385-390. Paramaribo, Surinam.
- García E. 1964. "Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana)". UNAM. México, D. F.
- García B. L. y Kohashi S. J. 1994. Respuesta a densidad, rendimiento máximo y eficiencia de rendimiento en maíz variedad Olotón en los altos de Chiapas, México. Centro de Investigaciones Ecológicas del Sureste. San Cristóbal de las Casas Chiapas. 44:205-219.
- Gardner, F. P., R. B. Pearce and R. L. Mitchell. 1985. *Physiology of crop plants*. The Iowa State University Press. Ames, Iowa.
- Gerik, T. J., and C. L. Neely. 1987. Plant density effects on main culm and tiller development of grain sorghum. *Crop. Sci.* 27:1225-1230.
- Gómez R. I. 1992. Comportamiento de genotipos contrastantes de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) bajo dos métodos de siembra y cuatro densidades de población y viabilidad económica de la siembra al voleo. Tesis de Maestría en Ciencias. FAUANL. Marín, N. L.
- INEGI. 1983. Síntesis Geográfica del Estado de Tamaulipas. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Ags, Ags.
- 1995. Anuario Estadístico del Estado de Tamaulipas. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Ags, Ags.

- INIA. 1982a. Guía para cultivar sorgo en los valles altos de México, Hidalgo y Tlaxcala. SARH. INIA. Centro de Investigaciones Agrícolas de la Mesa Central. Campo Agrícola Experimental Valle de México. Folleto para productores No. 17.
- 1982b. Guía para cultivar sorgo en el Bajío. SARH. INIA. Centro de Investigaciones Agrícolas de el Bajío. Campo Agrícola Experimental de el Bajío. Folleto para productores No. 5.
- INIFAP. 1994. Paquete Tecnológico para el Norte de Tamaulipas. S. A. R. H. C. I. R. N. E. Campo Experimental Río Bravo. Río Bravo, Tamaulipas.
- Instituto de Recursos Mundiales. 1992-1993. Informe de Recursos Mundiales. Editado por el Instituto Panamericano de Geografía e Historia. México, D. F.
- Kasole, K. E., S. D. Kalke., S. M. Kareppa., and K. K. Khade. 1994. Response of sorghum (Sorghum bicolor) to fertilizer levels, weed management and plant density. Indian-Journal-of- Agronomy. 39: 3, 475-476.
- Livera M. M. y A. Carballo C. 1977. Mejoramiento genético del sorgo (Sorghum bicolor (L.) Moench) por tolerancia al frío. Adaptación de genotipos tolerantes. Agric. Tec. Mex. (4):77-99.
- Martínez G. A. 1987. Aspectos económicos del diseño y análisis de experimentos. 1a. Edición. Ed. Limusa S. A. de C. V. México, D. F.
- Marschner, H. 1986. Mineral nutrition in higher plants. Academic Press Inc. (London) LTD. London.
- Mengel, K., and E. A. Kirkby. 1982. Principles of plant nutrition. International Potash Institute. Worblaufen-Bern, Switzerland.
- Millan, A. J., and B. Moreno. 1992. Supplementary fertilization with a complete fertilizer. Is it a recommendable practice?. FONAIAP-Divulga. 9: 41, 36-37. Monegas, Venezuela.

- Montgomery, C. R., B. D. Nelson., R. Joost and L. F. Mason. 1986. Tannin concentration and quality changes in Sorghum as affected by maturity and Sorghum type. *Crop. Sci.* Vol. 26:372-375.
- Mullins, G. L., F. J. Sikora and J. C. Williams. 1995. Effect of water-soluble phosphorus on the effectiveness of triple superphosphate fertilizers. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59:256-260.
- Munson, D. R. and W. L. Nelson. 1973. Principles and practices in plant analysis in soil testing and plant analysis walsh. Ediciones M. L. y J. D. Beatan. Soil Sci. Soc. Amer. Madison, Wisconsin. USA.
- Nagy, J. 1996. Effects of tillage, fertilization, plant density and irrigation en maize (*Zea mays* L.) yields. *Acta Agronomica Hungarica.* 44: 4, 347-354. Debrecen, Hungary.
- Ochse J. J., M. J. Soule Jr., M. Dijkman J., and Wehlburg C. 1965. Cultivo y mejoramiento de plantas tropicales y subtropicales. Vol. II. Editorial Limusa S. A. de C. V. México, D. F.
- Olivares, S. E. 1983. Phosphorus fertilizer response curves of selected alfalfa populations having high and low phosphorus concentration. Tesis M.S. New Mexico State University. Las Cruces, New Mexico.
- 1995. Diseños experimentales con aplicación a la experimentación agrícola y pecuaria. FAUANL. Marín, N. L.
- L. C. Alvarado, G., R. D. Valdez C., y W. Camacho Ch. 1995. Respuesta a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc de maíz en el norte de Tamaulipas. En *Avances de Investigación.* Centro de Investigaciones Agropecuarias. FAUANL. Marín, N. L.
- Patil, M. N., S. K. Pande., K. B. Zade., and S. G. Kharche. 1993. Effect of graded levels of NPK alone and in combination with organic material on yield and uptake of nutrient by sorghum. *Annals-of-Plant-Physiology.* 7: 1, 63-67. Maharashtra, India.

- Raghuwanshi, R. K. S., R. Umat., A. K. Gupta., and N. S. Gurjar. 1994. Performance of sorghum based intercropping system in black cotton soil under different fertility levels. *Crop-Research-Hisar* 8:233-238.
- Rehm, G., J. Lamb, M. Schmitt, G. Randall and L. Busman. 1997. Agronomic and enviromental management of phosphorus. University of Minnesota Extension Service.
- Reuter, D. J., and J. B. Robinson. 1986. Plant analysis. An interpretation manual. Inkata Press Proprietary Limited Melbourne and Sidney. Brunswick, Victoria. Australia.
- Rodriguez S. F. 1982. Fertilizantes. Nutrición vegetal. A.G.T. Editor, S. A. México, D. F.
- Rodríguez, H. R., M. J. Torres H., A. Williams H., y G. Montes N. 1994. Densidad óptima económica de población para sorgo bajo condiciones lluviosas. *Revista Fitotecnia Mexicana*. INIFAP Campo Experimental Río Bravo, Río Bravo, Tamps, México. pp 217-222.
- Rojas M. B. 1981. Planeación y análisis de los experimentos de fertilizantes. Folleto Misceláneo No. 41. SARH. INIA. México, D. F.
- Sánchez De La C. 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.
- Selles, F., C. A. Campbell and R. P. Zentner. 1995. Effect of cropping and fertilization on plant and soil phosphorus. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59:140-144.
- Sepaskhah, A. R. 1977. Estimation of individual and total leaf areas of safflowers. *Agron. J.* 69:783-785.
- Snedecor G. W. y G. Cochran W. 1967. Métodos Estadísticos. 3a. Impresión. Compañía Editorial Continental, S. A. México, D. F.

- Steel R. G. O. y J. Torrie H. 1985. Bioestadística. Principios y procedimientos. Ed. McGraw-Hill Latinoamericana, S. A. Bogotá, Colombia.
- Stickler, F. C., A. W. Pauli, H. H. Laude., H. D. Wilkins and J. L. Mings. 1961. Row width and plant population studies with grain sorghum at Manhattan, Kansas. *Crop Sci.* 1: 297-300.
- Stoskopf, C. N. 1981. Understanding crop production. Reston Publishing Company, Inc. A Prentice-Hall Company. Reston, Virginia. U. S.
- Sumner, M. E. 1979. Interpretation of foliar analysis for diagnostic purposes. *Agron. J.* 71:343-348.
- F. C. Boswell. 1981. Alleviating nutrient stress. In: Arkin, G. F. and H. M. Taylor (Eds). *Modifying the root environment to reduce crop stress.* ASAE. St Joseph. MI, USA:99-137.
- Tisdale, L. S., W. L. Nelson., and J. D. Beaton. 1985. Soil fertility and fertilizers. MacMillan Publishing Company. United States of America.
- Valdez C. R. D. 1997. Análisis estocástico espacial de procesos edáficos y de plantas en Zea mays L. Tesis de Doctorado en Ciencias Agrícolas. FAUANL. Marin, N. L.
- Vitosh, M. L., J. W. Johnson, D. B. and D. B. Mengel. 1996. Tri-state fertilizer recommendations for corn, soybeans, wheat and alfalfa. Agronomy Guide. Purdue University. Cooperative Extension Service. West Lafayette, Indiana.
- Wierenga, P. J. 1982. Apuntes del curso Soil Water Relations. New Mexico State University. Las Cruces, New Mexico.

APÉNDICE

Cuadro A1. Cuadrados medios para las variables altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas, número de hijuelos y longitud de panoja en el Experimento 1. “Densidad óptima de plantas en sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) irrigado en el Norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.

F.V.	G.L.	Altura de planta	Diámetro de tallo	No. de hojas	No. de hijuelos	Longitud de panoja
Tratamientos	3	0.003652 NS	0.059097 **	0.166667 NS	0.307292 NS	113.684898 **
Bloques	3	0.012812 NS	0.036397 NS	0.208333 NS	0.348958 NS	16.304688
Error exper.	9	0.10529	0.016068	0.236111	0.265625	11.858507
Error muestr.	48	0.003494	0.037900	0.260417	0.286458	2.821506
Total	63					

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

Cuadro A2. Cuadrados medios para las variables diámetro de tallo y longitud de panoja, en el análisis de polinomios ortogonales del Experimento 1. “Densidad óptima de plantas en sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) irrigado en el Norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.

F. V.	G. L.	Diámetro de tallo	Longitud de panoja
Lineal	1	0.072903	327.679779 **
Cuadrático	1	0.100014 *	4.556265
Cúbico	1	0.004425	8.820004
Error	9	0.016068	11.858507

Cuadro A3. Cuadrados medios para la variable índice de cosecha en el Experimento 1. “Densidad óptima de plantas en sorgo (Sorghum bicolor (L.) Moench) irrigado en el Norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.

F. V.	G. L.	Índice de cosecha
Tratamientos	3	0.000466 NS
Bloques	3	0.002389
Error	9	0.000791
Total	15	

NS Diferencia no significativa

Cuadro A4. Cuadrados medios para la variable rendimiento de grano en el Experimento 1. “Densidad óptima de plantas en sorgo (Sorghum bicolor (L.) Moench) irrigado en el Norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.

F. V.	G. L.	Rendimiento de grano
Tratamientos	3	0.783304 *
Bloques	3	0.394604
Error	8	0.175789
Total	14	

* Diferencia significativa

Cuadro A5. Cuadrados medios para la variable rendimiento de grano, en el análisis de polinomios ortogonales del Experimento 1. “Densidad óptima de plantas en sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) irrigado en el Norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.

F. V.	G. L.	Rendimiento de grano
Lineal	1	0.000338
Cuadrático	1	1.924925 **
Cúbico	1	1.564361
Error	11	0.188510

Cuadro A6. Análisis de regresión múltiple para la variable rendimiento de grano en función de densidad en el Experimento 1. “Densidad óptima de plantas en sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) irrigado en el Norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.

F. V.	G.L.	SC	C.M.	Fc
Regresión	2	1334594.95915	667297.47957	2.86413
Error	12	2795815.01793	232984.65149	
Total	14			

Cuadro A7. Variables en la ecuación para encontrar la densidad óptima fisiológica y densidad óptima económica del rendimiento de grano en el Experimento 1. “Densidad óptima de plantas en sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) irrigado en el Norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.

Coef. de regresión	β	SE β	T	p
β_2	- 16.757388	7.810431	- 2.146	0.0531
β_1	667.405061	298.877784	2.233	0.0454
β_0	1072.768088	2722.535910	0.394	0.7005

Cuadro A8. Cuadrados medios de la variable longitud de panoja en el Experimento 2. “Respuesta a la aplicación de fósforo en sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) para grano en el Norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.

F.V.	G.L.	Longitud de panoja
Tratamientos	4	1.103027 NS
Error	25	4.391562
Total	29	

Cuadro A9. Cuadrados medios para la variable rendimiento de grano en el Experimento 2. “Respuesta a la aplicación de fósforo en sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) para grano en el Norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.

F.V.	G.L.	Rendimiento de grano
Tratamientos	4	1260593.736 *
Error	25	421492.238
Total	29	537230.376

Cuadro A10. Cuadrados medios para la variable rendimiento de grano, en el análisis de polinomios ortogonales en el Experimento 2. “Respuesta a la aplicación de fósforo en sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) para grano en el Norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.

F.V.	G.L.	Rendimiento de grano
Lineal	1	173013.6875
Cuadrático	1	3365277.2187 **
Cúbico	1	150124.2187
Error	25	422799.375

Cuadro A11. Análisis de regresión múltiple para la variable rendimiento de grano en función de dosis de fertilización en el Experimento 2. “Respuesta a la aplicación de fósforo en sorgo (Sorghum bicolor (L.) Moench) para grano en el Norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.

F.V.	G.L.	SC	CM	Fc
Regresión	2	3673745.42	1836872.71	4.986
Error	23	8473296.67	368404.20	

Cuadro A12. Variables en la ecuación para encontrar dosis óptima fisiológica y dosis óptima económica en el Experimento 2. “Respuesta a la aplicación de fósforo en sorgo (Sorghum bicolor (L.) Moench) para grano en el Norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.

Coefficientes de regresión	β	SC β	T	p
β_2	- 0.174737	0.060483	- 2.889	0.0083
β_1	25.504834	8.111842	3.144	0.0045
β_0	9418.482026	223.489218	42.143	0.0000

Cuadro A13. Cuadrados medios de las variables altura de planta, altura a la panoja, diámetro de tallo, número de hojas, número de hijuelos y rendimiento de grano en el Experimento 3. “Densidad óptima de plantas y fertilización fosfórica en sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) irrigado en el Norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.

F.V.	GL	Alt.planta (cm)	Alt. a la panoja (cm)	Diám. tallo (cm)	No. de hojas	No. de hijuelos	Rend. grano (Kg ha ⁻¹)
Tratamientos	7	0.94 NS	0.175 NS	0.171 NS	0.250 NS	0.218 NS	88126.8 NS
Bloques	3	0.51	0.128	0.358	3.457	0.837	1004026.9
Error	21	0.80	0.160	0.195	0.587	0.288	288151.0
Total	31	0.80	0.160	0.205	0.788	0.325	312262.5

Cuadro A14. Matriz de correlación de las variables altura de planta, altura a la panoja, diámetro de tallo, número de hojas y número de hijuelos en el Experimento 3. “Densidad óptima de plantas y fertilización fosfórica en sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) irrigado en el Norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.

Variabes	Altura a la panoja	Altura de planta	Diam. de tallo	No. hijuelos	No. hojas
Altura a la panoja.	1.00				
Altura de planta	0.99	1.00			
Diám. de tallo	0.88	0.87	1.00		
No. hijuelos	0.03	0.04	0.36	1.00	
No. hojas	-0.54	-0.50	-0.46	0.02	1.00

Cuadro A15. Cuadrados medios de las variables contenido de fósforo en las hojas y materia seca por planta en el Experimento 3. “Densidad óptima de plantas y fertilización fosfórica en sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) irrigado en el Norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.

F. V.	G. L.	CM (% P)	G.L.	CM Materia seca
Tratamientos	4	0.005313 **	7	1272.857178 **
Bloques	3	0.000353	3	21148.375
Error	12	0.001466	21	468.142853
Total	19		31	

Cuadro A16. Medias de densidades de la variable materia seca por planta del Experimento 3. “Densidad óptima de plantas y fertilización fosfórica en sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) irrigado en el norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.

Tratamientos pl ha ⁻¹ (miles)	MS planta Semana 1 (g)	MS planta Semana 2 (g)	MS planta Semana 3 (g)	MS planta Semana 4 (g)	MEDIAS (g)
150	212.7 a	239.9 ab	262.6 a	359.7 a	268.7 a
220	185.4 ab	268.5 a	269.1 a	304.5 bc	256.9 ab
290	176.0 b	229.7 b	257.3 a	314.9 b	244.5 ab
360	183.8 ab	230.4 b	214.7 b	280.3 c	227.3 b
DMS	32.06	32.06	32.06	32.06	39.76

Cuadro A17. Medias de densidades de la variable peso seco de hojas por planta del Experimento 3. “Densidad óptima de plantas y fertilización fosfórica en sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) irrigado en el norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.

Tratamientos pl ha ⁻¹ (miles)	MS hoja Semana 1 (g)	MS hoja Semana 2 (g)	MS hoja Semana 3 (g)	MS hoja Semana 4 (g)	MEDIAS (g)
150	83.1 a	74.6 b	68.2 ab	77.6 a	77.1 a
220	72.2 b	84.6 a	71.7 a	65.7 bc	73.6 ab
290	73.4 b	73.3 b	68.4 ab	70.6 ab	71.4 ab
360	73.2 b	74.2 b	61.4 b	61.6 c	67.6 b
DMS	8.89	8.89	8.89	8.89	7.20

Cuadro A18. Medias de densidades de la variable peso seco de tallos por planta del Experimento 3. “Densidad óptima de plantas y fertilización fosfórica en sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) irrigado en el norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.

Tratamientos pl ha ⁻¹ (miles)	MS tallo Semana 1 (g)	MS tallo Semana 2 (g)	MS tallo Semana 3 (g)	MS tallo Semana 4 (g)	MEDIAS (g)
150	102.4 a	115.6 b	106.5 a	117.5 a	110.5 a
220	89.1 ab	133.6 a	108.1 a	96.8 b	106.9 ab
290	81.5 b	115.1 b	104.4 ab	104.1 ab	101.3 ab
360	87.6 ab	112.5 b	87.1 b	96.7 b	96.0 b
DMS	17.81	17.81	17.81	17.81	13.82

Cuadro A19. Medias de densidades de la variable peso seco de panojas por planta del Experimento 3. “Densidad óptima de plantas y fertilización fosfórica en sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) irrigado en el norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.

Tratamientos pl ha ⁻¹ (miles)	MS panoja Semana 1 (g)	MS panoja Semana 2 (g)	MS panoja Semana 3 (g)	MS panoja Semana 4 (g)	MEDIAS (g)
150	27.1 a	44.6 a	87.8 a	164.5 a	81.0 a
220	23.9 a	50.1 a	89.1 a	141.8 b	76.2 ab
290	21.0 a	84.2 a	84.2 ab	140.1 bc	71.6 ab
360	22.8 a	68.6 a	68.6 b	121.9 c	64.2 b
DMS	18.98	18.98	18.98	18.98	14.73

Cuadro A20. Cuadrados medios para rendimiento de grano, en el análisis de polinomios ortogonales del Experimento 3. “Densidad óptima de plantas y fertilización fosfórica en sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) irrigado en el Norte de Tamps”. Ciclo O-I 1995-96.

F. V.	G. L.	Rendimiento de grano
Lineal	1	6482.720703 *
Cuadrático	1	134.037338
Cúbico	1	0.523785
Error	21	468.142792

Cuadro A21. Análisis de regresión lineal simple para la variable rendimiento de grano en función del número de plantas cosechadas en el Experimento 3. “Densidad óptima de plantas y fertilización fosfórica en sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) irrigado en el Norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.

F. V.	G. L.	SC	CM	Fc
Regresión	1	1195590.649	1195590.649	0.0312
Error	29	6761587.297	233158.182	

Cuadro A22. Estimadores estadísticos de coeficiente de regresión, error estándar, valores de t, desviación estándar para rendimiento de grano en el Experimento 3. “Densidad óptima de plantas y fertilización fosfórica en sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) irrigado en el Norte de Tamaulipas”. Ciclo O-I 1995-96.

Coef. de regresión	B	ES	t	p
B ₁	- 2.544794	1.123794	- 2.264	0.0312
B ₀	6227.486703	295.761826	21.056	0.0000

Cuadro A24. Cuadrados medios de la variable rendimiento de grano en el Experimento 4. "Respuesta del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) al fertilizante fosfórico en suelos del Norte de Tamaulipas". Ciclo O-I 1995-96.

F. V.	G. L.	C. M.	Fc
Tratamientos	4	158008.18	0.885
Bloques	3	537819.63	0.449
Covariable	1	2615830.04	0.055
Error	11	565371.15	
Total	19	575502.46	

Cuadro A25. Análisis de regresión múltiple para la variable rendimiento de grano en función dosis de fertilización en el Experimento 4. "Respuesta del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) al fertilizante fosfórico en suelos del Norte de Tamps". Ciclo O-I 1995-96.

F. V.	G. L.	S. C.	C. M.	Fc
Regresión	2	41459.01	20729.50	0.97
Error	13	9470565.67	728505.05	

Cuadro A26. Estimadores estadísticos de coeficiente de regresión, error estándar, valores de t, desviación estándar para rendimiento de grano en el Experimento 4. "Respuesta del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) al fertilizante fosfórico en suelos del Norte de Tamaulipas". Ciclo O-I 1995-96.

Coef. de regresión		β	SE	t	p
P^2	β_2	- 0.0023	0.1053	- 0.022	0.9827
P	β_1	1.3222	14.84	0.089	0.9304
Constante	β_0	7737.8333	415.95	18.602	0.0000



