

T. 2688
C

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

**FERTILIZACIÓN FOSFATADA A LA SIEMBRA Y NITROGENADA A 6
HOJAS EN MAÍZ PARA GRANO EN SIEMBRA DIRECTA SOBRE TRES
CHACRAS DIFERENTES**

por

FACULTAD DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE
DOCUMENTACIÓN Y
BIBLIOTECA

Mónica ACHAVAL CASANOVA
Fernando DUCAMP RODRÍGUEZ

TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo
(Orientación Agrícola-Ganadera)

MONTEVIDEO
URUGUAY
1998

Tesis aprobada por:

Director: Ing. Agr. Oswaldo Ernst
Nombre completo y firma

Ing. Agr. Guillermo Siri
Nombre completo y firma

Ing. Agr. Domingo Luizzi
Nombre completo y firma

Fecha: 2 de Setiembre de 1998

Autor: Mónica Achaval Casanova
Nombre completo y firma

Fernando Ducamp Rodríguez
Nombre completo y firma

AGRADECIMIENTOS

- A los Ingenieros Agrónomos Oswaldo Ernst y Guillermo Siri, por el apoyo académico y personal brindado durante la realización de este trabajo.

- Al Ingeniero Agrónomo Oscar Bentancour por las sugerencias realizadas para el procesamiento estadístico de los resultados.

- Al personal de biblioteca de Facultad de Agronomía.

- Al encargado del Campo Experimental de la EEMAC, Sr. Juan González, por el apoyo brindado.

- Al personal del Laboratorio N° 5 de la EEMAC.

- A nuestros padres por habernos posibilitado acceder a un título universitario y apoyarnos incondicionalmente.

- A todos quienes de una u otra manera hicieron posible la realización de este trabajo.

*DEDICADO A LUIS, NELLY
Y THALÍA*

DEDICADO A MI FAMILIA

FERNANDO

MÓNICA

TABLA DE CONTENIDO.

	<u>Página</u>
PÁGINA DE APROBACIÓN	II
AGRADECIMIENTOS	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VIII
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. INTRODUCCIÓN	3
2.2. FERTILIZACIÓN NITROGENADA	3
2.2.1. <u>Introducción</u>	3
2.2.2. <u>Requerimientos</u>	4
2.2.3. <u>Respuesta a la fertilización nitrogenada</u>	5
2.2.3.1. Respuesta en producción de grano a dosis de N	5
2.2.3.2. Respuesta en producción de grano a fuentes y métodos de aplicación de N	7
2.2.3.3. Respuesta en crecimiento a dosis de N	9
2.2.4. <u>Concentración de N en tejidos</u>	11
2.2.5. <u>Pérdidas de N y factores que las determinan</u>	13
2.2.5.1. Contenido de agua del suelo y pérdidas de humedad	14
2.2.5.2. PH del suelo	16
2.2.5.3. Temperatura del suelo	16
2.2.5.4. Concentración de amoníaco	17
2.2.5.5. Características del suelo	17
2.2.5.6. Método de aplicación del fertilizante	18
2.3. FERTILIZACIÓN FOSFATADA	19
2.3.1. <u>Introducción</u>	19
2.3.2. <u>Requerimientos</u>	19
2.3.3. <u>Respuesta a la fertilización fosfatada</u>	20
2.3.3.1. Respuesta en producción de grano a dosis y localización del P	20
2.3.3.2. Respuesta en crecimiento de parte aérea a dosis y localización del P	25
2.3.3.3. Respuesta en crecimiento radicular a dosis y localización del P	28
2.3.4. <u>Estratificación del P</u>	33
2.3.5. <u>Absorción de P</u>	36
2.2.6. <u>Concentración de P en tejidos</u>	42
2.4. INTERACCIÓN FÓSFORO x NITRÓGENO	45

3. MATERIALES Y MÉTODOS	47
3.1. UBICACIÓN DE LOS EXPERIMENTOS	47
3.2. TIPO DE SUELO	47
3.3. EXPERIMENTOS	47
3.4. TRATAMIENTOS	48
3.4.1. Fertilización fosfatada	48
3.4.2. Refertilización nitrogenada	48
3.5. DISEÑO EXPERIMENTAL	49
3.6. MANEJO DEL CULTIVO	50
3.7. DETERMINACIONES REALIZADAS	50
3.7.1. Determinaciones en suelo	50
3.7.1.1. Rastrojo en superficie	50
3.7.1.2. Densidad aparente	51
3.7.1.3. ppm N-NO ₃ y P en suelo	51
3.7.1.4. Contenido de humedad del suelo	51
3.7.2. Determinaciones en el cultivo	52
3.7.2.1. Población a la emergencia	52
3.7.2.2. Área foliar por planta, índice de área foliar e índice de atenuación foliar	52
3.7.2.3. Desarrollo fenológico	52
3.7.2.4. Peso seco de plantas	52
3.7.2.5. % de N y P en planta	53
3.7.2.6. % de N y P foliar en floración	53
3.7.2.7. Población a cosecha	53
3.7.2.8. Mazorcas a cosecha	53
3.7.2.9. Rendimiento en grano	53
3.7.2.10. Peso de 100 granos	54
3.7.2.11. Fertilidad	54
3.7.2.12. Granos por mazorca	54
3.8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	55
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	56
4.1. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS	56
4.2. REFERTILIZACIÓN NITROGENADA AL ESTADIO V ₆	58
4.2.1. Respuesta al agregado de Nitrógeno	58
4.2.1.1. Rendimiento en grano	58
4.2.1.2. Componentes del rendimiento	61
4.2.1.3. Parámetros de crecimiento e indicadores nutricionales	63
4.2.2. Respuesta a métodos de aplicación de N y fuentes	67
4.2.2.1. Rendimiento en grano	67
4.2.2.2. Componentes del rendimiento	68
4.2.2.3. Parámetros de crecimiento e indicadores nutricionales	70

4.3. FERTILIZACIÓN FOSFATADA	71
4.3.1. <u>Respuesta en producción de grano</u>	71
4.3.2. <u>Respuesta en componentes del rendimiento</u>	75
4.3.3. <u>Respuesta en parámetros de crecimiento e indicadores nutricionales</u>	78
5. <u>CONCLUSIONES</u>	86
6. <u>RESUMEN</u>	87
7. <u>SUMMARY</u>	88
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	89
9. <u>APÉNDICE</u>	99

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro N°	Página
1- Contenido de P (ppm Bray I), de N (ppm N-NO ₃) y densidad aparente en los suelos sobre los que se instalaron los experimentos	47
2- Manejo anterior del laboreo en los experimentos 1, 2 y 3	48
3- Combinaciones de los factores de producción evaluados en los experimentos 1, 2 y 3	49
4- Respuesta en producción de grano al agregado de 30 unidades de N (urea incorporada) al estadio V ₆ , disponibilidad de N-NO ₃ en suelo a la siembra y en V ₆ para los experimentos 1, 2 y 3	59
5- Respuesta de los componentes del rendimiento en grano al agregado de 30 unidades de N (urea incorporada) al estadio V ₆ para los experimentos 1, 2 y 3	61
6- Incidencia de los componentes del rendimiento en grano a la diferencia de producción de grano entre el testigo sin agregado de N y el tratamiento con agregado de 30 unidades de N (urea incorporada) en V ₆ , para los experimentos 1, 2 y 3	62
7- Efecto del agregado de 30 unidades de N en V ₆ (urea incorporada) sobre el peso de 4 plantas a los 18 días post-refertilización, índice de atenuación foliar a los 48 y 84 días post-refertilización, % de N en planta en el estadio V ₁₂ , % de N foliar a floración y contenido residual de N-NO ₃ en suelo 4 días pre-floración para los experimentos 1, 2 y 3	64
8- Contraste urea incorporada-urea al voleo y urea incorporada-nitrato de amonio en producción de grano para los experimentos 1, 2 y 3	67
9- Contraste urea incorporada-urea al voleo y urea incorporada-nitrato de amonio para componentes del rendimiento en los experimentos 1, 2 y 3	68
10- Contraste urea incorporada-urea al voleo y urea incorporada-nitrato de amonio en peso de plantas (4) a los 18 días post-refertilización, índice de atenuación foliar a los 48 y 84 días post-refertilización, % de N en planta (en V ₁₂), % de N foliar (a floración) y nivel de N-NO ₃ en suelo 4 días pre-floración en los experimentos 1, 2 y 3	70

11- Análisis de regresión (modelo lineal) entre producción de grano y niveles de P_2O_5 a la siembra en los experimentos 1, 2 y 3	72
12- Contenido de P Bray 1 en suelo a la siembra y respuesta en producción de grano a los niveles de P_2O_5 usados a la siembra en los experimentos 1, 2 y 3	73
13- Efecto de los niveles de P_2O_5 usados a la siembra sobre los componentes del rendimiento en los experimentos 1, 2 y 3	75
14- Incidencia de los componentes del rendimiento en la diferencia de producción de grano entre el testigo sin agregado de P_2O_5 y los tratamientos con 40 y 80 unidades de P_2O_5 a la siembra, para el experimento 2	76
15- Influencia de los niveles de P_2O_5 usados a la siembra sobre el estado de desarrollo en dos momentos del cultivo, para los experimentos 1, 2 y 3	79
16- Influencia de los niveles de P_2O_5 usados a la siembra sobre el área foliar por planta e índice de área foliar en dos momentos del cultivo en los experimentos 1, 2 y 3	80
17- Efecto de los tratamientos de P_2O_5 a la siembra sobre el índice de atenuación foliar en dos momentos del cultivo en los experimentos 1, 2 y 3.....	81
18- Efecto de los tratamientos de P_2O_5 a la siembra sobre el peso de plantas (4) en el experimento 1 (a los 37 días post-emergencia) y en los experimentos 2 y 3 (a los 39 días post-emergencia)	82
19- Efecto de los niveles de P_2O_5 a la siembra sobre el % de P en planta (a los 37-experimento 1- y 39 días post-emergencia-experimentos 2 y 3-) y % de P foliar (a los 66-experimento 1- y 68 días post-emergencia-experimentos 2 y 3-)	82
20- Contenido de P en suelo (ppm Bray 1) a la siembra, al estadio V_6 y 4 días pre-floración en los tratamientos con 0, 40 y 80 unidades de P_2O_5 a la siembra en los experimentos 1, 2 y 3	84

Figura Nº	Página
1- Media histórica de precipitaciones para el período experimental en los últimos 61 años, en los años de estudio y diferencia entre ambas	56
2- Precipitaciones y evapotranspiración del cultivo para el período experimental	57
3- Respuesta en producción de grano de maíz al agregado de 30 unidades de N (urea incorporada) al estadio V_6 para los experimentos 1, 2 y 3. (valores seguidos de igual letra minúscula dentro de experimentos no difieren entre sí $-p<0.10-$, valores seguidos de igual letra mayúscula dentro de experimentos no difieren entre sí $-p<0.20-$).....	58
4- Efecto del agregado de N (urea incorporada) sobre la absorción de N por planta (g) al estadio V_{12} , para los experimentos 1, 2 y 3 (manejo anterior del suelo en LC, LC-SD y SD-SD respectivamente)	66
5- Precipitaciones ocurridas en los primeros 5 días post-refertilización	69
6- Efecto de los niveles de P_2O_5 a la siembra sobre la producción de grano en los experimentos 1, 2 y 3	72
7- Evolución del contenido de P en suelo (ppm Bray 1) en tres momentos del cultivo para los tratamientos de P_2O_5 a la siembra en el experimento 3	77
8- Absorción de P/planta al estadio V_{12} para los tratamientos de P_2O_5 a la siembra en los experimentos 1, 2 y 3 (manejo anterior del suelo en LC, LC-SD y SD-SD)	84

1. INTRODUCCIÓN.

La siembra directa es un sistema de producción tan antiguo como la historia a la vez que tan nuevo como la química agrícola y las siembras aéreas (Phillips y Young, 1979).

Su comienzo se remonta a las décadas de los años 50 y 60 cuando investigadores y agricultores comenzaron a experimentar en esta forma distinta de producir. Esto fue en respuesta a la necesidad de mejorar algunos aspectos negativos del laboreo convencional como ser: el bajo control de la erosión, el escurrimiento y la infiltración; su elevado costo, su efecto negativo sobre las condiciones físicas del suelo y la ineficiencia que implican los virajes en vacío.

Su difusión en Uruguay es consecuencia principalmente de la reducción en el costo del herbicida glifosato, de la preocupación de los agricultores por el fenómeno de la erosión y de la aparición de maquinaria de siembra en nuestro mercado.

En nuestro país esta técnica ha adquirido creciente importancia en los últimos años, propiciando una verdadera revolución tecnológica en la producción de cultivos y forrajes. Se ha expandido en forma rápida, estimándose que es utilizada en aproximadamente un 30 % del área de cultivos de invierno, y en más de la mitad del área de cultivos de verano de segunda (Martino, 1997).

Su amplia difusión ha generado una demanda creciente por información sobre algunos aspectos tecnológicos vinculados a esta práctica entre los que se destacan: mecanismos de siembra, control de malezas, control de enfermedades, dosis, ubicación y fuentes de nutrientes.

El hecho de no laborear el suelo en los sistemas bajo siembra directa produce cambios importantes en las propiedades químicas y físicas del mismo, los que afectan la disponibilidad y absorción de nutrientes. La disponibilidad de nutrientes se ve reducida debido al menor aporte de los mismos vía mineralización de la materia orgánica. A su vez, los cambios en las propiedades físicas provocan restricciones al crecimiento vegetal lo que determina una disminución en la absorción de nutrientes.

En el caso de nutrientes de naturaleza inmóvil en el suelo como el P, la ausencia de laboreo junto a la absorción del mismo desde capas profundas del suelo y a la aplicación localizada a poca profundidad de los fertilizantes fosfatados determinan que dicho nutriente se concentre en las capas superficiales del suelo. Esta estratificación puede ser un problema en situaciones de años con precipitaciones escasas y en suelos con bajo contenido inicial de P, dado que la concentración del P en superficie interacciona negativamente con el uso del agua ubicada en los estratos más profundos del suelo.

Al menor aporte de N por parte del suelo en sistemas bajo siembra directa se le suma el efecto negativo de la cobertura de residuos sobre la eficiencia de uso de los fertilizantes nitrogenados aplicados en superficie (reducción de la disponibilidad del fertilizante agregado por inmovilización en los residuos y pérdidas por volatilización de amoníaco). Debido a ello cobra importancia la incorporación de los fertilizantes nitrogenados amoniacales por debajo de la capa de residuos, así como el uso de fuentes alternativas de N que lo aporten parcialmente bajo forma de nitrato.

Los objetivos de este trabajo son:

- a) estudiar la respuesta al P de maíz sembrado sin laboreo, sobre suelos con manejos anteriores del laboreo contrastantes.
- b) estudiar la respuesta al agregado de N en el estadio V_6 , aplicado de diferentes formas y usando diferentes fuentes, sobre suelos con manejos anteriores del laboreo contrastantes.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

2.1. INTRODUCCIÓN.

Entre los nutrientes requeridos por las plantas para completar su ciclo vital se destacan el nitrógeno y el fósforo, por su importancia para el normal funcionamiento y porque son dos nutrientes que generalmente escasean bajo condiciones de cultivo.

Si bien los suelos pueden contener elevados niveles de estos nutrientes y bajo diferentes formas, muchas de estas no están disponibles para las plantas. Esto determina que el nivel natural disponible de dichos nutrientes comúnmente no sea suficiente para cubrir las necesidades del cultivo (especialmente debido a los altos potenciales de producción actuales) y deba recurrirse al aporte de los mismos mediante el uso de fertilizantes.

Dentro de los fertilizantes nitrogenados y fosfatados existen diferentes fuentes, formas y métodos de aplicación.

Del fertilizante aplicado solamente parte del mismo es usado por el cultivo. El mismo está sujeto a variadas clases de pérdidas las cuales están en función del nutriente considerado. Esto determina una importante reducción en la disponibilidad del fertilizante para el cultivo, lo que lleva a que en el momento de la fertilización no sólo se preste atención en la elección de la dosis a usar. Otras variables como ser el momento, fuentes y formas de aplicación cobran importancia con el único objetivo de incrementar la eficiencia de uso de los nutrientes, lo que tiene un claro impacto en la relación insumo producto del cultivo considerado.

2.2. FERTILIZACIÓN NITROGENADA.

2.2.1. Introducción.

Rabuffetti (1983) manifestó que el contenido de N en los 20 cm superficiales de los suelos oscila entre 0.02 y 0.4 %, dependiendo de algunos factores locales como ser clima, vegetación y material generador del suelo.

Del N total del suelo aproximadamente un 98 % se halla bajo forma de compuestos orgánicos, estando el 2 % restante bajo formas inorgánicas.

Las formas orgánicas identificadas (proteínas, aminoácidos y azúcares aminados) se hallan presente en la materia orgánica del suelo. Conjuntamente con las formas

orgánicas no identificadas, representan del 5 al 6 % en peso de la misma.

Los compuestos inorgánicos presentes en el suelo son: amonio, nitrato y nitrato (presentes en la solución del suelo); y óxido nítrico y óxido nitroso (presentes en forma gaseosa en la atmósfera del suelo). Los vegetales absorben la mayor parte del N bajo forma de amonio y principalmente de nitrato.

2.2.2. Requerimientos.

El N es un nutriente que cuando escasea provoca importantes limitaciones a la producción de cultivos. Esto se debe a que integra compuestos de importancia fundamental para las plantas como proteínas, pigmentos de clorofila, hormonas, adenosin trifosfato, etc. (Rabuffetti, 1983; Devlin, 1970).

En materiales de plantas verdes las proteínas son la mayor fracción del N, representando de 80 a 85 % del N total. El N de los ácidos nucleicos representa el 10 % y los aminoácidos solubles el 5 % del N total (Mengel y Kirby, 1987).

Un cultivo de maíz con una producción de 7400 kg de grano/há necesita con tal fin 185 kg de N/há. En el periodo comprendido entre emergencia y floración el cultivo requiere absorber el 70 % de los requerimientos totales de N (Darwich, 1993).

La acumulación de N en las plantas es semejante a la de materia seca, con la diferencia que la primera precede a la segunda. En la medida que el cultivo envejece parte del N de las áreas vegetativas se mueve hacia los granos, independientemente de la magnitud del suministro externo de N. Al momento de la madurez el grano contiene alrededor de 2/3 del N total de la planta, y la mitad de ese N en el grano proviene de translocación desde otras partes de la planta (Hanway, 1961b; Rabuffetti, 1983).

Malavolta y Pires (1987) reportaron que Andrade (1975) mencionó también la estrecha relación entre la acumulación de materia seca y la de N, encontrándose la cantidad máxima de este macronutriente a los 80 días post-emergencia (luego de la elongación de los estigmas). Esto se da antes de lograrse el pico de acumulación de materia seca.

El mismo autor mencionó que para producir 6000 kg de grano/há un cultivo de maíz tiene una tasa de absorción diaria de 3 kg/há de N. Esto implica que dicho requerimiento deba ser cubierto por el aporte del suelo y/o del fertilizante.

Los requerimientos de N en los años iniciales de sistemas de producción basados en siembra directa son mayores al compararlos con los del laboreo convencional. Bordoli (1997) mencionó que Kitur et al. (1984) y Rice y Smith (1984) explicaron este

incremento en los requerimientos de N por la menor mineralización de la materia orgánica del suelo y por inmovilización de N debido al aumento en el nivel de materia orgánica del suelo.

Doran (1980) (citado por Benítez y Lecuona, 1996) explicó la menor disponibilidad de $N-NO_3$ para las plantas en condiciones de cero laboreo por un más rápido lavado de $N-NO_3$, menores tasas de nitrificación y mineralización, mayores tasas de inmovilización y menores condiciones aeróbicas que resultan en mayores pérdidas de $N-NO_3$ por denitrificación.

Según Romagnoli (1994) en la mayoría de los suelos cultivados en siembra directa hay respuesta a la aplicación de N, pero dicha respuesta está condicionada al balance de los demás nutrientes especialmente el P. Se detectan respuestas al N cuando existe una abundante cobertura de rastrojo de gramíneas, en suelos húmedos y fríos, y en suelos pobres en materia orgánica y estructura.

2.2.3. Respuesta a la fertilización nitrogenada.

2.2.3.1. Respuesta en producción de grano a dosis de N.

La respuesta a la fertilización nitrogenada, ya sea medida en producción de grano como en parámetros de crecimiento del cultivo de maíz, está en función de algunos factores entre los cuales se destacan la edad de la chacra, el tipo de suelo y el régimen de precipitaciones (Pérez, 1969; Anónimo, 1971; citados por Torres, 1996).

Estas variables poseen efectos directos sobre la disponibilidad de N para los cultivos a través de sus efectos sobre la dinámica de dicho nutriente en el sistema suelo-planta.

Los factores mencionados son algunos de los determinantes del contenido de $N-NO_3$ en suelo. El valor de $N-NO_3$ en suelo en el estadio V_6 por debajo del cual se espera respuesta al agregado de N oscila entre 17 y 25 ppm, según diferentes autores. Sims et al. (1995) reportaron que en sus experimentos no hubo respuesta al agregado de N con valores de $N-NO_3$ en suelo de 17 ppm, en planicies de la costa atlántica de USA. A su vez mencionaron que sus resultados son muy similares a los de Magdoff et al. (1980) quienes manejaron valores críticos de $N-NO_3$ en V_6 de 18 ppm, para el noreste de USA. También manifestaron que Fox et al. (1992) determinaron en Maryland y Pensilvania valores críticos de 21-22 ppm, mientras que Blackmer et al. (1992) hallaron valores críticos entre 20 y 25 ppm en Iowa. Estos diferentes niveles críticos de $N-NO_3$ en suelo posiblemente se explican por los diferentes regímenes hídricos imperantes en la temporada de crecimiento del cultivo, para las distintas zonas mencionadas.

Carrasco y Shchevzov (1985), y Torres (1996) realizaron una detallada revisión de las situaciones de respuesta de maíz a N en el país, y cómo influyen en la misma las variables mencionadas anteriormente.

A nivel internacional, bajo condiciones de suelo y clima diferentes a las del país, son variadas las respuestas halladas tanto en magnitud como en sentido frente al uso de fertilizantes nitrogenados.

Los efectos del N en la producción de grano según Mengel y Kirby (1987) se deben a su influencia en: el número de mazorcas por hectárea, el número de granos por mazorca y el peso de granos. La influencia en el número de mazorcas se debe a los efectos de este nutriente sobre el crecimiento temprano, determinando la formación de dichas estructuras reproductivas. En condiciones de una inadecuada nutrición nitrogenada se produce pérdida de granos potenciales en las mazorcas, reduciéndose el número de los mismos a cosecha. En cuanto al peso de granos, los efectos del N sobre el mismo se manifiestan a través de una mayor duración del período de llenado por un retraso en la senescencia foliar.

Binford et al. (1992) destacaron la importancia de la fertilización nitrogenada en la producción de grano de maíz. Dichos autores determinaron que la disponibilidad de N explicó del 72 al 95 % de la variabilidad en la producción de grano. Por otra parte, en ensayos sin fertilizar obtuvieron rendimientos que significaron del 28 al 63 % de la máxima producción obtenida usando fertilizantes nitrogenados.

Trabajando con maíz sembrado sin laboreo y con una fertilización base a la siembra de 56 kg de N/há, Eckert y Martin (1994) encontraron respuesta en producción de grano a la aplicación de 112 Kg de N/há en el estadio V₆. La respuesta a dosis de 168 y 224 kg de N/há en dicho momento no fue consistente en todos los experimentos.

Fox et al. (1986) obtuvieron rendimientos máximos de grano de maíz (10500 y 9000 kg/há) con dosis de nitrógeno de 171 y 202 kg/há respectivamente aplicadas al estadio V₆ (con una aplicación a la siembra de 11 kg de N/há en todos los tratamientos incluido el testigo), mientras que la producción de los testigos fue de 6360 y 3500 kg/há; lo que significa respuestas de 24 y 27 kg de grano/kg de N agregado. Sin embargo para lograr el 90 % de la producción máxima fueron necesarios de 97 a 134 kg de N/há. El cultivo se realizó con cero laboreo.

En un ensayo realizado por Ketcheson (1980) sobre suelos de textura media y fina, se obtuvo una producción de grano de maíz sin laboreo de 3750 kg/há con 120 kg N/há y de 4635 kg/há con 240 kg de N/há (ambas dosis de N fueron aplicadas a la siembra en cobertura). Esta variación en la producción equivale a 7,4 kg de grano/kg de N agregado. Esta baja respuesta está explicada por la elevada dosis inicial usada, la cual fue suficiente para cubrir cualquier tipo de déficit de este nutriente.

Mengel et al. (1982) trabajando con maíz en cero laboreo obtuvieron producciones de grano de 7800 kg/há con 165 kg de N/há (aplicados en cobertura o incorporados a la siembra, según fuentes usadas) y de 4525 kg/há sin agregado de N lo que equivale a una respuesta de 20 kg de grano/kg N agregado.

Stecker et al. (1993) trabajando con maíz en cero laboreo reportaron incrementos significativos en la producción de grano en respuesta al incremento en la fertilización nitrogenada de 0 a 202 kg de N/há (aplicados en cobertura luego de la siembra). Ellos obtuvieron respuestas de 21, 17.2 y 12 kg de grano/kg de N agregado para dosis de 67, 135 y 202 kg de N/há. Los suelos con los que trabajaron tenían entre 1.7 y 2.5 % de materia orgánica.

A su vez Powell y Webb (1972) detectaron una importante respuesta en producción de grano de maíz para una dosis inicial de 224 kg de N/há/año (incorporados pre-siembra). Dicha respuesta disminuyó y fue negativa para las dosis mayores de N aplicado (448, 672, 896, 1120 y 1344 kg de N/há/año). Esto se debió a una disminución del PH del suelo por la aplicación anual de altas dosis de N. La disminución del PH llegó a ser de hasta 1.5 puntos al final de un período de fertilización de tres años, usando dosis elevadas de fertilizantes nitrogenados. El sistema de laboreo usado fue convencional.

Howard y Tyler (1989) trabajando sobre suelos con un contenido de materia orgánica de 1.4 % y con dosis de 56, 112, 168 y 224 kg de N/há (aplicados a la siembra) obtuvieron respuestas de 34, 23.2 y 11.3 kg de grano de maíz/kg de N agregado. Se aprecia que el incremento en las dosis de N trajo aparejado una disminución en el rendimiento de grano por kg de N agregado, de tal forma que la respuesta a la dosis mayor de N usada no fue significativa. El cultivo se realizó con cero laboreo.

Por el contrario Bandel et al. (1980) no encontraron respuesta al N en producción de grano trabajando con maíz en cero laboreo. Esto fue debido al elevado nivel de N natural del suelo bajo el cual se llevó adelante el ensayo, el cual osciló entre 2000 y 3000 kg/há en la capa arable del suelo (0-15 cm).

En un estudio similar llevado a cabo por Lutz y Lillard (1973) con maíz en cero laboreo se determinó una producción de grano significativamente menor con la dosis más alta de N comparada con la dosis menor (280 y 168 kg de N/há respectivamente). La dosis mayor de N redujo la producción en 552 kg de grano/há.

2.2.3.2. Respuesta en producción de grano a fuentes y métodos de aplicación de N.

Los fertilizantes nitrogenados de origen químico más comúnmente usados a nivel mundial en la refertilización de maíz son: amoníaco anhidro, urea, nitrato de amonio y

solución UAN (urea + nitrato de amonio).

En nuestro país la fuente nitrogenada que se usa con más frecuencia al momento de refertilizar es la urea, pero otras fuentes como el nitrato de amonio están aumentando su utilización.

El hecho de inclinarse por una u otra fuente implica diferencias entre las mismas en cuanto a pérdidas potenciales de N desde el fertilizante agregado, lo que afecta la eficiencia de uso del mismo. Esta última estará también en función del método de aplicación usado. Aquellos métodos que incorporan el fertilizante nitrogenado provocan un incremento en el uso del N aplicado debido a que las pérdidas por volatilización se ven disminuidas y el nutriente está posicionalmente mejor ubicado para ser absorbido por las raíces.

Incorporando la urea al suelo Fox et al. (1986) obtuvieron una mayor producción de grano que aplicándola en superficie. Esto era esperado dada la disminución en las pérdidas por volatilización de amoníaco en este tipo de situaciones.

Distintos son los resultados obtenidos con nitrato de amonio por los mismos autores. Ellos obtuvieron similares producciones de grano para aplicaciones incorporadas y en superficie. Esto se debe a la disminución de las pérdidas por volatilización de amoníaco cuando se usan en aplicaciones superficiales fuentes que aportan parte del N bajo forma de nitrato. Es para éstas fuentes que pierde importancia la incorporación del fertilizante, frente a la aplicación en superficie de las mismas.

En lo que respecta a solución UAN, el hecho de pasar de aplicaciones en superficie a incorporadas no provocó un incremento en el rendimiento. Esto se debería a que en el caso de aplicación en superficie las pérdidas por volatilización de amoníaco fueron pequeñas, o bien a que el hecho de incorporarla no previno las pérdidas por volatilización de amoníaco o facilitó las pérdidas a través de otras vías.

Stecker et al. (1993) trabajando con cuatro fuentes de N durante un periodo de tres años determinaron que el rendimiento de grano fue afectado en forma significativa por la fuente de N en cada año. El rendimiento usando nitrato de amonio fue superior con respecto a urea, solución UAN, y solución UAN + sulfato de amonio. Comparando estas tres fuentes la producción obtenida con urea fue significativamente mayor con respecto a la de solución UAN, y ésta lo fue con respecto a solución UAN + sulfato de amonio. El método de aplicación usado fue al voleo sin incorporar.

Usando fuentes y métodos de aplicación similares Fox y Hoffman (1981), y Fox et al. (1986) obtuvieron similares producciones de grano usando UAN y urea aplicadas en superficie.

Comparando aplicaciones de amoníaco anhidro y solución UAN incorporados al suelo frente a nitrato de amonio, solución UAN y urea aplicados en superficie, Mengel et al. (1982) determinaron una ventaja significativa en producción de grano de las fuentes incorporadas sobre las sin incorporar.

Resultados un tanto diferentes al anterior fueron obtenidos por Stevenson y Baldwin (1969). La producción de grano con el uso de amoníaco anhidro fue ligeramente superior a la obtenida con urea y nitrato de amonio (240 y 260 kg de grano/há respectivamente) independientemente del método de aplicación utilizado. Esto fue solamente una tendencia dado que las diferencias no fueron significativas.

Un estudio completo comparando fuentes de N, métodos de aplicación y sus interacciones fue realizado por Howard y Tyler (1989). Incorporando solución UAN y urea resultó en una producción de grano significativamente mayor cuando se comparó con métodos de aplicación al voleo y en bandas superficiales. Con bandas superficiales de solución UAN resultó en una producción más alta que con urea. Diferencias en producción entre urea y solución UAN no fueron observadas cuando se las aplicó al voleo. Aplicando al voleo nitrato de amonio resultó en una producción más alta que con solución UAN o urea. Incorporando urea o solución UAN resultó en producciones más altas cuando se comparó con nitrato de amonio aplicado al voleo.

Resultados similares al anterior fueron obtenidos por Touchton y Hargrove (1982) y Bandel et al. (1980) trabajando con nitrato de amonio, solución UAN y urea.

2.2.3.3. Respuesta en crecimiento a dosis de N.

El efecto de niveles crecientes de N en la tasa de acumulación de materia seca de maíz se ve reflejado en el mayor peso final de las diferentes partes de las plantas lo que refleja el mayor crecimiento de las mismas. Sin embargo el suministro adecuado de N no altera la proporción de cada parte en relación al total (Hanway, 1961).

Este efecto positivo del N en el crecimiento vegetativo fue claramente descrito por Mengel y Kirby (1987). Los tejidos meristemáticos poseen un muy activo metabolismo proteico, y los fotosintatos translocados a dichos sitios son usados predominantemente en la síntesis de ácidos nucleicos y proteínas. Es por esta razón que durante el estado vegetativo la nutrición nitrogenada de las plantas controla en gran magnitud la tasa de crecimiento de las mismas.

Ellos apreciaron que plantas creciendo en condiciones de déficit de N acumulaban carbohidratos. Esto permite demostrar que cuando el suministro de N es insuficiente, los fotosintatos pueden ser utilizados solo parcialmente en la síntesis de compuestos orgánicos.

Terman et al. (1977) comprobaron que la tasa de crecimiento de maíz se vio favorecida por un adecuado suministro de N, y la misma disminuyó en forma importante cuando el N agregado se agotó.

Sin embargo, Lutz y Lillard (1973) reportaron una disminución significativa en la tasa de crecimiento del maíz al aumentar las dosis de N usadas.

Trabajando con cero laboreo Bandel et al. (1975) encontraron respuesta a la fertilización con N a la siembra, expresada como producción de materia seca a los 110 días de la siembra. Dicha respuesta fue para dosis de 45, 90 y 135 kg de N, mientras que para una dosis de 180 kg de N/há no hubo respuesta.

Si se considera el efecto de diferentes fuentes de N en el crecimiento se arriba a resultados similares a los obtenidos para producción de grano. Bandel et al. (1980) obtuvieron claras ventajas por el uso de nitrato de amonio sobre otras fuentes de N como ser urea y solución UAN.

El propio Hanway (1961) mencionó que los efectos primarios de las deficiencias de N son en la cantidad de hojas producidas y en el LAF, antes que en la tasa de asimilación neta. También detectó que la deficiencia de N, junto a la de P y K, provocan una reducción en el tamaño de las hojas afectando esto su eficiencia fotosintética. Restricciones severas en el suministro de N y K pueden resultar en muerte prematura de hojas inferiores de las plantas, acortándose el período durante el cual estas hojas exportan fotosintatos.

La existencia de muerte prematura de hojas en condiciones de deficiencia de N no se debe a una falta de dicho nutriente para la elaboración de proteínas. Mengel y Kirby (1987) expresaron que la senescencia es inducida por una depresión en la síntesis y translocación de citoquininas. En su formación participan aminoácidos, lo que hace que su metabolismo esté estrechamente vinculado a la nutrición nitrogenada. Esta fitohormona promueve el crecimiento vegetativo y mantiene a la planta en estadios juveniles, por lo que su deficiencia puede resultar en senescencia foliar.

Por otra parte, también Eik y Hanway (1966) mencionaron que un incremento en la disponibilidad de N aumenta el número de hojas formadas por planta, el tamaño de las mismas, su tasa de emergencia y la expansión del área foliar.

Los efectos del N como promotor de crecimiento no se limita solamente a la parte aérea. Linscott et al. (1962) determinaron que la fertilización nitrogenada causó sistemas radiculares más extendidos y más profundos en plantas de maíz.

2.2.4. Concentración de N en tejidos.

Al momento de hacer referencia a niveles críticos de un nutriente, independientemente de cuál es la parte de la planta considerada, debe tenerse en cuenta que muchas veces se trata de un rango de valores más que de un valor puntual.

Nivel crítico puede tener más de un significado. Generalmente se lo expresa como el contenido porcentual de un nutriente para lograr una fracción de la producción máxima.

Voss et al. (1970) mencionaron que la concentración de N para lograr un 95 % de la producción máxima depende de variables como ser cultivo anterior, densidad de plantas, potencial de producción del suelo y contenido de humedad del mismo. Sus experimentos sugieren que la interpretación de los análisis de tejidos deben incluir consideraciones acerca de factores de suelo, de manejo y climáticos.

Para la zona donde se desarrolló el ensayo (oeste de Iowa, USA) los autores mencionaron que con 2.9 % de N en hoja a floración es posible obtener un 95 % de la producción máxima (6440 kg de grano de maíz/há).

También se han detectado efectos de otros nutrientes en la concentración de N en tejidos. Un mismo nivel de rendimiento puede ser obtenido con diferentes combinaciones de concentración de N y P en hoja.

Dumenil (1961) expresó que según un modelo denominado Cuadrático, el 95 % de la producción máxima puede ser obtenida con 2.62 a 2.93 % de N, si el % de P disminuye de 0.312 a 0.275 en hoja. Este mismo nivel de producción, según el modelo Square Root puede ser obtenido con 2.81 a 3.22 % de N en hoja cuando el % de P disminuye de 0.334 a 0.288 %.

El mismo autor mencionó que Tyner (1947) propuso como nivel crítico en la sexta hoja de maíz al momento de la floración, 2.9 % de N y 0.295 % de P en base seca.

También Dumenil (1961) mencionó que Bennet et al. (1953) definieron que para obtener el 95 % de la producción máxima en maíz se requiere una concentración de N en hoja comprendida entre 2.6 y 3.1 %.

Triplett y Van Doren (1969) trabajando con tres dosis de N, determinaron que el contenido de N en hojas de maíz luego de floración aumentó en forma significativa al aumentar la dosis de N de 67 a 134 kg de N/há (2.42 vs. 2.53 % respectivamente). Sin embargo no hubo respuesta a la dosis mayor (268 kg/há).

Fox et al. (1986) reportaron niveles de N en hoja de 2.3 a 2.72 % para dosis de N de 59 a 67 y de 97 a 134 kg/há respectivamente. Los rendimientos obtenidos para ambos grupos de dosis de N fueron 6600 y 8200 kg de grano de maíz/há.

Sin embargo, Lutz y Lillard (1973) reportaron que la concentración de N en hoja no fue afectada significativamente por las dosis de N usadas. Al aumentar la dosis de N de 168 a 280 kg/há la concentración de N pasó de 2.62 a 2.69 %.

Touchton y Hargrove (1982) reportaron resultados del efecto de diferentes dosis de N, así como de distintas fuentes y métodos de aplicación sobre los niveles de N en hojas de maíz.

El principal resultado al que arribaron hace referencia a que usando nitrato de amonio obtuvieron mayores concentraciones de N en hoja en comparación al uso de urea o solución UAN, considerando dosis similares de N.

En cuanto al efecto del método de aplicación y dosis de las diferentes fuentes sobre la concentración de N en hoja, los resultados obtenidos no fueron consistentes en los tres años del estudio. Los autores hacen referencia a una leve mejoría en la concentración de N por el hecho de incorporar la urea.

Un trabajo de características similares al anterior fue llevado adelante por Howard y Tyler (1989). Ellos determinaron que incorporando urea y solución UAN resultó en una mayor concentración de N en hoja que si dichas fuentes fueron usadas en aplicaciones superficiales. En esta situación usando distintas dosis no se produjo variación en la concentración de N en hoja.

Comparando nitrato de amonio con urea en aplicaciones superficiales los autores mencionados destacaron la mayor concentración de N en hoja para la fuente nitrato de amonio en estas condiciones de aplicación.

A resultados idénticos a los anteriores arribaron Mengel et al. (1982).

Eghball y Sander (1989) trabajando con dosis de N de 75 y 150 kg/há reportaron que el contenido de N en plantas jóvenes (en V₇) fue de 3.7 % para ambas dosis. Dichas concentraciones estuvieron asociadas a producciones de grano del orden de los 8000-9000 kg/há.

Binford et al. (1992) observaron que la concentración de N en plantas jóvenes (15-30 cm de altura) tendió a aumentar con el incremento en la dosis de N aplicado, siendo las diferencias estadísticamente significativas. La concentración de N fue máxima (4-5 %) para dosis de 250 a 300 kg de N/há aplicado. Para dosis menores (25 a 50 kg N/há) los valores encontrados fueron de 3 a 4 %.

Los mismos autores sin embargo mencionaron la limitada habilidad que tienen los análisis de tejidos en indicar excesos de suministro de N a la planta por parte del suelo, debido a la influencia de factores de suelo y ambientales sobre la concentración de nutrientes en tejidos.

Los valores obtenidos de análisis de tejidos poseen valor solamente si pueden ser relacionados con producción de grano o con concentraciones de N en el suelo. Fueron encontradas relaciones estadísticamente significativas entre producción de grano y concentración de N en plantas (15-30 cm de altura), pero las concentraciones observadas explicaron solamente 24 % de la variabilidad en la producción de grano. Esta pobre predictibilidad de las relaciones mencionadas indican que la concentración de N en plantas jóvenes es influenciada por factores que poseen en efecto pequeño en el crecimiento final.

Los autores también encontraron relaciones estadísticamente significativas entre concentración de nitratos en suelo y concentración de N en plantas (15-30 cm de altura). Pero al igual que para el caso anteriormente mencionado, la concentración de nitratos en suelo explicó solamente el 27 % de la variabilidad en la concentración de N en plantas (15-30 cm de altura). Sin embargo, la concentración de nitratos en suelo sí fue una buena predictora de la producción final de grano. Ella explicó un 61 % de la variabilidad en la producción absoluta de grano y un 76 % de la producción relativa del mismo.

2.2.5. Pérdidas de N y factores que las determinan.

Al momento de corregir las deficiencias de N que poseen los cultivos se puede optar por diferentes fuentes, las cuales varían en su contenido porcentual de N así como en su forma física y manera de aplicarlas.

Los mecanismos de pérdidas de N universalmente conocidos y cuantitativamente más importantes son: lixiviación, denitrificación y volatilización.

Los cambios provocados por los sistemas de siembra directa en las propiedades físicas del suelo tienen incidencia en lo que es la dinámica del agua. Estos cambios provocan un incremento en las pérdidas de N a través de: a) lixiviación debido a la mayor infiltración y contenido de agua del suelo; b) denitrificación dado el mayor tenor de humedad del suelo y la mayor actividad microbiana, y c) volatilización de amoníaco cuando se usan fertilizantes amoniacales aplicados en superficie (Bordoli, 1997).

El enfoque al tema estará centrado en lo que son las pérdidas por volatilización. Esto se debe a que son las pérdidas que manejando fuentes y métodos de aplicación son factibles de atenuar. Nelson (1982) mencionó que la recuperación del N aportado por el fertilizante es generalmente menor al 50 % de lo aplicado, y que cantidades sustanciales

del N agregado son aparentemente volatilizadas durante la temporada de crecimiento de los cultivos.

El amonio presente en el suelo, ya sea proveniente de mineralización de la materia orgánica o de fertilizantes se halla presente en el siguiente equilibrio químico:

$$\text{NH}_4^+_{(\text{sol})} \rightleftharpoons \text{NH}_3^+_{(\text{sol})} + \text{H}^+ \quad (\text{Beathgen, 1996}).$$

A su vez, el amoniaco presente en la solución del suelo está en el siguiente equilibrio químico: $\text{NH}_3^+_{(\text{sol})} \rightleftharpoons \text{NH}_3^+_{(\text{aire})}$ (Nelson, 1982).

Cualquier factor que modifique los equilibrios anteriormente mencionados, desplazándolos hacia amoniaco en la atmósfera del suelo propiciará pérdidas del mismo por volatilización.

Es por esto que las pérdidas de amoniaco están en función de la capacidad buffer del suelo, y del equilibrio amonio-amoniaco el cual es dependiente del PH y de la evaporación del contenido de agua del suelo. Otros factores a tener en cuenta por su importancia son las fuentes de N, dosis, métodos de aplicación, temperatura, contenido de agua del suelo, y en el caso de fertilizantes conteniendo urea la actividad de la ureasa y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) (Touchton y Hargrove, 1982; McInnes et al., 1986; Bandel et al., 1980).

2.2.5.1. Contenido de agua del suelo y pérdidas de humedad

McInnes et al. (1986) reportaron que las pérdidas de amoniaco por volatilización son mínimas cuando se aplica urea a suelos secos en superficie o bien cuando se producen precipitaciones importantes (mayores a 10 mm) luego de la aplicación. Sin embargo ellos detectaron pérdidas importantes de N como amoniaco cuando las precipitaciones luego de la aplicación fueron escasas (menores a 10 mm).

Similares resultados fueron obtenidos por Volk (1966); Fox et al., (1986); Fenn y Miyamoto, (1981) y Fox et al., (1996).

Esto se debe a que si la superficie del suelo está seca, no hay hidrólisis de urea por lo que las pérdidas de amoniaco se minimizan. Cuando el suelo está húmedo y permanece en tal condición las pérdidas también se minimizan debido a que el amonio resultante de la hidrólisis de urea puede penetrar en el suelo. Esto último también puede suceder cuando ocurren precipitaciones de cierta magnitud luego de la aplicación del fertilizante. En el caso de existir precipitaciones escasas (3-4 mm por ejemplo) sobre un suelo seco en compañía de alta demanda atmosférica, la rápida evaporación del agua provoca un incremento en la concentración de amonio lo que trae aparejadas grandes pérdidas de amoniaco (Beathgen, 1996).

Los efectos de la evaporación del agua del suelo sobre las pérdidas de amoníaco han sido estudiados por Wahhab et al. (1957). Ellos determinaron que al aumentar las pérdidas de humedad por evaporación, el porcentaje de amoníaco volatilizado también aumentó, existiendo una elevada correlación entre ambos.

Sin embargo esto es dependiente del nivel de agua en el suelo. Las máximas pérdidas de amoníaco halladas fueron para una saturación de humedad del 0.25 %. Al aumentar la misma por encima de dicho valor las pérdidas disminuyeron notoriamente.

A resultados similares a los anteriores arribaron Clay et al. (1990). Ellos detectaron un incremento en la concentración de amonio y amoníaco cuando el contenido de agua en el suelo disminuyó. Esto trajo aparejado un incremento en las pérdidas por volatilización de amoníaco.

Conclusiones contradictorias a las de Wahhab et al., (1957) fueron obtenidas por Dijk y Kroontje (1964) quienes establecieron que la tasa de volatilización de amoníaco disminuye con el tiempo, mientras que la tasa de evaporación de agua permanece constante.

Fox y Hoffman (1981) categorizaron las pérdidas de amoníaco por volatilización, basadas en el índice de lluvias y en el período comprendido entre la aplicación del fertilizante nitrogenado y la ocurrencia de precipitaciones. Cuando ocurrieron lluvias de 25 mm dentro de los dos días posteriores a la aplicación superficial de N las pérdidas por volatilización de amoníaco fueron insignificantes. Dichas pérdidas se incrementaron con el aumento en el período libre de lluvias luego de aplicar el fertilizante nitrogenado. De esta manera las pérdidas fueron mayores al 30 % si no ocurrieron lluvias dentro de los dos días post-aplicación.

Las pérdidas de N desde urea y solución UAN a través de volatilización de amoníaco son influenciadas por el contenido inicial de agua del suelo. Al-Kanani et al. (1991) mencionaron que las máximas pérdidas ocurrieron a potenciales de agua del suelo de -0.01 MPa, independientemente si el suelo estaba secándose o ganando agua. A potenciales de humedad menores a -1.5 MPa la hidrólisis de urea fue mínima. Esto puede ser debido a la menor actividad de la ureasa a altos potenciales de agua en el suelo por el poco contacto entre el sustrato y las moléculas de urea debido al poco movimiento de la misma dentro del suelo en estas condiciones de humedad.

A resultados similares a los de Al-Kanani et al. (1991), arribaron Ernst y Massey (1990). Ellos reportaron incremento en las pérdidas de amoníaco con el aumento en el contenido de humedad del suelo. Esto se debería al tiempo que demora el suelo en secarse, tiempo durante el cual ocurren pérdidas de amoníaco. Sin embargo, en situaciones de secado rápido del suelo, la hidrólisis de urea no es completa por falta de humedad.

2.5.2. PH del suelo

Los resultados de varios estudios mencionaron un incremento en las pérdidas de N por volatilización de amoníaco con el aumento en el PH de los suelos (Ernst y Massey, 1960; Wahhab et al., 1957; Chao y Kroontje, 1964; Overrein y Moc, 1967)

La afirmación anterior también fue realizada por Avnimelech y Laher (1977). Sin embargo ellos indicaron que este fenómeno cobra importancia sólo cuando la capacidad buffer del suelo es alta o bien cuando la concentración de amonio en el suelo es baja. Sin embargo cuando el PH del suelo es alto al igual que la concentración de amonio, el factor dominante influenciando la volatilización de amoníaco es la capacidad buffer del suelo.

No sólo el PH original del suelo tiene influencia en lo que son las pérdidas por volatilización de amoníaco. Los productos resultantes de las aplicaciones de urea al suelo provocan un aumento temporal en el PH del suelo con el consiguiente incremento en las pérdidas por volatilización de amoníaco (Kissel et al., 1988; Ferguson et al., 1984; Overrein y Moc, 1967; Ernst y Massey, 1960).

Ferguson et al. (1984) y Kissel et al. (1988) expresaron que la hidrólisis completa de urea y la liberación de CO_2 son procesos que consumen H^+ , y como consecuencia de esto ocurre un aumento en el PH del suelo. Sabido es que un incremento del PH (aumento en la concentración de OH^-) provoca un incremento en la proporción de nitrógeno amoniacal bajo la forma de amoníaco, propiciándose las pérdidas por volatilización del mismo. A manera de ejemplo los autores mencionaron que para PHs de 7 y 8 los porcentajes correspondientes de nitrógeno amoniacal en la forma de amoníaco son 0.026, 0.26 y 2.6 respectivamente.

Ernst y Massey (1960) y Volk (1966) mencionaron que también el uso de materiales calcáreos favorecieron las pérdidas por volatilización de amoníaco debido a los efectos en el PH, y a que hay un mayor grado de saturación en Ca del complejo de intercambio de bases en el suelo. Esto último disminuye la adsorción del ion NH_4^+ retenido por parte del suelo.

2.5.3. Temperatura del suelo

Son varias las menciones acerca del efecto de la temperatura del suelo sobre las pérdidas de N vía volatilización de amoníaco.

Clay et al. (1990) determinaron que cuando la temperatura disminuye también lo hace la volatilización de amoníaco. Esto se debe a que el proceso de volatilización es dependiente de la temperatura. Con el aumento de la temperatura se produce un

incremento en la constante del equilibrio amonio -- amoníaco y en la concentración de este último. De esta forma hay un aumento en las pérdidas de N por volatilización del amoníaco.

Los mismos autores mencionaron reportes de Sherlock y Goh (1985a y 1985b) quienes expresaron que los ciclos diarios en la volatilización de amoníaco son resultantes de los ciclos de temperatura en el día, correspondiendo las máximas pérdidas de amoníaco con los momentos del día en que la temperatura del suelo fue mayor.

Gasser (1964) detectó que un incremento en la temperatura del suelo de 10 a 25° C produjo un claro aumento en la volatilización de amoníaco.

A resultados similares a los anteriores arribaron Terman et al., (1964); Ernst y Nancy, (1960); Wahhab et al., (1957); Fenn y Miyamoto, (1981).

2.2.5.4. Concentración de amoníaco.

Chao y Kroontje (1964) encontraron que la cantidad de amoníaco liberado aumenta con la cantidad de N agregado, pero la proporción del N volatilizado como amoníaco es constante.

Sin embargo Wahhab et al. (1957) y Overrein y Moe (1967) reportaron que la proporción del N agregado que es volatilizado como amoníaco aumenta con el incremento en la dosis de fertilizante usado.

Nelson (1982) mencionó que Fenn y Kissel (1974) observaron que el % del N agregado como nitrato de amonio que era liberado como amoníaco desde suelos calcáreos aumentó con el incremento en la tasa de aplicación de N, mientras que la proporción de N volatilizado bajo la forma de amoníaco no fue afectada por la dosis de aplicación.

La adsorción de amonio por parte del suelo conduce a una disminución en la concentración del mismo y de amoníaco en la solución del suelo, lo que determina una reducción en las pérdidas de amoníaco. Lo mismo ocurre cuando el fertilizante es mezclado con un gran volumen de suelo (Avnimelech y Laher, 1977).

2.2.5.5. Características del suelo.

Una mayor proporción del N agregado como amonio a suelos de textura arenosa es perdida por volatilización de amoníaco, cuando se compara con pérdidas desde suelos de textura fina. Así lo afirmaron Wahhab et al. (1957) y Gasser (1964). Este efecto de la

textura del suelo sobre la volatilización de amoníaco es debido a la mayor capacidad de intercambio catiónico de los suelos de textura más fina.

El propio Gasser (1964) concluyó que la capacidad de intercambio catiónico fue el factor más importante gobernando las pérdidas de amoníaco desde aplicaciones de urea y sulfato de amonio al suelo.

Nelson (1982) mencionó que varios investigadores concuerdan en que la adición de materia orgánica a suelos cubiertos de residuos de plantas o con mulch orgánico en superficie, resulta en menores pérdidas por volatilización de amoníaco en comparación a aplicaciones de urea en suelo desnudo. Esto se debería a la limitada capacidad de intercambio catiónico que poseen los residuos orgánicos. De esta forma menos amonio es retenido en los sitios de intercambio de dichos residuos, cuando se compara a la retención en los sitios de intercambio del suelo.

El mismo autor mencionó que Martin y Chapman (1951) observaron un efecto de la naturaleza de los cationes en el complejo de intercambio sobre la volatilización de amoníaco desde el suelo. Las pérdidas fueron mayores desde suelos saturados con K^+ y Na^+ cuando se compararon a aquellos saturados con Ca^{2+} y Mg^{2+} probablemente debido a los mayores PHs imperantes en los primeros.

2.2.5.4. Método de aplicación del fertilizante.

Con varios los investigadores que han demostrado que la volatilización de amoníaco es considerablemente reducida cuando la urea se incorpora al suelo.

Ernst y Massey (1960) demostraron que las pérdidas de amoníaco desde suelos arenosos fueron reducidas en un 75 % cuando la urea fue mezclada con los 3.8 cm superficiales del suelo, en comparación a la aplicación en superficie.

A su vez hay un efecto de la profundidad de localización. Overrein y Moe (1967) demostraron que al aumentar la profundidad de aplicación de la urea disminuyó considerablemente la volatilización de amoníaco. Sin embargo ellos observaron pérdidas considerables aún cuando la urea fue aplicada a 2.5 cm de profundidad en suelos de textura arenosa. Las pérdidas fueron reducidas cuando el suelo estaba húmedo, en comparación a las pérdidas con suelo seco.

Nelson (1982) mencionó que Fenn y Kissel (1976) encontraron que para eliminar las pérdidas por volatilización de amoníaco desde aplicaciones de urea en banda, se requiere una mayor profundidad de aplicación para suelos arenosos que para suelos arcillosos.

2.3 FERTILIZACIÓN FOSFATADA

2.3.1 Introducción

Rabuffetti et al. (1987) expresaron que el contenido total de P en los suelos es bajo, con valores que oscilan entre 0.02 y 0.08 %, existiendo suelos muy deficientes cuyo contenido de P puede ser menor a 0.015 y suelos bien provistos de dicho nutriente que pueden llegar a tener 1% de P.

Las proporciones de P orgánico e inorgánico son de aproximadamente 50 % para cada uno.

Dentro de las formas inorgánicas se hallan: fosfatos solubles en agua, fosfatos de aluminio, fosfatos de hierro, fosfatos de calcio y fosfatos ocluidos. El P inorgánico se halla presente en la solución y en la fase sólida del suelo. Desde la solución del suelo es que las plantas absorben el P, bajo la forma de $H_2PO_4^-$ y HPO_4^{2-} . A su vez, dentro de la fase sólida se distinguen dos fracciones: P lábil y P fijado. La fracción lábil es de alta reactividad, siendo la responsable de reponer a la solución del suelo el P extraído por las plantas (hasta los valores normales de la misma). La fracción de P fijado es de baja reactividad y se halla en un equilibrio lento con la fracción lábil.

Las formas orgánicas identificadas son: ácidos nucleicos (0.6 a 2.4 % del P orgánico), fosfolípidos (0.6 a 0.9 % del P orgánico), inositol fosfato, éster de inositol y ácido fosfórico (estos representan aproximadamente el 35 % del P orgánico).

2.3.2 Requerimientos.

El P es un elemento indispensable para todas las formas de vida pues integra diversos tipos de compuestos como enzimas, proteínas, azúcares, ácidos nucleicos, y participa además en la transferencia de energía via adenosín trifosfato (Ozanne, 1980).

El P en los ácidos nucleicos se halla presente en el núcleo de las células, los azúcares con P se ubican en el citoplasma, los fosfolípidos en los cloroplastos y el P inorgánico en las vacuolas. El P de las vacuolas es considerado la reserva que suministra P al citoplasma cuando este lo requiere. Bajas concentraciones de P inorgánico en el citoplasma disminuyen el crecimiento, pudiendo inhibirse cuando el nivel de P inorgánico es de 0.3 mM o inferior (Mengel y Kirby, 1987).

La acumulación de P en las plantas sigue un patrón estacional similar al de acumulación de materia seca, con la diferencia de que precede al de esta última. El P acumulado en hojas, raíces y otras partes vegetativas es translocado a los granos durante

la etapa de llenado de los mismos. Esto sirve como una fuente importante de P para los granos en desarrollo, pero resulta en una disminución severa del P en hojas y demás partes vegetativas durante dicho período. La mitad o aún más del P presente en el grano a madurez proviene de la translocación desde hojas, raíces y otras partes vegetativas (Hanway, 1961b; Hanway y Olson, 1980).

Un cultivo de maíz que produce 7400 kg de grano/há requiere un suministro de 36 kg de P/há. Los requerimientos aumentan en forma importante luego de los 30 días de edad del cultivo, manteniéndose elevados hasta floración. Se puede afirmar que en el periodo comprendido entre emergencia y floración el cultivo debe absorber un 60 % de los requerimientos totales de P (Darwich, 1993).

La cantidad de P presente en la solución del suelo oscila en el rango de 25 a 50 g/há, considerando una profundidad de 20 cm (Morón, 1996; Zamalvide, 1996). La absorción de P por cultivos y/o pasturas en un ciclo de crecimiento supera varias veces esa cantidad, por lo que debe existir una constante reposición desde el pool de P lábil para suplir las necesidades de las plantas (Morón, 1996).

2.3.3. Respuesta a la fertilización fosfatada.

El P es un nutriente al cual los cultivos presentan respuesta máxima al principio de la estación de crecimiento, cuando la tasa de crecimiento es alta, y decrece gradualmente al acercarse a la madurez (Rabuffeti et al., 1987).

Dicha respuesta al P va a estar influida por algunos factores como ser poder buffer del suelo, distribución de P en el perfil del suelo, temperatura del suelo, grado de solubilidad del fertilizante aplicado, magnitud del P residual, presencia o ausencia de micorrizas, stress de humedad, escasez de otros nutrientes (Ozanne, 1980); impedimento mecánico al desarrollo de raíces (Ketcheson, 1980), interacción N-P (Powell y Webb, 1972).

El contenido de materia orgánica también puede afectar la respuesta al P debido a que esta es una fuente potencial de capacidad de intercambio catiónico y de fósforo (Bard y Mason, 1957).

2.3.3.1. Respuesta en producción de grano a dosis y localización del P.

Generalmente la producción de grano de maíz es beneficiada por el uso de fertilizantes fosfatados, estando la respuesta al agregado de este nutriente en función de los niveles del mismo en el suelo. En nuestro país para el cultivo de maíz se manejan valores críticos en el entorno de 15 ppm de P en la capa arable del suelo (Fernández,

1989). Por debajo de este valor se espera respuesta a la fertilización fosfatada, dependiendo la magnitud de la misma, entre otras cosas, de cuán por debajo de dicho valor crítico esté el dato de P en suelo de una determinada situación.

El tratamiento del suelo tiene influencia en el tipo y magnitud de la respuesta en rendimiento frente al uso del P.

Singh et al. (1966) mencionaron que la aplicación de 24.4 kg/há de P al voleo en maíz sin laboreo incrementó la producción de grano con respecto al testigo sin P (2429 vs. 1567 kg/há respectivamente). La respuesta obtenida fue de 35 kg de grano/kg P agregado. La disponibilidad de P en el suelo al inicio del ensayo fue de 2.46 kg/há, encontrándola los autores como muy baja para el tipo de suelo sobre el cual se llevó adelante el experimento.

Según Engelstad y Terman (1980), la mejor performance en producción de grano para situaciones de no laboreo es probablemente resultado del incremento en la humedad disponible para el cultivo especialmente por la presencia de una cobertura de residuos.

Trabajando con maíz sin laboreo, Moschler y Martens (1975) obtuvieron la mayor producción de grano en un periodo de 3 años con una dosis de 67.3 kg P/há cuando se comparó con la producción obtenida para una dosis de 10.1 kg P/há (10300-6965 kg grano/há respectivamente). El fertilizante fosfatado se aplicó al voleo dos semanas antes de la siembra. El nivel de P en los primeros 30 cm del suelo al inicio del experimento fue de 9.5 y 12.9 kg/há considerando de menor a mayor las dosis usadas.

El incremento en los niveles de fertilización fosfatada en aplicación al voleo tuvo un efecto altamente significativo en la producción de grano de maíz bajo cero laboreo según Lutz y Lillard (1973). Se lograron incrementos en producción de grano de 39 y 54 % sobre el testigo sin P para dosis de P de 25 y 100 Kg/há (como superfosfato), con una respuesta de 129 y 17.3 kg de grano por kg de P agregado (8355-11572-12870 kg grano/há respectivamente). Sin embargo los autores afirmaron que parte de este incremento en la producción de grano puede ser atribuido a efectos residuales de aplicaciones anteriores de P. Cuando el experimento se inició las parcelas que recibieron 25 y 100 kg de P contenían 10 y 30.24 kg/há de P disponible respectivamente en 90 cm de profundidad del suelo.

Belcher y Ragland (1972) estudiaron la respuesta a P en maíz bajo cero laboreo sobre suelos cuyo contenido de P era de 3 kg/há en la capa arable del suelo. Ellos encontraron respuesta en producción de grano al agregado de P frente al testigo para dosis de 56 kg/há de P aplicado al voleo a la siembra, y no a dosis mayores (4708-6917 kg grano/há respectivamente). La respuesta en kg grano/kg de P agregado fue de 51.5 kg.

Yost et al. (1979) trabajando sobre suelos deficientes en P (menos de 1 ppm) y con alta capacidad de adsorción obtuvieron mayor producción de grano de maíz al aumentar el agregado de P en un período de 4 cultivos, bajo un sistema de laboreo convencional. Los rendimientos en una secuencia de 4 cultivos para dosis únicas de P al primer cultivo de 70, 140, 280 y 560 kg/há aplicadas al voleo e incorporados fueron 11150, 17570, 23660 y 29440 kg de grano/há respectivamente. A su vez los rendimientos para dosis de 35, 70 y 140 kg de P/há/cultivo aplicadas en banda fueron 16610, 21900 y 26430 kg de grano/há.

También Eghball y Sander (1989) utilizaron maíz en laboreo convencional para determinar la respuesta al agregado de P (localizado). El contenido de P en los suelos de los 4 ensayos osciló entre 6.7 y 11 ppm, siendo las dosis usadas 0, 15 y 30 kg P/há en 3 de los ensayos y en el restante a estas dosis se adicionaron dos niveles más, 7.5 y 22.5 kg P/há. En 3 de los 4 experimentos el análisis estadístico detectó respuesta en producción de grano al agregado de P. Hubo respuesta a dosis de 15 kg P/há con respecto al testigo sin P en dos casos (45 y 78 kg de grano/kg de P agregado) y a 30 kg P/há en el caso restante con respecto al tratamiento con 15 kg P/há (45 kg de grano/kg de P). En la situación sin respuesta (15 kg grano/kg P agregado) los rendimientos estuvieron por debajo de la tonelada, lo que indica la influencia negativa de otro factor en los mismos.

Sin embargo Ketcheson (1980) trabajando con sistemas sin laboreo y de laboreo reducido durante 4 años, no encontró incremento en la producción de grano con el aumento en las dosis de P (aplicado al voleo e incorporado al inicio de los ensayos). Inclusive en las dosis más altas (475 y 1260 kg/há) hubo una disminución en la producción de grano. El autor manifestó que la dosis inicial usada (95 kg/há) fue suficiente para cubrir los requerimientos de P por parte del cultivo, por ello no hubo respuesta a dosis mayores.

El efecto positivo de altas dosis de P en la producción de grano de maíz no es independiente del momento de aplicación del fertilizante. Barry y Miller (1989) utilizaron plantas creciendo en un sistema hidropónico a las cuales agregaban soluciones nutritivas con diferente concentración de P y en diferente momento del desarrollo de las mismas. El mayor índice de cosecha y la mayor producción de grano se lograron cuando las deficiencias de P fueron corregidas entre el momento de la siembra y el estadio V_5 , usando las soluciones nutritivas más concentradas en P (1.63 mM y 1.00 mM). Esto se explicaría por un efecto del P sobre el tamaño de los meristemos axilares. Cada espiga es producida por un meristemo axilar que se forma aproximadamente en los estadios V_6 - V_7 . Una deficiencia de P durante la formación de dichos meristemos podría disminuir el tamaño de los mismos, resultando en un menor número de granos iniciados por mazorca. Un correcto suministro de P en este momento conduce a un mayor número de granos potenciales por mazorca debido a un mayor tamaño de la mazorca, lo que puede traducirse en un mayor número final de granos por mazorca al momento de la cosecha.

La solubilidad del fertilizante usado es otro de los aspectos a tener en cuenta al momento de la fertilización con P. Lutz y Lillard (1973) trabajando con fuentes de P total y parcialmente solubles, hallaron que la producción de maíz fue significativamente mayor con superfosfato concentrado que con fosforita parcialmente tratada con ácido, cuando fueron aplicados a una dosis de 100 kg de P/há (el nivel de P en la capa de suelo de 0-10 cm fue 30.24 y 48.16 kg/há respectivamente). Por otro lado producciones similares fueron obtenidas a dosis de 25 kg P/há como superfosfato y 100 kg P/há como fosforita parcialmente tratada con ácido (en este caso los niveles de P en suelo fueron de 30.24 y 48.16 kg/há).

La aplicación del fertilizante fosfatado puede realizarse uniformemente en superficie o bien en forma localizada (bandas). Se han detectado variaciones en la producción de grano según la forma de aplicación del P.

Los tratamientos de aplicación de P al voleo e incorporado en sistemas de laboreo convencional dieron producciones mayores que los tratamientos en banda a la misma dosis para el primer cultivo. Esto fue determinado por Yost et al. (1979). Ellos mencionaron que varios autores explicaron la mejor performance productiva de las aplicaciones de P al voleo debido a condiciones tales como: i) distribución más uniforme del P disponible en el volumen del suelo (Stryker et al., 1974; Jungk y Barber, 1975); ii) distribución más homogénea del sistema radicular, utilizando así una mayor proporción de agua disponible en el suelo (Drake y Stewart, 1950), y mejor suministro de P a las plantas que en los tratamientos en banda donde la disminución de agua cerca de la banda inicialmente reduce el P tomado (Marais y Wiersma, 1976).

Sin embargo los autores reportaron que la ubicación localizada del P en bandas para cultivos posteriores provocó un mayor incremento en el rendimiento. Esto se debe a que las aplicaciones localizadas se realizaron para cada cultivo, mientras que las aplicaciones al voleo fueron solamente para el primer cultivo. Al final de un ciclo de 4 cultivos, la producción total fue muy similar para ambos sistemas de aplicación del P, considerando la misma dosis. Estas dos diferentes tendencias sugieren que una combinación de aplicaciones al voleo y en banda puede ser deseable para obtener relativamente altas producciones inicialmente y para mantener estas producciones en los cultivos siguientes.

Cabe aclarar que el suelo bajo el cual se desarrolló este experimento poseía un muy bajo contenido de P (menos de 1 ppm) y una alta capacidad de adsorción.

También Welch et al. (1966) trabajando con maíz en laboreo convencional estudiaron la respuesta al método de aplicación de P con dosis entre 0 y 59 kg P/há aplicados al voleo e incorporados, y entre 0 y 39.4 kg P/há aplicados en banda al momento de la siembra. El nivel de P en el suelo osciló entre 5.6 y 20.1 kg P/há. Los autores concluyeron que la eficiencia productiva de la aplicación al voleo vs. banda está relacionada con el nivel de P inicial en el suelo. Cuando el nivel de P inicial en el suelo fue

mas, la ventaja en producción de grano para la aplicación en banda fue mayor que para el voleo, disminuyendo dicha ventaja en la medida que el nivel de P inicial en el suelo aumentaba.

Un trabajo similar al anterior fue realizado por Chaudhary y Prihar (1974). Ellos trabajaron con maíz en laboreo convencional bajo riego, en suelos que tuvieron 10.6 y 40 kg de P disponible/há respectivamente en los dos años del ensayo. Los métodos de aplicación de los 100 kg de P_2O_5 usados fueron al voleo e incorporado y en banda a 20 cm debajo de la semilla.

En el primer año del ensayo la aplicación del P debajo de la semilla aumentó la producción de grano en un 40 % con respecto al tratamiento de aplicación al voleo (6063 vs. 4251 kg de grano/há), mientras que en el segundo año el incremento fue de 170 % (2217 vs. 822 kg de grano/há).

Robertson et al. (1958) trabajaron con maíz en laboreo convencional con diferentes profundidades de aplicación del fertilizante fosfatado (5, 20, 36 y 51 cm). En años secos las aplicaciones profundas dieron mayor producción de grano que las menos profundas cuando hubo en los horizontes superficiales del suelo P residual de fertilizaciones anteriores. En años húmedos las plantas fueron capaces de obtener suficiente P desde fertilizaciones residuales de manera de promover la penetración radicular y el subsolado no fue tan efectivo en incrementar la producción de grano como la aplicación de P en profundidad.

Eckert y Johnson (1985) trabajando en suelos con un contenido promedio de P en el orden de 12 ppm (Bray 1) y usando maíz con cero laboreo, encontraron una mayor producción de grano cuando el P fue aplicado en forma localizada a la siembra (5 cm arriba y 5 cm al costado de la semilla) que cuando fue aplicado al voleo antes de la siembra (las dosis de P usadas fueron 14.5 y 29 kg/há). El rendimiento de grano para la aplicación localizada fue de 10460 kg/há, mientras que para la aplicación al voleo fue 8890 kg/há. Estos resultados se debieron a una mayor absorción de P durante etapas de crecimiento temprano en el caso de la aplicación localizada, en suelos con alguna deficiencia de este nutriente.

También Belcher y Ragland (1972) compararon dos métodos de aplicación de P a maíz sembrado sin laboreo sobre un suelo con un bajo contenido de P (3 kg/há en la capa arable y menos de 2 kg/há en el subsuelo). Las dosis de P usadas fueron 0, 56, 112 y 168 kg P/há, siendo uno de los métodos de aplicación la totalidad de la dosis al voleo y el otro consistió en una aplicación de 28 kg/há en banda al lado de la semilla y el resto del fertilizante al voleo.

Para el primer método de aplicación se encontró respuesta en producción de grano solamente a la primera dosis de P usada, mientras que la producción para las restantes no

afirió. Para el segundo método de aplicación del fertilizante hubo respuesta sólo a la dosis mayor. La producción promedio de grano para las dosis de P usadas no difirió entre los métodos de aplicación del fertilizante fosfatado (6215 vs. 5901 kg/há -voleo vs. banda-voleo-), lo cual demuestra que bajo sistemas de no laboreo las plantas pueden absorber P desde aplicaciones en superficie sin verse afectada la producción de grano.

Las explicaciones tentativas dadas por los autores a estos resultados obtenidos se centran en: el alto contenido de humedad en la superficie del suelo bajo las condiciones del experimento por la presencia de una capa de residuos, lo que probablemente favoreció el crecimiento radicular en dicha zona y por tanto una absorción adecuada de P, y el reducido contacto suelo-fertilizante lo que redujo la fijación de P por parte del suelo.

3.3.2. Respuesta en crecimiento de parte aérea a dosis y localización del P.

El efecto de los mayores niveles de P en la producción de grano puede estar explicado parcialmente por el beneficio de este nutriente sobre parámetros de desarrollo vegetativo y crecimiento radicular.

Mientras que existe respuesta a altos niveles de P, medida como crecimiento temprano, tal efecto desaparece con el desarrollo del sistema radicular indicando que en estadios más avanzados del cultivo cobra importancia la disponibilidad de P natural en estratos profundos del suelo (Engelstad y Terman, 1980).

Barry y Miller (1989) determinaron que el peso seco de planta en los estadios V_5 - V_6 fue incrementado por altos niveles de P, y esta mejora en la nutrición fosfatada de las plantas pareció conducir a un incremento de la producción de grano.

Ellos trabajaron con un sistema hidropónico y mencionaron que el desarrollo de plantas a las que se les suministró soluciones nutritivas más concentradas en P fue superior en la hoja a plantas que se les suministró soluciones con una menor concentración en P, considerando mediciones efectuadas en el estadio V_6 . Si bien coloraciones púrpuras en hojas y parte inferior de tallos son un síntoma pero no un diagnóstico de deficiencias de P, los autores destacaron que aquellas plantas creciendo en condiciones de bajo suministro de P experimentaron síntomas de este tipo.

Un experimento similar al anterior fue realizado por Fernández y García López de la (1982) con un cultivo hidropónico de maíz en invernáculo. Ellos expresaron que el nivel crítico de P en el medio nutritivo para obtener el máximo desarrollo de plantas de maíz depende del estado fenológico de ellas. Hasta el momento en que es visible el cambio de la 12ª hoja dicho valor es 1.10^{-3} M mientras que a partir de este momento y hasta el final del ciclo el máximo desarrollo se obtiene en plantas desarrolladas en un

meño con una concentración de $1 \cdot 10^{-4}$ M de P.

Según Lutz y Lillard (1973) el crecimiento de maíz fue afectado significativamente por los tratamientos con P. El peso de planta aumentó en forma significativa cuando la dosis de P agregada pasó de 0 a 25 y 100 kg/há, siendo el contenido de P del suelo de 10 y 30.2 kg/há para una profundidad de muestreo de 90 cm al momento de aplicar las dosis 25 y 100 kg/há respectivamente. Garg y Welch (1967) arribaron a resultados similares trabajando en suelos con un contenido de P entre 5.5 y 9 ppm (según la normalidad del CaCl_2 de la solución extractiva -0.025 y 0.1-).

Anghinoni y Barber (1980b) encontraron un efecto positivo de las mayores dosis de P aplicadas sobre el peso de tallo de maíz, lo que se manifestó en una disminución del área superficial de raíz por gramo de tallo. Esto significa que la dosis absorbida de nutrientes y agua debe aumentar cuando se incrementa la dosis de P, imponiendo un gran estrés en la capacidad de absorción de las raíces y en el suministro de agua y nutrientes por parte del suelo por cm^2 de raíz.

La temperatura es un factor que puede modificar la respuesta al agregado de nutrientes dada la influencia que posee sobre la tasa de crecimiento de distintas partes de la planta. La respuesta a la variación de temperatura depende de la especie de planta considerada.

Knoll et al. (1963) mencionaron a Hagan (1952) reportando que bajas temperaturas del suelo (alrededor de 10° a 15° C) disminuyen el suministro de nutrientes, lo cual puede contribuir a depresiones en el crecimiento.

Los mismos autores mencionaron a Ketcheson (1957) y Robinson et al. (1959), quienes detectaron que el uso de mayores dosis de fertilizante fosfatado en condiciones de bajas temperaturas tuvo un efecto positivo en el crecimiento. Sin embargo este aumento en el crecimiento por el uso de mayores dosis de P no logró compensar el efecto de las bajas temperaturas sobre el mismo.

Cuando se comparó el método de aplicación de P, se apreció que las aplicaciones en banda dieron mayor crecimiento temprano que las al voleo. Este rápido crecimiento temprano donde el P fue aplicado a un pequeño volumen de suelo puede ser el resultado de muy altas tasas de absorción de P por las raíces de plantas jóvenes desarrollándose en lugares con una alta concentración de P (Yost et al., 1979).

En su estudio con plantas de maíz creciendo en invernáculo, Garg y Welch (1967) también evaluaron el impacto de diferentes localizaciones del fertilizante fosfatado sobre la producción de materia seca de tallos en estadios iniciales del desarrollo. Obtuvieron una mayor producción de materia seca de tallo en el caso de la aplicación del fertilizante con la semilla en comparación a la aplicación del mismo mezclado con el suelo o

localizado en banda a 7.5 cm por debajo de la semilla, cuando la dosis total de P fue de 600 mg de P por maceta. Cuando la dosis total usada fue de 600 mg de P por maceta, la mayor producción de materia seca aérea se obtuvo con la aplicación de 50 % mezclado con el suelo y el 50 % restante junto a la semilla.

Stryker et al. (1974) realizaron un trabajo completo sobre los efectos de la localización del P en la tasa de crecimiento del maíz. Ellos concluyeron que la máxima acumulación de materia seca ocurrió solamente cuando el total del sistema radicular estuvo expuesto a suministro externo de P. Reducciones en el crecimiento del tallo de hasta del 20 % estuvieron asociadas con aquellas distribuciones en las cuales parte del sistema radicular estuvo desprovisto de suministro externo de P.

Estos efectos no fueron resultado de niveles insuficientes de P absorbido, demostrándose que una porción del sistema radicular puede absorber altas cantidades de P si el suministro externo de este es elevado.

Luego de 7 días de crecimiento, se observó una condición clorótica en algunas plantas. La condición fue más evidente en plantas que absorbieron P en tratamientos con un alto suministro externo del mismo. La clorosis estuvo asociada con una alta concentración de P en tejidos y con una falta aparente de hierro.

La relación entre localización de la clorosis en hojas y la distribución de P en la zona radicular siguió un patrón desconocido. Con una alta dosis de P y uniformemente distribuida, la clorosis fue más evidente en las hojas más viejas que en las más jóvenes, y fue similar a ambos lados de una hoja dada. Con distribuciones no uniformes de altas dosis de P, la clorosis también fue más pronunciada en las hojas más viejas, pero la clorosis ocurrió sólo de un lado de una hoja dada.

Los mismos autores afirmaron también que en situaciones de suelos con baja capacidad de suministro de P el hecho de aplicar el fertilizante en forma localizada puede traer aparejadas deficiencias en dicho nutriente en estadios de desarrollo más avanzados. Esto se debe a que con el crecimiento las raíces exploran zonas que están fuera de la influencia de la banda de fertilizante aplicado.

También comparando métodos diferenciales de aplicación de P, Chaudhary y Prihar (1974) hallaron que el peso seco de plantas de maíz a 18 días post-emergencia fue cerca del doble para la aplicación en banda con respecto a la aplicación al voleo. Similáramente, plantas de 49 días de edad fueron 34.7 cm más altas con la ubicación localizada del P con respecto a las con aplicación al voleo.

En la situación de aplicación localizada del P, el crecimiento temprano más rápido de las plantas es resultado de una mayor utilización del P cuando se comparó con la aplicación al voleo. El crecimiento vertical de las raíces alcanza rápidamente la zona

enriquecida en nutrientes por el fertilizante aplicado en bandas debajo de la semilla. Esto resulta en una disponibilidad más temprana de sustanciales cantidades de nutrientes para las plantas.

Contrariamente a lo anterior, cuando el fertilizante es aplicado al voleo en superficie no puede ser utilizado correctamente debido al crecimiento vertical de las raíces. Esto no solo se debe al crecimiento de las raíces por debajo de donde está aplicado el fertilizante, sino que también es la zona superficial del suelo la primera en secarse por lo que los nutrientes se hacen menos disponibles para las plantas.

También Bates (1971) reportó efectos positivos sobre el crecimiento de pequeñas cantidades de P aplicadas junto a la semilla al momento de la siembra.

A su vez, Raper (1976) (mencionado por Kamprath y Watson, 1980), reportó que una alta concentración externa inicial de P fue más importante para obtener el máximo crecimiento de plantas que cuando la concentración inicial de P se ajustó al desarrollo de las plantas.

3.3.3.3. Respuesta en crecimiento radicular a dosis y localización del P.

Hanway y Olson (1980), realizaron una interesante descripción del patrón de desarrollo de raíces de maíz y cómo lo afectan diferentes condiciones ambientales y de suelo.

En etapas de desarrollo temprano las plantas de maíz poseen unas pocas raíces seminales radicales que evolucionan desde la semilla. Estas raíces son más efectivas durante las primeras tres a cuatro semanas de crecimiento. Durante este tiempo se comienzan a desarrollar raíces adventicias desde nudos transitorios del coleoptilo cerca de la superficie del suelo. Estas raíces adoptan una distribución en forma de "cono" que se extiende a los lados de las plantas penetrando dentro del suelo a profundidades de 150 a 180 cm o más y desarrollándose extensamente, especialmente en la capa arable del suelo.

El crecimiento radicular y la absorción de nutrientes son dependientes del suministro de carbohidratos solubles a las raíces. Cuando las plantas jóvenes evolucionan por un corto tiempo luego de la siembra, estos azúcares son suministrados por carbohidratos almacenados en la semilla. Posteriormente, cuando las hojas se desarrollan, dichos azúcares son producidos por fotosíntesis en aquéllas. Durante el periodo de crecimiento vegetativo, la translocación de azúcares a las raíces es adecuada y el crecimiento radicular es rápido. Al momento en que los granos se desarrollan, los azúcares producidos por fotosíntesis en las hojas son canalizados primariamente para el desarrollo de aquéllos. Por tanto, la escasa translocación de azúcares a las raíces

decrece primero y detiene después el crecimiento de las mismas.

Como confirmación de lo anterior, Barber (1984) mencionó que Mengel y Barber (1974a y 1974b) determinaron que la máxima longitud de raíces en maíz se alcanzó cuando el cultivo estaba florecido en un 50 %. Al momento de la madurez, la longitud del sistema radicular fue solamente un tercio del máximo alcanzado.

El desarrollo del sistema radicular de maíz y su actividad es influenciado por condiciones ambientales como ser humedad, aereación, temperatura, disponibilidad de nutrientes, y propiedades químicas y físicas del suelo. Valores apropiados de estas variables ocurren generalmente entre los 15 y 30 cm de profundidad en el suelo, explicando el mayor desarrollo y actividad de las raíces en esa zona.

Este desarrollo radicular en dicho estrato de suelo varía con la edad de la planta. Así es que, Barber (1980), encontró que a los 34 días de la siembra el 60 % de las raíces de maíz estaban ubicadas entre los 0 y 15 cm de profundidad. Por el contrario a los 125 días luego de la siembra, solamente un 30 % estuvo en dicha profundidad.

Esto es una clara demostración de que en estadios de desarrollo avanzado, una gran parte del P absorbido puede provenir desde el subsuelo. La cantidad de P absorbido desde cada horizonte depende en gran parte de los niveles de P disponible en cada estrato así como de la naturaleza física y química del subsuelo, la cual influencia el desarrollo y penetración radicular en el mismo.

Mirreh y Ketcheson (1977) (mencionados por Ketcheson, 1980) encontraron que la elongación radicular es inversamente proporcional a los valores de resistencia a la penetración. Un desarrollo radicular restringido por este efecto puede imponer importantes limitaciones a la producción y desarrollo por restricción en la absorción de agua y nutrientes.

Olarán y Piñeyría (1996) mencionaron que Hambling (1985) expresó que estudios con varios cultivos sobre diferentes tipos de suelo determinaron reducciones en la elongación radicular y correlaciones negativas entre compactación y crecimiento radicular. Los mismos autores mencionaron que Bennie (1991) expresó que la longitud de raíz y la tasa de elongación axial están inversamente relacionadas con la resistencia a la penetración, en tanto que la tasa de extensión radial está directamente relacionada con esta última.

Al respecto Ernst et al. (1992) trabajando con cebada en laboreo convencional y siembra directa, reportaron que en siembra directa las raíces fueron más compactas y gruesas debido a que el efecto de la compactación determina (según Schumachen y Schumachen, 1981) una mayor fuerza para crecer a través del suelo.

Este menor crecimiento radicular en condiciones de suelos con cierto grado de compactación tiene efectos adversos sobre la absorción de nutrientes como el P, el cual es altamente dependiente de la exploración radicular para ser tomado por las plantas.

Al respecto Russel (1977) (mencionado por Ciganda, 1996) expresó que la restricción al crecimiento radicular por impedimentos mecánicos va en detrimento del crecimiento de la planta, solamente cuando el suministro de agua y nutrientes en la zona radicular son inadecuados.

El desarrollo radicular en respuesta al P es influenciado por la temperatura. Mackay y Barber (1984) evaluaron el crecimiento radicular en condiciones de dos temperaturas de suelo, dos temperaturas del aire y tres niveles de P.

La producción total de raíces y la longitud de las mismas fue más grande a 25° C que a 18° C. Al variar la temperatura del suelo los autores detectaron una interacción de la misma con los niveles de fertilización fosfatada para longitud de raíces. A 18° C la longitud de raíces de maíz aumentó cuando el nivel de P pasó de 0 a 44 Kg/há. Sin embargo, a 25° C la longitud de raíces fue mayor para la dosis intermedia de P (22 Kg/há), media para el tratamiento sin P, y menor para el tratamiento con 44 Kg de P/há.

Los autores mencionaron que Anghinoni y Barber (1980b) también encontraron un efecto similar del nivel de P en el crecimiento radicular a 25° C. A ambas temperaturas, el área superficial de raíces aumentó cuando el nivel de P aumentó, dado que el incremento en el radio de raíz con los mayores niveles de P más que compensó la reducción en el largo de raíz. Esto es particularmente importante para el P, dado que aún a altas concentraciones en la solución del suelo, difunde lentamente a la raíz.

Incrementando la temperatura del aire a 25° C mientras la temperatura del suelo se mantenía a 18° C resultó en un incremento en la longitud total de raíces y en el área de raíz cuando se comparó con maíz creciendo en el mismo suelo con temperaturas de aire promedio de 18° C. Esto sugiere que la disminución en el P tomado por el maíz a bajas temperaturas resulta en parte de la corta vida de los carbohidratos de los tallos limitando el crecimiento radicular y consecuentemente la superficie de las raíces.

Los resultados de este estudio indican que aumentando la concentración inicial de P en la solución del suelo parece compensarse la reducción en el crecimiento de raíces debido al efecto de las bajas temperaturas, por un aumento de la concentración de P en la superficie radicular e incremento del flujo de P a las raíces de menor área superficial.

Anghinoni y Barber (1980b) trabajando con 4 niveles de suministro de P (uniformemente), detectaron una menor longitud total de raíces y un menor peso de las mismas con el uso de los mayores niveles de P, mientras que el radio radicular no fue afectado. Los autores también mencionaron que una disminución en la tasa de

crecimiento de raíces al aumentar el nivel de P aplicado fue observada en trabajos de campo por Barber (1980) y a nivel experimental por Atkinson (1973), Asher y Lamerigan (1967), y Schenk y Barber (1979). Sin embargo el radio radicular no fue afectado, en estos trabajos.

Cuando la aplicación de P es restringida a parte del volumen de suelo, las raíces en el suelo tratado pueden diferir en su tasa de crecimiento y morfología de aquellas creciendo en suelos sin tratar. El grado de reducción en la proporción de suelo tratado con P puede afectar el resultado. Mezclando el P con todo el volumen de suelo dio el mayor peso y longitud de raíz, con respecto a aplicaciones de P localizadas en cierta proporción del suelo.

La distribución del crecimiento radicular entre volúmenes de suelo tratados y sin tratar indica que el crecimiento radicular fue más grande en el suelo tratado que en el sin tratar. La distribución de raíces en relación al volumen de suelo tratado con P, puede ser explicada por la expresión $y = x^{0.68}$ donde x es la proporción del volumen de suelo tratado con P e y es la proporción de longitud total de raíz en el suelo tratado.

En adición a este efecto sobre la longitud de raíz, la adición localizada de P reduce el número de raíz. La ubicación del P en parte del suelo aumentó el crecimiento radicular en el suelo tratado con respecto al sin tratar, y las raíces en el suelo tratado fueron más finas.

Ensayos con plantas de 12 días de edad que fueron sometidas a inanición de P durante diferentes números de días fueron llevados adelante por Anghinoni y Barber (1970a). El peso de raíces y su longitud aumentó, al tiempo que el radio radicular disminuyó al aumentar el número de días sin suministrarles P. Este es aparentemente un mecanismo de adaptación activado cuando el suministro de P es bajo. Un incremento en el número de raíces finas incrementaría el área total de raíz capaz de absorber P.

El crecimiento radicular también fue afectado por el suministro localizado de P a una porción del sistema radicular. Restringiendo la cantidad de raíces a las cuales se le suministraba P se obtuvo un menor peso de raíz pero no se detectaron efectos sobre la longitud de raíz.

Los efectos de localización del fertilizante P sobre el crecimiento de partes aéreas y radicales fueron también evaluados por Stryker et al. (1974).

El peso total de raíces fue mayor para distribuciones de P a ambos lados del sistema radicular, con respecto a distribuciones de P a una zona del sistema radicular. Esto fue debido a una menor producción de raíces en zonas desprovistas de P. Cuando el P se suministró a ambas zonas del sistema radicular pero a concentraciones diferentes, una respuesta intermedia en producción de raíces fue obtenida. La relación tallo/raíz

permaneció relativamente constante en todas las distribuciones del P indicando una estrecha relación entre crecimiento total de tallo y de raíz, independientemente de la distribución de P existente en la región radicular.

Los autores mencionaron la similitud entre los datos obtenidos con los postulados (McClure y Jackson, 1968b; McClure, 1972) de que la disponibilidad de fotosintatos descendientes y la capacidad de los meristemos radiculares de utilizar dichos fotosintatos son importantes rasgos de las distribuciones no uniformes de P en la zona radicular. También fue propuesto (McClure y Jackson, 1968b) que las zonas de la raíz carentes de suministro externo de P son regiones con escasa capacidad de utilización de los fotosintatos disponibles para nuevo crecimiento.

Es importante el grado en que una fuente externa de P en contacto con una parte del sistema radicular puede suministrar suficiente P a otra zona del sistema radicular y de este modo eliminar sus requerimientos de P externo. La translocación interna de P a raíces en zonas sin suministro de P ocurre en tal grado que la concentración de P en raíces de zonas sin suministro de P no pareció haber sido limitada. Sin embargo la distribución de raíces no fue eliminada o cambiada cuando más P fue translocado a raíces ubicadas en zonas sin P.

La relación entre distribución de materia seca y suministro de P expresa que cuando se suministraron bajas concentraciones de P a una zona de la raíz, el crecimiento de las raíces fue alto en la zona con suministro externo del nutriente. La explicación de lo acontecido es que el P absorbido no permitió lograr altas tasas de crecimiento del tallo. Posiblemente, los fotosintatos no pudieron ser totalmente convertidos en materia seca en las hojas ocurriendo una significativa translocación descendente de los mismos hacia las raíces expuestas a suministro externo de P.

Contrariamente a lo anterior, cuando se incrementó el suministro externo de P aumentó la absorción del mismo suministrándose más P a los tallos. En ellos los fotosintatos producidos fueron convertidos en materia seca. Las raíces en las zonas sin P incrementaron algo su peso seco, indicando que algo de translocación interna de fotosintatos y de P ocurrió. Sin embargo, la distribución de raíces en ambas zonas de suministro no fue igual. La translocación interna pareció suministrar niveles adecuados de P a raíces creciendo en zonas sin suministro externo del mismo, pero las raíces no crecieron tan bien como su concentración lo indicaba.

El P suministrado internamente desde otras partes del sistema radicular resultó en un crecimiento subóptimo de raíces. Esto puede deberse a: i) que el suministro interno de P esté compuesto por metabolitos muchos de los cuales no están rápidamente disponibles para funciones de crecimiento y ii) que el P suministrado internamente esté efectivamente compartimentalizado y de esa manera no disponible para los meristemos radiculares.

Un suministro externo de P pudo promover el crecimiento radicular más que el suministro interno por la mayor disponibilidad de P a los meristemas de la raíz. El P orgánico en las plantas está presente en dos pools, metabólico y no metabólico. El P metabólico está localizado en el citoplasma y no está disponible para crecimiento, mientras que el no metabólico se localiza en las vacuolas pudiendo ser usado en forma directa para crecimiento. Esta es la razón por la cual el P suministrado externamente tuvo un mayor impacto en el crecimiento radicular.

A su vez, el desarrollo preferencial de raíces en una zona del suelo como consecuencia de altas concentraciones de P puede resultar en un inadecuado desarrollo de las mismas en otras zonas donde la absorción de agua y otros nutrientes es dependiente de la intercepción radicular.

3.3.4. Estratificación del P.

Los sistemas de producción bajo siembra directa provocan cambios importantes en la distribución del P a lo largo del perfil del suelo y esto tiene repercusiones en la absorción del mismo por parte de las plantas así como en el crecimiento y producción de grano del cultivo.

El hecho que los fertilizantes fosfatados aplicados superficialmente no sean incorporados al suelo al igual que los residuos de cultivos, y conjuntamente con la liberación de nutrientes desde capas profundas produce estratificación de elementos móviles en la superficie del suelo (Shear y Moschler, 1969; Griffith et al., 1977; Lamberson, 1980; Randall, 1980; Timmons, 1982; Moncrief y Schulte, 1982; Cruse et al., 1983; Karathanasis y Wells, 1990; Karlen et al., 1991; Rhem et al., 1995; mencionados por Bordoli, 1997).

Un factor adicional que magnifica la estratificación del P en los sistemas de siembra directa es la naturaleza inmóvil de dicho nutriente en el suelo.

Templett y Van Doren (1969) detectaron una distribución uniforme de fósforo hasta los 7.5 cm en la hilera de parcelas sin laboreo. Por el contrario la distribución entre parcelas marcó una clara estratificación del P en los 2.5 cm superficiales, con muy poca evidencia de movimiento descendente. En el caso de parcelas laboreadas, los niveles de P fueron más altos en la hilera, entre los 5 y 13 cm de profundidad. Comparando parcelas sin laboreo con las laboreadas fue detectado un mayor contenido de P total en las parcelas sin laboreo, en el estrato de 0 a 7.5 cm de profundidad.

La producción de grano en este trabajo fue mayor para el maíz creciendo en parcelas sin laboreo, con respecto a los de laboreo convencional. Las precipitaciones fueron limitantes para el crecimiento del cultivo en los diferentes años del experimento,

según lo expresaron los autores. Esto pone en evidencia que la presencia de una capa de residuos superficiales en los tratamientos sin laboreo mantiene la humedad cerca de la superficie del suelo en niveles aparentemente adecuados para el crecimiento radicular. Bajo estas circunstancias los nutrientes inmóviles están posicionalmente disponibles para las plantas, no limitando los rendimientos.

La importancia del bombeo de P desde zonas profundas del suelo y su deposición en superficie junto a residuos del cultivo, sobre la estratificación de dicho nutriente en superficie ha sido demostrada por Eckert y Johnson (1985) y Fink y Wesley (1973). Ellos detectaron estratificación de P en capas superficiales trabajando con aplicaciones en cobertura y aún en ensayos sin uso de fertilizante fosfatado, por lo que la estratificación no es un efecto exclusivo de las fertilizaciones en cobertura.

Dichos autores mencionaron que usando aplicaciones subsuperficiales del fertilizante se reduce dicha estratificación, siendo esta reducción especialmente importante a altas dosis de aplicación de P.

A pesar de la estratificación de P hallada por Fink y Wesley (1973) en los sistemas sin laboreo, ellos obtuvieron similares producciones de grano con sistemas sin laboreo y con laboreo convencional, indicando que a pesar de la estratificación el suministro de P fue adecuado para las plantas.

También Mackay et al. (1987) obtuvieron resultados similares en cuanto a estratificación de P. Ellos detectaron valores de P Bray 1 3.3 veces mayores en los 7.5 cm superiores en hileras de parcelas sin laboreo comparado a parcelas con laboreo convencional. Las diferencias no fueron tan pronunciadas cuando las muestras se tomaron entre hileras. En el estrato de 7.5 a 27.5 cm de profundidad los valores de P fueron mayores en suelos con laboreo convencional comparado a los sin laboreo. Esta estratificación del P no solo es resultado de las aplicaciones superficiales del mismo, sino que también influye el hecho de que los residuos que retornan anualmente al suelo no son incorporados al mismo.

Como ocurrió algo de déficit hídrico durante un período del ensayo, no hubieron diferencias en el contenido de agua en los primeros 7.5 cm del suelo entre sistemas de laboreo. Esto no permitió realizar un buen uso del P concentrado en la superficie del suelo, siendo determinante que la producción de grano bajo no laboreo fuera menor que con laboreo convencional.

A un resultado similar arribaron Weil et al. (1988). Ellos reportaron diferencias significativas entre sistemas de laboreo en la distribución del P total, incluyendo una marcada estratificación de P inorgánico en los 2 cm superficiales del suelo en parcelas sin laboreo. Con la profundidad los niveles de P cayeron rápidamente bajo no laboreo comparado a la distribución más uniforme en laboreo convencional.

También detectaron una interacción significativa entre sistema de laboreo y profundidad. Mientras los niveles de P en sistemas sin laboreo fueron mayores que para el caso de laboreo convencional cerca de la superficie del suelo, ellos fueron más bajos considerando profundidades mayores.

Cuando la dosis de fertilizante usado aumentó de 0 a 20 y 78 kg de P/há la estratificación fue más dramática. Esto conduce a que el P permanezca en los 3.5 cm superiores del suelo sin reaccionar con el calcio. Esta banda superficial de P se cree que resulta en un incremento de la disponibilidad del mismo debido a su menor contacto con el calcio y por tanto menor fijación.

Por el contrario el P orgánico no siguió el patrón de estratificación del P inorgánico, no siendo afectado por el sistema de laboreo usado.

Selles et al. (1990) mencionaron que la concentración de P en los 2 cm superficiales del suelo fue significativamente más alta bajo condiciones de cero laboreo, cuando se la comparó con estratos más profundos y con otros sistemas de laboreo. Además, 1/4 del P en los primeros 10 cm del suelo se localizó en el estrato superficial de 2 cm, mientras que en otros sistemas de laboreo menos de 1/5 estuvo presente en dicha capa superficial.

Una distribución similar a la anterior fue observada en las fracciones de P lábil y moderadamente lábil. Ambas estuvieron concentradas en las capas superficiales del suelo, disminuyendo su presencia en los estratos más profundos del suelo mientras que la fracción de P no lábil se vio reducida en los estratos superficiales.

Este patrón de distribución los autores mencionados lo atribuyen a la falta de reciclado del fertilizante con el suelo en los sistemas de laboreo reducido, a la naturaleza inmovil de este nutriente en el suelo, y al reciclaje a través de restos de cultivo que quedan depositados en la superficie del suelo.

Rehm et al. (1995) estudiaron la distribución de P bajo un sistema de cultivo en canales. Según los autores la distribución de nutrientes bajo estas condiciones es similar a la encontrada en sistemas sin laboreo.

Cuando el P fue aplicado al voleo en superficie, el mismo se concentró en los primeros centímetros del suelo. Los menores valores de P en análisis de suelos fueron encontrados bajo la hilera del cultivo y a cortas distancias de la misma. Esto indica que una gran cantidad del fertilizante aplicado se concentró en el medio de las hileras y en los 7.5 cm superficiales del suelo.

Cuando el fertilizante fue aplicado superficialmente pero en bandas, los valores de análisis de suelo para P fueron mayores también en el centro de las dos hileras y en los 7.5 cm superiores del suelo.

Aplicaciones en bandas incorporadas produjeron cambios importantes en los niveles de P a 15 cm de profundidad. Los niveles de P para esta profundidad fueron significativamente mayores cuando se comparó este método a los de aplicación superficial.

Esta acumulación del P (y otros nutrientes) en los primeros cm del suelo provoca la acumulación de raíces en dicha capa, estando las mismas más expuestas a stress de humedad y temperatura.

Como afirmación de lo mencionado en última instancia, Mackay et al., (1987) mencionan que si bien la absorción de P de entre 27.5 y 75 cm de profundidad representa un porcentaje bajo del total absorbido, la presencia de raíces en ese estrato es importante desde el punto de vista de uso del agua.

No obstante Fink y Wesley (1973) y Triplett y Van Doren (1969) encontraron que la acumulación superficial de P en sistemas sin laboreo puede ser ventajosa debido a la mayor absorción de este nutriente en estadios tempranos de desarrollo, ya que el rastreo del suelo mantiene niveles de humedad adecuados para el crecimiento radicular en esta zona del suelo.

3.5. Absorción de P.

El P es absorbido por las raíces de plantas en forma de $H_2PO_4^-$ o HPO_4^{2-} . A su vez la cantidad de cada forma presente en la solución depende del PH de la misma. A PHs por debajo de 7, la forma que predomina es $H_2PO_4^-$. A las concentraciones de P comúnmente encontradas en los suelos, el HPO_4^{2-} es absorbido mucho más lentamente que el $H_2PO_4^-$ (Hendrix, 1967; Hagen y Hopkins, 1955; mencionados por Barber, 1980).

Lamprath y Watson (1980) mencionaron a Loneragan y Asher (1967) reportando que la tasa de absorción de P por unidad de peso de raíz para crecimiento máximo depende de: i) el suministro inicial de P a las plantas ii) la eficiencia con la cual dichas plantas absorben y utilizan el P para crecer, iii) el tamaño de las raíces en relación a la planta entera, y iv) la tasa de crecimiento que las plantas pueden alcanzar cuando el P no es limitante.

El propio Barber (1980) mencionó que solo pequeñas cantidades de P serían concentradas inicialmente en el suelo cerca de la superficie radicular. Luego que son consumidas, el P es repuesto a dicha zona por los mecanismos de flujo masal y difusión.

La importancia de cada mecanismo en el suministro de P está en función del tamaño del sistema radicular, de las características de absorción de P por las raíces, de la absorción de agua, y de los niveles de P absorbido y en la solución del suelo.

El mismo autor mencionó que Barber et al. (1963) reportó que el volumen del sistema radicular de cultivos anuales es menor al 1 % del volumen del suelo. Por tanto las raíces entran en contacto con menos del 1 % del P disponible en el suelo y esta cantidad es usualmente un pequeño porcentaje de los requerimientos de las plantas.

Cuando las raíces de las plantas absorben agua se produce un flujo convectivo de agua (solución del suelo) hacia las raíces. Este flujo masal transporta P hacia las cercanías de las mismas.

Considerando patrones de transpiración de los cultivos los autores determinaron que el flujo masal está en condiciones de suministrar solamente el 1 % de los requerimientos de las plantas. Por tanto es el mecanismo de difusión el responsable de proveer a las plantas entre el 90 y 98 % del P total absorbido por las raíces.

Rabuffetti et al. (1990) también mencionaron que ni el transporte por el agua ni la interceptación radicular pueden suministrar a las plantas sus requerimientos de P, por lo que este debe alcanzar la superficie radicular mediante difusión. Cuando las raíces absorben P desde la solución del suelo que está en contacto con ellas, ocurre una disminución en la concentración de la misma. Esto crea un gradiente de concentración de P dispuesto en forma perpendicular a las ramificaciones radiculares, difundiendo el P hacia la raíz a lo largo de este gradiente.

Dada la importancia de la difusión en el suministro de P al sistema radicular de las plantas, todo factor que la afecte tendrá influencia sobre aquel y por tanto sobre la absorción de dicho nutriente. También características propias de las plantas, del suelo y de la aplicación del fertilizante fosfatado hacen sentir sus efectos sobre el proceso de absorción.

Los efectos de la forma de aplicación del fertilizante fosfatado sobre la absorción de P por parte de las plantas han sido estudiados por varios autores.

Welch et al. (1966) mencionaron que Nelson et al. (1949) reportaron una menor absorción de P por plantas de maíz bajo un sistema de laboreo convencional para el caso de aplicación al voleo del fertilizante en comparación a aplicación con la semilla o mezclado en la hilera.

Los mismos autores expresaron que la aplicación del fertilizante en banda ubica a este en un pequeño volumen de suelo con respecto a la aplicación al voleo, considerando la misma dosis para ambos métodos. En consecuencia las raíces en contacto con el fertilizante en banda estarán en una zona de mayor concentración del nutriente, pero la aplicación al voleo puede resultar en más zonas de contacto fertilizante-raíz.

A un resultado similar arribó Barber (1980). El mencionó como ventaja adicional de la ubicación del fertilizante fosfatado en bandas el hecho que esta localización del P conduce a una menor fijación del mismo por parte del suelo.

La mayor absorción de P desde aplicaciones localizadas en banda del mismo, Anghinoni y Barber (1980b) la explicaron por un doble efecto de la localización del fertilizante. El primero es el mayor crecimiento radicular en el volumen de suelo fertilizado. El segundo es la mayor capacidad de suministro de P por parte del suelo a las raíces. La tasa de suministro de P a las raíces aumentó para este método de aplicación en forma más que proporcional a la reducción del suelo tratado, debido a la menor fijación de P por parte del suelo.

Trabajando con tres sistemas de aplicación de P bajo laboreo convencional, Garg y Welch (1967) concluyeron que el P ubicado en contacto con la semilla está más disponible para la absorción por parte de las plantas que el aplicado en bandas a 7.5 cm de la semilla y al voleo mezclado con el suelo.

Durante los estadios tempranos de crecimiento, las plantas absorben P desde un pequeño volumen de suelo. Esto es debido al limitado volumen de suelo que exploran las raíces en esta etapa. Sin embargo cuando las plantas crecen, el área de contacto suelo-raíz aumenta, desapareciendo de esta manera los síntomas de deficiencia de P cuando la temporada de crecimiento avanza.

Como conclusión, los autores mencionaron que en los estadios iniciales de crecimiento las plantas de maíz requieren una alta concentración de P al menos en un volumen limitado de suelo. En estadios más avanzados es suficiente con una menor concentración de P en gran parte del volumen de suelo.

La mayor absorción de P cuando el fertilizante fosfatado fue ubicado con la semilla a bajas dosis, con respecto a aplicaciones en banda y al voleo del mismo fue también reportada por Miller et al. (1971) trabajando con laboreo convencional. Cuando el fertilizante es ubicado con la semilla, el mismo es contactado por la radícula y las raíces seminales cuando emergen.

Sin embargo esta mayor absorción perduró sólo hasta los 50 días de edad del cultivo. Posteriormente se detectó una mayor absorción de P para el tratamiento localizado en bandas.

En un ensayo similar Chaudhary y Prihar (1974) encontraron que la aplicación localizada de P en bandas incrementó la absorción del mismo en un 64 % sobre la aplicación al voleo. También fue detectado un efecto de la compactación entre hileras sobre la absorción del P. La disminución en el P tomado debido a la compactación fue menor en el caso de la aplicación en banda sobre la que fue al voleo, siendo los

porcentajes de reducción de 21 % y 40 % respectivamente.

La localización del fertilizante fosfatado en bandas ubicadas a diferentes distancias entre sí tiene repercusiones en el contacto suelo-fertilizante, en la probabilidad de contacto raíz-fertilizante y en la distribución del fertilizante en la banda. Así lo mencionaron Eghball y Sander (1989) quienes trabajaron con maíz bajo laboreo convencional. Según ellos, distancias mayores entre bandas localizadas reducen la fijación de P por parte del suelo, pero esto reduce la probabilidad de contacto fertilizante-raíz y la disponibilidad del fertilizante para las plantas.

Considerando sistemas sin laboreo con aplicación en superficie del fertilizante fosfatado y sistemas convencionales con incorporación del mismo, Ketcheson (1980) halló que la absorción de P fue igual o mayor para la aplicación en superficie en relación a la aplicación incorporada.

Resultados similares al anterior, en cuanto a cantidades de P absorbidas desde aplicaciones superficiales del mismo fueron reportados por Belcher y Ragland (1972). Los mismos determinaron que plantas de maíz creciendo en sistemas sin laboreo pueden absorber cantidades importantes de P cuando el fertilizante es aplicado en forma superficial, lográndose altas producciones de grano. En este trabajo no hubieron diferencias entre lo absorbido desde la aplicación del P en superficie y la aplicación de parte del fertilizante en banda más el resto al voleo.

Singh et al. (1966) luego de obtener resultados similares a los anteriores, indicaron que la aplicación superficial de P es tan conveniente como la incorporada para el suministro de P a plantas de maíz. Por lo tanto consideraron que este debería ser un método práctico de aplicación de P en sistemas de producción sin laboreo.

Sin embargo Mackay et al. (1987) trabajando con maíz bajo cero laboreo y laboreo convencional arribaron a resultados diferentes a los anteriores. Ellos detectaron una menor absorción de P bajo cero laboreo cuando se comparó con laboreo convencional hasta los 30 días luego de la emergencia del cultivo, mientras que entre dicho momento y los 77 días post-emergencia los resultados fueron en igual sentido pero las diferencias no fueron significativas.

Los autores detectaron una importante concentración del P del suelo en los primeros 7.5 cm del mismo. Esta estratificación junto a la ocurrencia de un déficit hídrico en parte del periodo vegetativo del cultivo fueron las causantes de la menor absorción de P bajo cero laboreo. Al ser el estrato superficial del suelo el primero en secarse se vio afectada la absorción del importante número de raíces concentradas en dicha zona del suelo.

Como se vio esta dependencia a nutrientes concentrados en la capa superficial del suelo es problemática en situaciones de déficits importantes de agua en el suelo, dado

que es este estrato el primero en secarse. Sin embargo en años con una buena distribución lluvias, los suelos bajo no laboreo pueden tener un mayor contenido de agua cerca de la superficie que los bajo laboreo convencional, haciendo un uso más eficiente de los mayores niveles de P concentrados en superficie.

El efecto del método de aplicación del P sobre la absorción del mismo está en función del momento en la secuencia del cultivo. Así lo confirmaron los hallazgos de Post et al. (1979), quienes reportaron que para el primer cultivo de maíz la mayor absorción de P se dio desde aplicaciones superficiales al voleo. Sin embargo, en cultivos posteriores la mayor absorción se dio desde aplicaciones localizadas. Por otra parte los efectos residuales de fertilizaciones fosfatadas pueden llegar a ser más importantes cuando el P fue aplicado en forma localizada que cuando se mezcla con buena parte del suelo.

Jungk y Barber (1974) trabajando en cámaras de crecimiento y con soluciones nutritivas, estudiaron el efecto del suministro localizado de P a las raíces en la tasa de absorción de P por parte de plantas jóvenes de maíz. Cuando usaron soluciones nutritivas con una alta concentración de P, no hubieron diferencias significativas en la tasa de absorción de dicho nutriente al variar la proporción del sistema radicular expuesto a la solución. Sin embargo cuando la concentración de P en esta fue baja, la tasa de absorción del mismo aumentó en forma importante al restringirse la proporción de raíces expuestas a la solución alimenticia.

Barber (1980) mencionó que Gile y Carrero (1917) investigaron el P absorbido por plantas de arroz desde soluciones nutritivas. Los mismos encontraron que cuando el 50 % de las raíces fueron expuestas a una solución con P, la absorción por gramo de raíz expuesta aumentó en un 28 %, pero el P absorbido por planta fue 76 % que cuando el total del sistema radicular fue expuesto a la solución nutritiva.

Independientemente del sistema de laboreo usado se ha comprobado que la temperatura tiene un importante efecto en la absorción de P.

Mackay y Barber (1984) expresaron que el principal factor determinando la disminución en la absorción de P con las bajas temperaturas es el menor crecimiento radicular existente, en parte explicado por una menor translocación de carbohidratos a las raíces. Ellos mencionaron que Ching y Barber (1979) y Schaff y Skogley (1982) afirmaron que la tasa de difusión de nutrientes en el suelo es afectada por las bajas temperaturas.

A su vez, los mismos autores mencionaron que este efecto adverso de las bajas temperaturas del suelo sobre la absorción de P puede ser corregido parcialmente por un incremento en la dosis de P suministrada a los cultivos. Considerando la importancia de la difusión en el suministro de P a las raíces (Barber, 1963), los efectos adversos de las

Las temperaturas sobre la difusión pueden llegar a ser muy importantes.

Una disminución del 22 % en la tasa de difusión al disminuir la temperatura de 25° a 15° C fue reportada por Barber (1980).

Kamprath y Watson (1980) también mencionaron que el enlentecimiento en la tasa de difusión del P en el suelo es el responsable del desfase entre la misma y la tasa de absorción por parte de las raíces, limitando dicho desfase la correcta nutrición realizada de las plantas.

Cambios en la tasa de difusión no serían los únicos efectos de las bajas temperaturas. Barber (1980) expresó que variaciones en la temperatura son responsables de cambios en la cantidad de P en solución así como en la cantidad de P en la fase sólida que está en equilibrio con el P en solución.

El propio Barber (1980) mencionó que Sutton (1969) reportó un efecto de la temperatura en la cantidad de P inorgánico ingresando a la solución del suelo, debido a que el P lábil fue incrementado al aumentar la temperatura. La concentración de P en la solución aumentó entre 1 y 2 % por cada grado de incremento de temperatura, por lo que la tasa de difusión de P a la raíz se vería favorecida con temperaturas mayores. Cuando estudió el efecto de la temperatura del suelo en la proporción de P derivado desde el fertilizante un alto porcentaje del mismo en condiciones de bajas temperaturas provino del fertilizante, indicando que el P del suelo estuvo menos disponible para las plantas en relación al del fertilizante.

También Eid et al. (1951) (mencionados por Power et al., 1964) expresaron que un aumento en la temperatura del suelo puede elevar la concentración de P soluble en el suelo por un aumento en la tasa de mineralización de P orgánico así como por una descomposición de formas de P insoluble, lo que favorece la absorción de dicho elemento por parte de los cultivos.

Resultados adversos de las bajas temperaturas en la absorción de P por las plantas también fueron reportados por Knoll et al. (1963), los cuales a su vez mencionaron la conveniencia de la ubicación localizada del fertilizante fosfatado en situaciones de suelos con bajas temperaturas. Es bajo estas circunstancias que la eficiencia de las aplicaciones localizadas del fertilizante es mayor a la de aplicaciones al voleo.

El agua juega un rol muy importante en la absorción de P. Hanway y Olson (1980) mencionaron que Watanabe et al. (1960) reportaron que la máxima disponibilidad de este elemento estuvo asociada con una tensión de humedad de alrededor -0.33 bar. En muchos suelos la disponibilidad de P es mayor en la capa superficial de los mismos. Si en periodos de escasez de agua dicho estrato permanece seco, las plantas sufren deficiencias de P aun cuando halla disponibilidad de agua en el subsuelo.

Olsen et al. (1961) encontraron que la absorción relativa de P fue 100, 94, 80, 50 y 25 % para tensiones de humedad en el suelo de 1/3, 1/2, 1, 3 y 9 bars respectivamente. Esta disminución en la absorción de P con el incremento en la tensión de humedad del suelo puede jugar un importante rol cuando se comparan aplicaciones localizadas con aplicaciones distribuidas uniformemente e incorporadas. En condiciones de aplicación en bandas, la humedad en las cercanías de las raíces desarrolla una alta tensión debido a la absorción de agua por el sistema radicular. Esto disminuiría la disponibilidad del P para las plantas. Por lo tanto durante periodos de sequía, el fósforo distribuido uniformemente e incorporado estaría más rápidamente disponible para ser absorbido.

Los resultados obtenidos en producción de grano de maíz por Torres (1996) para aplicaciones del fertilizante fosfatado al voleo con incorporación, y localizado a la sombra concuerdan con lo expresado por Olsen et al. (1961) respecto a la interacción negativa entre localización del P y eficiencia de uso del agua ubicada en estratos sombreados (la cual cobra importancia en años con precipitaciones escasas).

La compactación del suelo es una variable que tiene efectos directos adversos sobre la absorción de P debido a que está relacionada negativamente con el crecimiento radicular, a pesar de la mayor eficiencia de absorción por unidad de longitud radicular que presentan las parcelas bajo cero laboreo (Ellis et al., 1977, mencionados por Olarán y Peñeyría, 1996).

3.3.6. Concentración de P en tejidos.

La capacidad diferencial de las plantas de tomar y utilizar los nutrientes del suelo, se refleja en la concentración de los nutrientes en sus tejidos. El análisis químico de tejidos preseleccionados suministra información del estado nutricional de las plantas y es otro parámetro fisiológico factible de cuantificar (Goñi, 1996).

Al momento de realizar el muestreo se puede optar por diferentes partes de una planta (planta entera, tallo, hojas de determinada posición, etc.) y por diferentes estados de desarrollo de las mismas (en estadios iniciales de crecimiento, floración, etc).

Algunas ventajas del análisis foliar fueron enumeradas por Mallarino (1996). Según dicho autor el análisis de hojas permite una fácil recolección de las muestras, el estado de crecimiento puede ser fácilmente identificado, y la concentración de P en hojas usualmente refleja las deficiencias de P.

El mismo autor mencionó que la concentración de P en hoja en floración aumentó con el nivel de P del suelo hasta lograr un máximo, siendo este límite algo más alto que para lograr la máxima producción económica. 0.24 % sería una concentración crítica asociada de P en hoja en dicho momento.

Lutz y Lillard (1973) trabajando con 3 niveles de fertilizante fosfatado determinaron que el contenido porcentual de P en hoja en floración pasó de 0.2 a 0.26 y 0.35 para dosis de 0, 25 y 100 kg P/há, siendo las diferencias significativas.

El propio Mallarino (1996) mencionó que Peck et al. (1969), Voss et al. (1970) y Kamprath (1987) expresaron que algunas variables aparte de la disponibilidad de P en suelo pueden influenciar la concentración de P en hojas de maíz. Contenido de P en el suelo, contenido de P en el subsuelo, y lluvias durante mayo (noviembre para el hemisferio sur) fueron las variables que afectaron la concentración de P en hojas.

Eckert y Johnson (1985) estudiaron el efecto de tres dosis de P (0, 14.5 y 29 kg/há) y dos métodos de aplicación del fertilizante fosfatado (voleo y bandas incorporadas) sobre el contenido de P en hojas de maíz en floración, bajo un sistema de cero laboreo. En dos de las tres situaciones analizadas el contenido de P en hoja aumentó al aumentar el nivel de P aplicado. En cuanto al método de aplicación de P, el contenido de P fue mayor para el tratamiento en bandas incorporadas solamente para la dosis mayor usada (0.3 vs. 0.28 %), solamente para la situación de menor contenido inicial de P en el suelo.

Ketcheson (1980) detectó un aumento en la concentración de P en hojas de maíz en floración de 0.39 a 0.47 % al pasar de aplicaciones de 95 a 1260 kg P/há, pero sin embargo esto no se tradujo en incremento del rendimiento.

Trabajando con maíz en laboreo convencional Yost et al. (1979) determinaron que para el primer cultivo las mayores concentraciones de P en hoja (a floración) se lograron con aplicaciones superficiales sin incorporar. Para el segundo cultivo y posteriores las mayores concentraciones se lograron con aplicaciones localizadas en bandas.

Sin embargo Eghball y Sander (1989) trabajando con tres dosis de P (0, 15 y 30 kg/há) aplicadas a maíz en laboreo convencional, no encontraron respuesta en % de P en hoja en floración estando dicho porcentaje en el orden de 0.28 %.

Algunos autores relacionan el contenido de P en hoja con determinados niveles de rendimiento, estando esta relación en función de determinados factores.

Voss et al. (1970) afirmaron que la concentración de nutrientes en hoja en floración para producir la máxima y el 95 % de la producción varió con el cultivo anterior, la población de plantas, el potencial de producción y la humedad del suelo. Ellos expresaron que un % de P en hoja en floración de 0.28 se corresponde con un 95 % de la máxima producción potencial.

Si bien Dumenil (1961) determinó que para lograr el 95 % de la producción máxima la concentración crítica de P en hoja en floración fue de 0.28 a 0.32 %, él

mismo mencionó que no es posible hablar de un punto crítico o un valor crítico para la concentración de P en hoja debiéndose considerarlo como un rango de valores, el cual depende de la concentración de otros nutrientes.

El uso de plantas jóvenes para evaluar el estado nutritivo de un cultivo respecto a P muestra de las posibilidades a manejar.

Mallarino (1996) mencionó que algunas de las variables influyendo la concentración de P en plantas jóvenes (V_5 - V_6) fueron el contenido de P en la superficie del suelo, P en el subsuelo, lluvias durante abril (octubre para el hemisferio sur), y contenido de C orgánico del suelo.

Al igual que lo determinado con hojas, él encontró que la concentración de P en plantas en estadios V_5 - V_6 aumentó al incrementarse el contenido de P del suelo, manejándose una concentración crítica aproximada de 0.34 %. Este aumento en la concentración de P ocurrió hasta niveles de P en suelo ligeramente superiores a los necesarios para obtener la máxima producción de grano, poniendo en evidencia la capacidad de consumo de lujo de estos tejidos.

El mismo autor mencionó que Terman et al. (1972) y Walker et al. (1972,1974) mostraron que las concentraciones en plantas jóvenes tuvieron potencial para detectar deficiencias de P y que tests en plantas jóvenes podrían ser usados como herramienta para evaluar la disponibilidad durante períodos de crecimiento temprano, un período que es especialmente crítico en la nutrición P.

Eghball y Sander (1989) detectaron en algunas situaciones aumento en la concentración de P en plantas en el estadio V_7 al aumentar el nivel de P usado, pero en otras no hubo efecto de las dosis de P sobre dicha variable. Esta adoptó valores entre 0.3 y 0.5 % según la dosis de P y el tipo de suelo usado.

Garg y Welch (1967) estudiaron los efectos de dos niveles y tres métodos de aplicación de P sobre el contenido del mismo en plantas. Ellos determinaron que independientemente de la dosis de P usada, el mayor % de P en planta se obtuvo cuando el fertilizante fue aplicado con la semilla, siguiéndole la aplicación al voleo mezclada con el suelo y por último la localización en bandas separadas de la semilla.

Considerando el promedio de dosis de P usadas en maíz bajo cero laboreo Belcher y England (1972) no encontraron diferencias en contenido de P en planta entre métodos de aplicación del fertilizante al voleo y en banda + voleo. Las plantas tenían entre 29 y 56 días de edad.

Kamprath y Watson (1980) mencionaron que Terman et al. (1972b) reportaron que cuando se produce un aumento importante en el crecimiento de plantas ocurre una

disminución en la concentración de P en las mismas. Esto es debido a la dilución del P en los tejidos, como respuesta a altos niveles de algún nutriente u otro factor de desarrollo.

Otra de las causas que explicaría este fenómeno para ambos autores sería la disminución en la concentración de P en la solución del suelo cercana a la raíz, debido a la absorción del nutriente por parte de la planta y a la falta de reposición desde la fracción lábil.

Aunque menos frecuentemente, la concentración de P en tallo es otra de las herramientas posibles a usar para determinar el nivel de suministro de P a plantas de maíz.

La concentración de P en tallo en el estadio V₆ fue aumentada por la mayor fertilización P según ensayos realizados por Barry y Miller (1989). Esta mejora en la nutrición de las plantas pareció conducir a una respuesta en rendimiento al P. Ellos mencionaron que para obtener la máxima producción de grano se requiere una concentración mínima de P en tallo en V₆ de 5 g/kg.

Stryker et al. (1974) concluyeron que cuando el suministro total de P en la zona radicular aumentó, la concentración de P en tallo también se incrementó. El contenido de P en tallo fue dependiente de la cantidad de raíces absorbiendo P así como de la concentración de P a la cual fueron expuestas las raíces.

Knoll et al. (1963) detectaron un efecto positivo del aumento de la temperatura sobre el contenido de P en tallos de plantas con 5 semanas de edad. También encontraron que a bajas temperaturas existió un pequeño aumento en el contenido de P con el uso de las mayores dosis de fertilizante.

Según Mallarino (1996) ninguno de los análisis de los diferentes tejidos considerados, deberían ser un diagnóstico seguro para evaluar el suministro de P a maíz en términos de disponibilidad en el óptimo o cercano a él.

LA INTERACCIÓN FÓSFORO x NITRÓGENO.

Al aumentar la dosis de N agregada a un suelo con alto contenido de P, resultó en un incremento del peso seco de planta, del % de N y P en hojas y de la absorción de P. Esto se debería a que los requerimientos de P aumentan al aumentar el suministro de N siendo lo inverso también válido (Bennet et al., 1961).

Los mismos autores mencionaron que otras posibles explicaciones de este fenómeno son: a) incremento en la solubilidad del P debido al efecto de los ácidos que

componen los fertilizantes nitrogenados, b) incremento en la ramificación del sistema radicular debido al N aplicado, y c) estimulación fisiológica de la planta por el N aplicado.

A resultados similares a los anteriores arribaron Terman et al., (1977).

Egbball y Sander (1989) determinaron también que el N es un importante factor influenciando la utilización del P por parte de las plantas, debido a que la absorción de P es favorecida por un incremento en la dosis de fertilizante nitrogenado usado.

También Miller y Ohlrogge (1957) observaron un efecto positivo del uso simultáneo de N y P (mezclados o individualmente) sobre el crecimiento de plantas, absorción de P y % de P en tejidos cuando se comparó a la aplicación de P sólo.

Un resultado similar al anterior fue obtenido por Duncan y Ohlrogge (1958).

3. MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1. UBICACIÓN DE LOS EXPERIMENTOS.

Los experimentos se llevaron a cabo en el campo experimental de la Estación Experimental "Dr. Mario A. Cassinoni", 7 km al sur de la ciudad de Paysandú, en la zona agrícola del verano 1996-1997.

3.2. TIPO DE SUELO.

El suelo sobre el cual se instalaron los experimentos es un Brunosol éutrico típico de la unidad "San Manuel" según Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay escala 1:1.000.000 (MGAP, 1976).

En el cuadro 1 se presentan los datos de análisis de suelo y de densidad aparente al momento de instalarse los experimentos, para cada uno de ellos.

Cuadro 1. Contenido de P (ppm P Bray 1), de N (ppm N-NO₃) y densidad aparente en los suelos sobre los que se instalaron los experimentos.

	Experimento 1	Experimento 2	Experimento 3
	ppm P (Bray 1)		
0 - 10 cm	17.6	13.9	8.3
10 - 20 cm	13.4	6.5	4.9
Promedio	15.5	10.2	6.6
	ppm N-NO₃		
0 - 10 cm	8.8	26.5	12.1
10 - 20 cm	8.5	19.9	8.6
Promedio	8.7	23.2	10.3
	Densidad aparente (g/cm³)		
0 - 10 cm	1.13	1.03	1.1
10 - 20 cm	1.11	0.94	1.1
Promedio	1.12	0.99	1.1

3.3. EXPERIMENTOS.

Las diferentes combinaciones de los factores de producción evaluados (fertilización N-P₂O₅) se realizaron sobre suelos con diferente manejo anterior del laboreo luego de una pradera engramillada, para el o los cultivos anteriores al usado (cuadro 2).

Cuadro 2. Manejo anterior del laboreo en los experimentos 1, 2 y 3.

Experimento 1	avena en laboreo convencional (LC)
Experimento 2	cebada en laboreo convencional-barbecho-avena en siembra directa (LC-SD)
Experimento 3	cebada en siembra directa-barbecho-avena en siembra directa (SD-SD)

3.4. TRATAMIENTOS.

3.4.1. Fertilización Fosfatada.

Consistió en la aplicación al momento de la siembra de tres niveles de P_2O_5 . Los mismos fueron 0, 40 y 80 unidades/há. Los tres tratamientos fueron acompañados de una dosis base de 30 unidades de N. El aporte de N en el tratamiento sin agregado de P_2O_5 se realizó con 65 kg de urea/há. Las 40 unidades de P_2O_5 acompañadas por 30 unidades de N se lograron con 120 kg/há de fertilizante binario 25-33-33-0, y las 80 unidades de P_2O_5 acompañadas de 30 unidades de N se lograron con 170 kg/há de fosfato diamónico (18-46-46-0).

3.4.2. Refertilización Nitrogenada.

La misma consistió en la aplicación de 30 unidades de N/há al estadio V_6 , más un testigo sin refertilizar. En la refertilización se usaron dos fuentes de N, las cuales fueron urea y nitrato de amonio. A su vez para la fuente urea se utilizaron dos métodos de aplicación, al voleo e incorporada. El nitrato de amonio se aplicó al voleo.

Para lograr las 30 unidades de N/há se usaron 65 y 90 kg/há de urea y nitrato de amonio respectivamente.

La urea incorporada se aplicó el día 5/11 usando la máquina de siembra directa usada para sembrar los experimentos. La urea y el nitrato de amonio al voleo se aplicaron el 6/11 en forma manual.

Los niveles probados de los factores de producción evaluados se presentan esquemáticamente en el cuadro 3.

Cuadro 3. Combinaciones de los factores de producción evaluados en los experimentos 1, 2 y 3.

Experimentos 1 y 2				
Unidades de N a la siembra	Unidades de P_2O_5 a la siembra	Unidades de N al estadio V_6	Fuente y método de aplicación de N en V_6	Tratamientos
30	0	0	----	1
30	0	30	Urea incorporada	2
30	40	0	----	3
30	40	30	Urea incorporada	4
30	40	30	Urea al voleo	5
30	40	30	Nitrato de amonio al voleo	6
30	80	0	----	7
30	80	30	Urea incorporada	8
30	80	30	Urea al voleo	9
30	80	30	Nitrato de amonio al voleo	10
Experimento 3				
Unidades de N a la siembra	Unidades de P_2O_5 a la siembra	Unidades de N al estadio V_6	Fuente y método de aplicación de N en V_6	Tratamientos
30	0	0	----	1
30	0	30	Urea incorporada	2
30	0	30	Urea al voleo	3
30	0	30	Nitrato de amonio al voleo	4
30	40	0	----	5
30	40	30	Urea incorporada	6
30	40	30	Urea al voleo	7
30	40	30	Nitrato de amonio al voleo	8
30	80	0	----	9
30	80	30	Urea incorporada	10
30	80	30	Urea al voleo	11
30	80	30	Nitrato de amonio al voleo	12

3.5. DISEÑO EXPERIMENTAL.

En los tres experimentos el diseño experimental fue de parcelas al azar con tres repeticiones. El tamaño de las parcelas fue de 6 m de largo por 2 m de ancho.

2.6. MANEJO DEL CULTIVO.

La siembra de los experimentos se realizó mediante el sistema de siembra directa, utilizando una sembradora de verano de siembra directa doble disco desfasado con plato horizontal.

Un mes antes de la siembra se aplicó herbicida glifosato a razón de 3 litros/há sobre el cultivo antecesor que en los tres experimentos fue avena (sin pastoreo y sembrada en mayo)

El híbrido utilizado fue Pioneer 3478, un híbrido triple, semidentado, colorado de ciclo medio. Se usó semilla curada con curasemillas Force CS, a una dosis equivalente a 100 cm^3 cada 100 kg de semilla.

La operación de siembra se realizó el 08/10/96 en forma mecánica a razón de 4.5 semillas por metro lineal y con una separación entre hileras de 0.5 metros buscándose una población final de 80.000 plantas/há. Luego de la implantación se detectó que las poblaciones obtenidas fueron superiores a las deseadas, debido a una falla en los platos clasificadores de granos del sistema de siembra. Por tanto se realizó un raleo manual en los tres surcos centrales de cada parcela, obteniéndose así la población objetivo.

El día 10/10/96 se aplicó una mezcla de herbicidas que consistió en 1,5 lts./há de glifosato + 3.5 lts./há de atrazina.

La implantación de los ensayos en el experimento 1 ocurrió el día 17/10/96, mientras que en los experimentos 2 y 3 ocurrió el día 15/10/96.

El día 13/11/96 se aplicó herbicida atrazina a razón de 5 lts./há.

La cosecha y el desgrane de las mazorcas se realizó en forma manual entre el 01/02/97 y el 07/02/97. Se cosecharon las 3 hileras centrales de cada parcela (área de cosecha fue 9 m^2).

2.7. DETERMINACIONES REALIZADAS.

2.7.1. Determinaciones en suelo.

2.7.1.1. Rastrojo en superficie.

El día 05/09/96 se tomaron 8 muestras al azar de residuos en superficie para cada

Para esto se utilizó un rectángulo de alambre de 25 cm de largo por 20 cm de ancho.

Las muestras se secaron en estufa a una temperatura de 40° C. Luego se pesaron individualmente y se determinó su equivalente en kg/há para los experimentos 1, 2 y 3; siendo el nivel de los mismos 6900, 5950 y 6500 kg/há respectivamente.

2.2.2. Densidad aparente.

Para su determinación se realizó un muestreo de suelos el día 07/10/96 usando un cilindro de 0.05 m de diámetro y 0.07 m de altura. Se extrajeron 3 tomas de suelo no perturbado por parcela para dos profundidades: de 0 a 10 cm y 10 a 20 cm. Las muestras fueron secadas en estufa a una temperatura de 60° C por un periodo de 48 horas y posteriormente se pesaron. En función del peso y el volumen de las muestras se determinó la densidad aparente por parcela para ambas profundidades de muestreo.

2.2.3. ppm N-NO₃ y P en suelo.

Se realizaron 3 muestreos de suelos por parcela para analizar nitratos y fósforo. Cada muestra estuvo compuesta de 3 tomas por parcela.

El primer muestreo se llevó a cabo previo a la siembra, el día 08/10/96. La profundidad de muestreo fue: 0-10 cm y 10-20 cm.

El segundo y tercer muestreo se realizaron los días 5/11/96 y 14/12/96 respectivamente. En estos casos se extrajeron dos tomas de la entrefila y una de la fila. La profundidad de muestreo fue 0-20 cm.

Las muestras se secaron en estufa a una temperatura controlada de 60° C durante un periodo de 48 horas. Posteriormente fueron molidas y tamizadas. La determinación del nitrato de N-NO₃ en ppm se realizó por la técnica de electrodo de nitrato con un equipo Orion, modelo 93-07, con sulfato de cobre como floculante. La determinación de fósforo de P en suelo se realizó por el método de Bray 1.

2.2.4. Contenido de humedad del suelo.

El contenido de agua en el perfil del suelo se determinó mediante el *Time Domain Reflectometry (TDR)* (la lectura se expresa como % de agua en volumen). Se realizaron muestreos en 4 fechas diferentes a una profundidad de 20 cm, con 3 determinaciones por parcela para cada fecha.

Las fechas de medición de humedad fueron: 16/10/96, 31/10/96, 05/11/96 y 18/11/96.

2.7.2. Determinaciones en el cultivo.

2.7.2.1. Población a la emergencia.

Se determinó el número de plantas al momento de la emergencia en las dos hileras centrales de cada parcela a los 0, 3, 5 y 7 días post-emergencia en los experimentos 2 y 3 (15-18-20-22/10/96); y en el experimento 1 dicha determinación se realizó 1 y 3 días post-emergencia (18-20/10/96).

2.7.2.2. Área foliar por planta, índice de área foliar e índice de atenuación foliar.

Se realizó una medición del área foliar el día 07/11/96, a partir de la cual se calculó el índice de área foliar. Se realizaron dos mediciones del índice de atenuación foliar, los días 23/12/96 y 27/01/97.

La determinación del área foliar se llevó a cabo multiplicando largo (desde el ápice hasta la base) * ancho * 0,75 de todas las hojas de 10 plantas tomadas al azar de las dos hileras centrales de cada parcela. Luego se promedió por el número de plantas. Relacionando el área foliar planta con el espacio de terreno ocupado se obtuvo el valor del IAF en dicho momento.

Las mediciones del índice de atenuación foliar se realizaron utilizando el equipo LAE 2500. La determinación se realizó al azar en 10 plantas de las dos hileras centrales de cada parcela, a la altura de la espiga.

2.7.2.3. Desarrollo fenológico.

El mismo se determinó usando la escala Haun. La misma se mide sobre la última espiga desarrollada totalmente (momento de aparición de la ligula). Ambas mediciones se realizaron los días 23/10/96 y 08/11/96.

2.7.2.4. Peso seco de plantas.

Se cortaron 4 plantas al azar por parcela al ras del suelo. Esta operación se llevó a cabo el día 23/11/96. Las plantas colocadas en bolsas de papel, fueron secadas en estufa

temperatura controlada de 60° C durante un periodo de 48 horas. Posteriormente se secaron las muestras compuestas por 4 plantas.

2.2.5. % de Nitrógeno y Fósforo en planta.

Esta medición se realizó sobre las mismas plantas a las que se les determinó peso seco. Una vez secadas las muestras se molieron y tamizaron.

A su vez de cada muestra se extrajo una submuestra representativa, a la cual se le aplicó el método de KJELDAHL para determinar su % de N y P.

2.2.6. % de Nitrógeno y Fósforo foliar en floración.

Se tomaron muestras foliares en plena floración de 4 plantas por parcela. Se extrajo de cada planta la hoja opuesta inferior a la mazorca. Esta operación se realizó el día de la floración.

Las muestras, colocadas en bolsas de papel, se secaron en estufa a una temperatura controlada de 60° C durante un periodo de 48 horas.

Una vez secadas las muestras se molieron y tamizaron. De cada muestra se extrajo una submuestra representativa a la cual se aplicó el método de KJELDAHL para determinar su % de N y P.

2.2.7. Población a cosecha.

Se contaron en el campo todas las plantas correspondientes al área de cosecha, a partir de las cuales se obtuvo la población en plantas/há.

2.2.8. Mazorcas a cosecha.

Se contaron luego de la cosecha las mazorcas correspondientes a cada parcela, determinándose la conversión a mazorcas/há.

2.2.9. Rendimiento en grano.

Luego de desgranadas las mazorcas correspondientes a cada parcela se procedió al pesaje de los granos y se determinó el contenido de humedad de los mismos a través de

un medidor de humedad.

Se corrigió el peso fresco de los granos para un contenido de humedad de 14 %, y considerando el área de cada parcela se calculó el rendimiento de grano en kg/há.

3.2.10. Peso de 100 granos.

De los granos correspondientes a cada parcela se extrajo una muestra representativa de 100 granos a la cual se pesó. Considerando el contenido de humedad de los granos correspondientes a cada parcela se corrigió su peso para un contenido de humedad de 14 %.

3.2.11. Fertilidad.

Relacionando las mazorcas cosechadas y la población a cosecha se obtuvo la fertilidad del cultivo.

3.2.12. Granos por mazorca.

A partir del rendimiento en grano, las mazorcas cosechadas y el peso de 100 granos se obtuvo el número de granos por mazorca.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

En los experimentos 1 y 2 la respuesta a P y N se analizó mediante análisis de varianza y separación de medias al 10 % de probabilidad de error, considerando solo dos niveles de N en V_0 (testigo y 30 unidades de N como urea incorporada) (factorial 3 x 2) utilizando el modelo $y_{ijk} = u + N_i + P_j + (P*N)_{ij} + E_{ijk}$.

Donde:

- u = media general
- N_i = efecto N
- P_j = efecto P
- E_{ijk} = error experimental

La respuesta a la forma de aplicación del N (voleo o incorporado) y a las fuentes de N (urea o nitrato de amonio) se analizó por contraste contra la mejor alternativa para la urea (incorporada) considerando solo dos niveles de P_2O_5 a la siembra (40 y 80 unidades). Se utilizó el modelo $y_{ij} = u + T_i + E_{ij}$.

Donde:

- u = media general
- T_i = efecto del tratamiento
- E_{ij} = error experimental

El experimento 3 se analizó como factorial completo al azar, mediante análisis de varianza y separación de medias al 10 % de probabilidad de error.

El paquete estadístico utilizado fue el S.A.S. 6.02 (1992).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS.

La zafra agrícola del verano 96-97 se caracterizó por un régimen de precipitaciones, que en el periodo en el cual se desarrollaron los experimentos (octubre de 1996 a febrero de 1997), superó en 30 mm a la media de los últimos 61 años (464 vs. 434 mm) (figura 1).

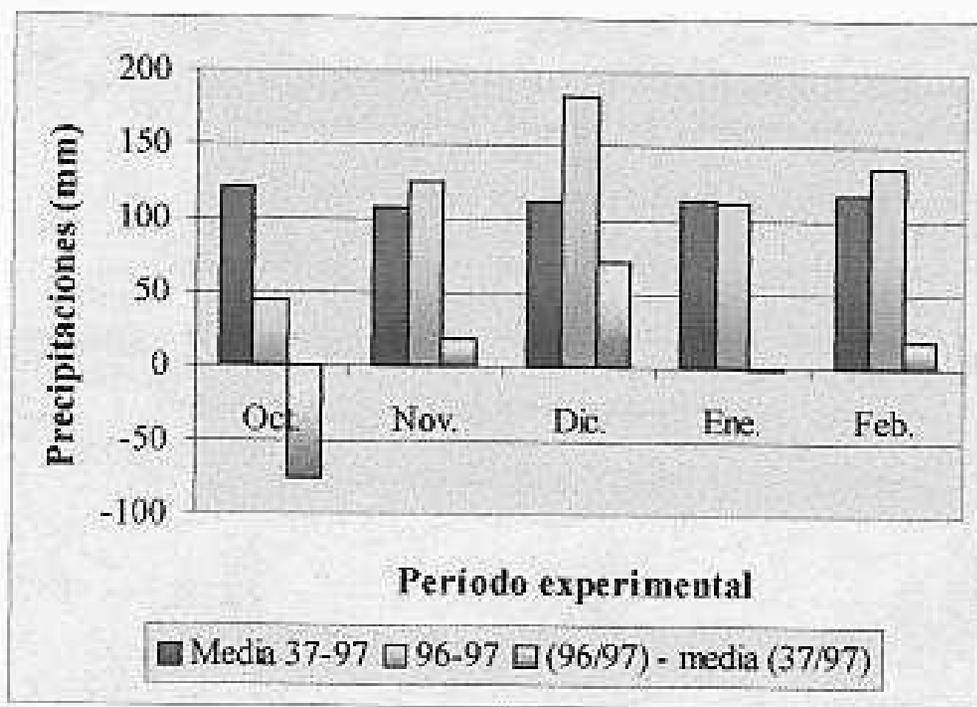


Figura 1. Media histórica de precipitaciones para el periodo experimental en los últimos 61 años, en los años de estudio y diferencia entre ambas.

Las menores precipitaciones ocurridas en el mes de octubre de 1996 con respecto a la media histórica de dicho mes (76 mm menos) hacen pensar que al momento de la siembra y en los primeros estadios de desarrollo del cultivo el contenido de agua del suelo fue bajo. En los 10 y 20 días previos a la siembra las precipitaciones ocurridas fueron 10 y 58 mm, respectivamente. La presencia en superficie de una capa de residuos en condiciones de cero laboreo maximiza la ganancia y minimiza las pérdidas de agua (Ernst y Siri, 1995), lo que es especialmente importante para mantener la humedad en el suelo cuando aún el cultivo no realiza un uso importante de la misma (durante emergencia y en los estadios iniciales).

En la figura 2 se muestran los valores de lluvias de la última década de setiembre de 1996 a la primera de febrero de 1997 en relación a la evapotranspiración del cultivo en el periodo de crecimiento de éste (método tanque tipo A; Hofstadter et al., 1993).

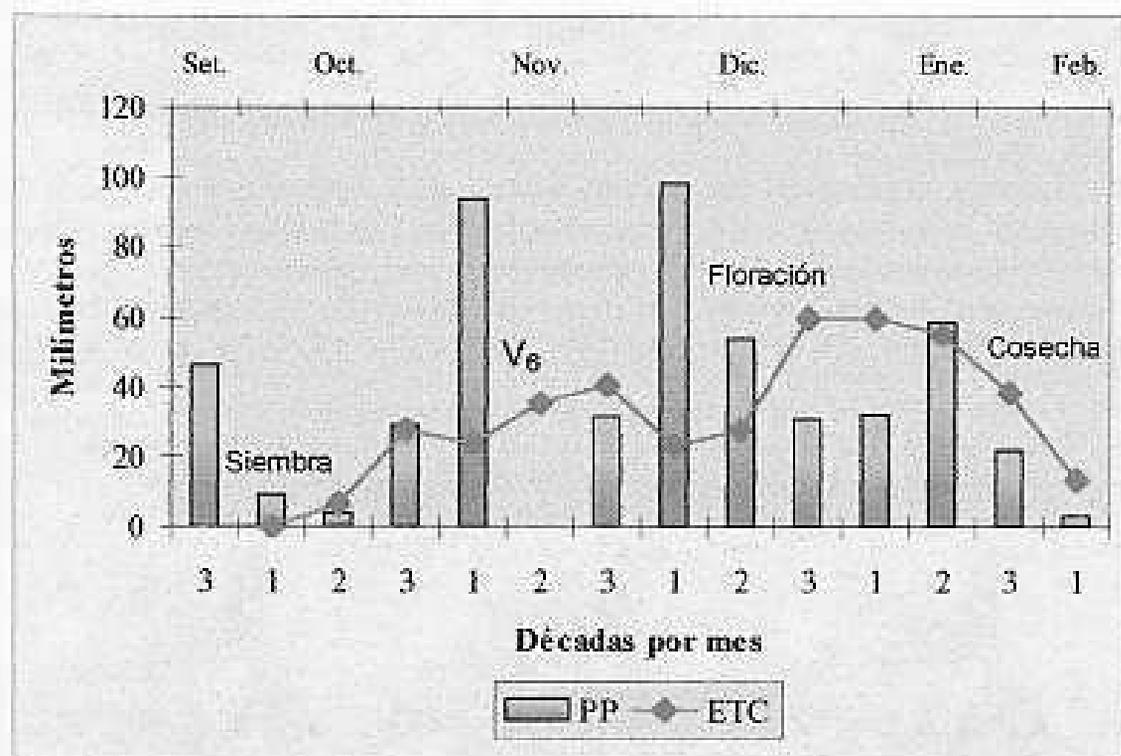


Figura 2. Precipitaciones y evapotranspiración del cultivo para el periodo experimental.

Las precipitaciones estuvieron irregularmente distribuidas en relación a la demanda del cultivo. Hubo un periodo de precipitaciones intensas en la primera década de Noviembre y Diciembre, mientras que la mayor demanda hídrica del cultivo ocurrió en la última década de Diciembre y en las dos primeras de Enero.

Sin embargo, el hecho de sembrar los experimentos sobre chacras con una corta historia agrícola y el uso de la siembra directa para la implantación del cultivo a evaluar, hacen pensar en que un alto porcentaje de las precipitaciones ocurridas contribuyeron a las reservas de agua del suelo las cuales pudieron ser utilizadas en los momentos críticos por parte del cultivo. Al momento de la emergencia el contenido de agua en los primeros 20 cm del suelo fue de 14.1, 16.4 y 17.6 (% en volumen) para los experimentos 1, 2 y 3 respectivamente.

El promedio de producción de grano para los experimentos 1, 2 y 3 fue de 8494, 9631 y 7287 kg/há respectivamente, lo que refleja las excelentes condiciones hídricas del año.

4.2. REFERTILIZACIÓN NITROGENADA AL ESTADIO V₆.

4.2.1. Respuesta al agregado de Nitrógeno.

4.2.1.1. Rendimiento en grano.

Se encontraron diferentes respuestas en producción de grano al agregado de N en los 3 experimentos realizados. En el experimento 1 hubo respuesta al agregado de 30 unidades de N en V₆ (como urea incorporada), en los experimentos 2 y 3 no hubo respuesta a este factor de producción ($p < 0.10$). Las diferencias detectadas en el experimento 3 en favor del tratamiento urea incorporada son significativas ($p < 0.20$) (Figura 3).

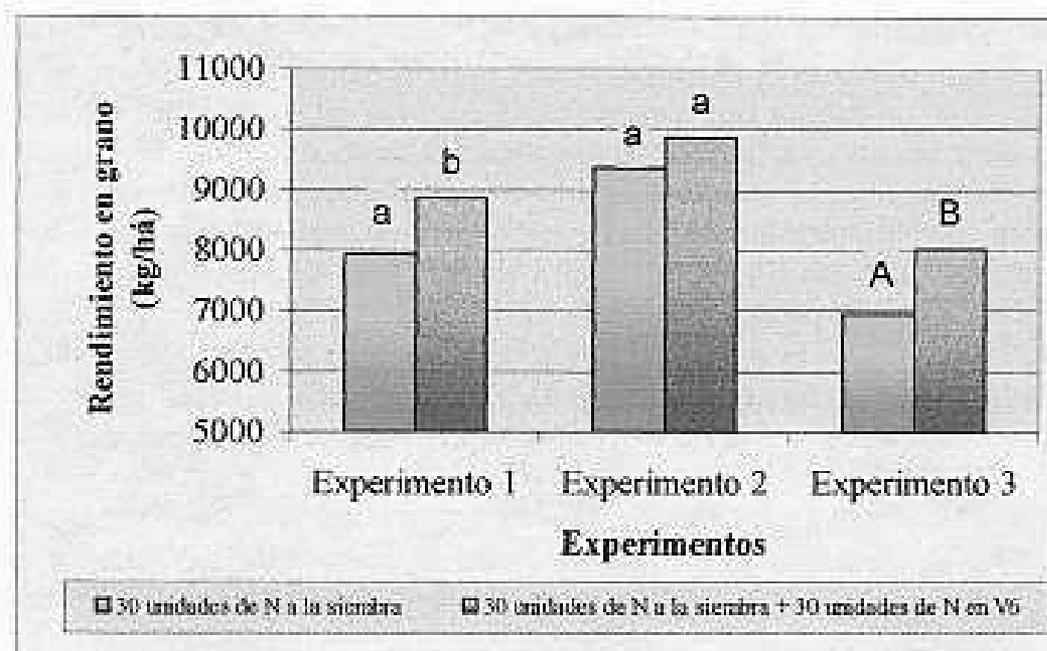


Figura 3. Respuesta en producción de grano de maíz al agregado de 30 unidades de N (urea incorporada) al estadio V₆ para los experimentos 1, 2 y 3 (valores seguidos de igual letra minúscula dentro de experimentos no difieren entre sí - $p < 0.10$ -; valores seguidos de igual letra mayúscula dentro de experimentos no difieren entre sí - $p < 0.20$ -).

En el cuadro 4 se aprecia la respuesta en kg de grano por kg de N agregado y la disponibilidad de N-NO₃ en el suelo a la siembra y en el estadio V₆. En las situaciones que no hubo respuesta a la refertilización en V₆ el nivel de N-NO₃ en suelo fue de 34.6 y 19.3 ppm (experimentos 2 y 3 respectivamente), mientras que en la situación con respuesta la disponibilidad fue 21 ppm de N-NO₃ (experimento 1).

Cuadro 4. Respuesta en producción de grano al agregado de 30 unidades de N (urea incorporada) al estadio V_6 , disponibilidad de $N-NO_3$ en suelo a la siembra y en V_6 para los experimentos 1, 2 y 3.

	Experimento 1	Experimento 2	Experimento 3
Rdto. en grano sin nitrógeno (kg/há)	7927 a	9364 a	6950 A
Rdto. en grano con 30 unidades de N (urea incorporada) (kg/há)	8856 b	9862 a	8018 B
Kg grano/kg N	31	16.6	35.6
ppm $N-NO_3$ (siembra)	8.4	22.5	10.3
Ppm $N-NO_3$ (V_6)	21	34.6	19.3

Valores seguidos de igual letra minúscula dentro de experimentos no difieren entre sí ($p < 0.10$).

Valores seguidos de igual letra mayúscula dentro de experimentos no difieren entre sí ($p < 0.20$).

El incremento en el contenido de $N-NO_3$ en suelo entre la siembra y el estadio V_6 es resultante de la corrección realizada con 30 unidades de N al sembrar, más el aporte de N por parte del suelo en dicho periodo. Considerando una superficie de 1 há con una profundidad de 20 cm y una densidad aparente de 1.25 g/cm^3 , las 30 unidades de N agregadas al momento de la siembra (con el objetivo de evitar la existencia de déficits de N entre dicho momento y el estadio V_6) representan 9.6 ppm de $N-NO_3$ en los primeros 20 cm del suelo, si se asume un 80 % de eficiencia de uso del N agregado. Si a los valores de $N-NO_3$ en suelo a la siembra se le adiciona el correspondiente al N agregado (9.6 ppm) se obtiene un valor menor o igual al encontrado en el suelo en V_6 . Por tanto el suelo aportó la diferencia, más una cantidad de N equivalente a la consumida por el cultivo en dicho intervalo de tiempo (siembra- V_6).

Respecto a la capacidad de consumo de N de un cultivo de maíz hasta el estadio V_6 , Malavolta y Pires (1987) mencionaron que la misma está en el entorno de 20 kg de N/há para un cultivo con una población de 80000 plantas/há.

El estadio V_6 indica el momento a partir del cual el cultivo comienza a absorber N a altas tasas. Darwich (1993) mencionó que los requerimientos de N para producir 7400 kg de grano/há son de aproximadamente 185 kg/há. Si se tiene en cuenta que el rendimiento promedio de los experimentos 2 y 3 fue mayor al mencionado y que las parcelas (con agregado de 30 unidades a la siembra) no respondieron al agregado de 30 unidades de N en V_6 , podemos confirmar la alta capacidad de aporte de N por parte del suelo en las condiciones de estos experimentos.

Estos resultados permiten relativizar el concepto de que "la capacidad de aporte de N por parte del suelo cuando este no se laborea es baja". Al respecto Kitur et al. (1984) y Rice y Smith (1993) (mencionados por Bordoli, 1997) explicaron esta menor capacidad

de aporte de N por un efecto depresivo de las bajas temperaturas, del no laboreo propiamente dicho y de la falta de incorporación de residuos sobre la mineralización de la materia orgánica. A esta menor tasa de mineralización se le suma según los autores inmovilización de N debido a que en los primeros años en los sistemas de siembra directa hay una ganancia neta de materia orgánica por parte del suelo, lo cual tiene implícito un costo en inmovilización de N.

Para primavera-verano de Uruguay el concepto puede ser válido pero a un nivel en el cual la diferencia no es relevante para el crecimiento vegetal.

El valor de N-NO₃ en suelo por debajo del cual se espera respuesta al agregado de N oscila entre 17 y 25 ppm, según los autores. Sims et al. (1995) reportaron que en sus experimentos no hubo respuesta al agregado de N con valores de N-NO₃ en suelo de 17 ppm. A su vez mencionaron que sus resultados son muy similares a los de Magdoff et al. (1980) quienes manejaron valores críticos de N-NO₃ en V₆ de 18 ppm. También manifestaron que Fox et al. (1992) determinaron en Maryland y Pensilvania valores críticos de 21-22 ppm, mientras que Blackmer et al. (1992) hallaron valores críticos entre 20 y 25 ppm en Iowa.

Para las condiciones del año, los valores críticos de N-NO₃ en V₆ que mejor se ajustarían a las condiciones de los experimentos, son los determinados en Iowa cuyo régimen hídrico es similar al nuestro (período de crecimiento húmedo). En los experimentos 1 y 3 la existencia de respuesta era lo esperado dado el contenido de N-NO₃ en suelo en V₆ (21 y 19.3 ppm respectivamente). A su vez, a esos valores de N-NO₃ en suelo debe sumarse el aporte posterior de N proveniente de mineralización de la materia orgánica, proceso que toma importancia con el aumento de la temperatura del suelo durante el desarrollo del cultivo.

La falta de respuesta al agregado de N en el experimento 2 está claramente explicada por el nivel de N-NO₃ en suelo en V₆ (34.6 ppm), el cual superó el rango de valores mencionado como crítico, independientemente de la situación climática considerada.

La respuesta obtenida en kg de grano/kilogramo de N agregado en los experimentos 1 y 3 es similar a la encontrada por Stecker et al. (1993) quienes detectaron una respuesta de 34 kg de grano de maíz/kg de N para una dosis de 112 kg de N/há frente al riego con 56 kg de N/há, sobre chacras con un contenido de 1.4 % de materia orgánica y usando cero laboreo. A su vez la respuesta obtenida en el experimento 2 es similar a la reportada por dichos autores para una dosis de 224 kg de N frente al riego con 168 kg de N/há.

La información experimental destaca la respuesta aleatoria al N para las condiciones de nuestro país, por la importancia que tienen en la determinación del

rendimiento los factores año y chacra. Sin embargo la magnitud de las precipitaciones ocurridas durante el período experimental conjuntamente con la corta historia agrícola de los suelos sobre los cuales se sembraron los experimentos determinan que estas variables no hayan impuesto ningún tipo de limitante a la producción de grano.

4.2.1.2. Componentes del rendimiento.

En el experimento 1 el único componente del rendimiento que respondió al agregado de N en V_6 (30 unidades como urea incorporada) fue el número de granos por mazorca ($p < 0.10$), siendo por tanto el componente que explicó la variación obtenida en producción de grano entre los tratamientos con y sin N. En el experimento 2 hubo correspondencia entre la falta de respuesta al agregado de N en producción de grano y la falta de respuesta en los componentes de rendimiento a dicho tratamiento. La tendencia ($p < 0.20$) observada en el experimento 3 a la mayor producción de grano en el tratamiento con agregado de N sobre el testigo sin N estuvo explicada por la variación en el peso de granos (cuadro 5).

Cuadro 5. Respuesta de los componentes del rendimiento en grano al agregado de 30 unidades de N (urea incorporada) al estadio V_6 en los experimentos 1, 2 y 3.

	Tratamiento de N en V_6	Granos/mazorca	Mazorcas/há	Fertilidad	Peso 100 granos (g)
Experimento 1	0 Nitrógeno	373 a	73964 a	0.960 a	28.66 a
	30 unidades de N (urea incorporada)	409 b	74184 a	0.962 a	29.20 a
Experimento 2	0 Nitrógeno	407 a	73489 a	0.953 a	31.10 a
	30 unidades de N (urea incorporada)	432 a	74288 a	0.962 a	30.74 a
Experimento 3	0 Nitrógeno	349 a	70480 a	0.940 a	27.69 a
	30 unidades de N (urea incorporada)	358 a	74078 a	0.980 a	29.63 b

Valores seguidos de igual letra dentro de columnas, para cada experimento, no difieren entre sí ($p < 0.10$)

El cuadro 6 se confeccionó cuantificando el aporte de cada componente del rendimiento de la forma propuesta por Graffius (1956). En el experimento 1 todos los componentes que determinan el rendimiento, en el tratamiento con agregado de 30 unidades de N en V_6 (urea incorporada) superaron en magnitud a los del tratamiento testigo. El tamaño de mazorca cuantificado a través de los granos por mazorca explicó la diferencia en producción de grano en respuesta al agregado de N. Los granos por

mazorca se determinan entre los estadios V_6 y R_2 , por lo que hubo un efecto directo del agregado de N en las etapas de definición de este componente del rendimiento.

Cuadro 6. Incidencia de los componentes del rendimiento en grano a la diferencia de producción de grano entre el testigo sin agregado de N y el tratamiento con agregado de 30 unidades de N (urea incorporada) en V_6 , para los experimentos 1, 2 y 3.

	Rdto. en grano sin N (kg/há)	Mazorcas/há	Granos por mazorca (kg/há)	Peso 100 granos (kg/há)	Rdto. con 30 unidades de N (urea incorpo.) (kg/há)
Experimento 1	7907 a	+ 23.4	+ 763	+ 149	8860 b
Experimento 2	9302 a	----	----	----	9865 a
Experimento 3	6846 A	+ 313	+ 176	+ 529	7911 B

Valores seguidos de igual letra minúscula dentro de experimentos no difieren entre sí ($p < 0.10$)

Valores seguidos de igual letra mayúscula dentro de experimentos no difieren entre sí ($p < 0.20$).

En el experimento 3 el componente que mayor aportó a la diferencia en producción de grano entre ambos tratamientos de N fue el peso de granos. Esto indica que el efecto del N agregado fue en etapas finales de la determinación del rendimiento.

Según Andrade et al. (1996) el incremento en el número de granos por mazorca en respuesta al N se debe a un efecto de dicho nutriente sobre la supervivencia de granos y espiguillas (granos logrados por óvulo diferenciado), más que a un efecto sobre el número total de óvulos y espiguillas diferenciadas. Por tanto los granos por mazorca se determinan en post-floración. El mismo autor mencionó que Kiniry y Ritchie (1985), y Schussler y Westgate (1991) expresaron que el desarrollo del grano es altamente dependiente del suministro de asimilados a la mazorca durante floración y etapas posteriores inmediatas, por lo que cuanto mejores sean las condiciones de crecimiento de la planta en post-floración menor será el porcentaje de aborto de granos y por lo tanto mayor el número final de granos por mazorca.

Confirmando lo anteriormente expresado, Uhart y Andrade (1995c) (mencionados por Andrade et al., 1996) reportaron que la reducción del número potencial de óvulos por mazorca producida debido a estrés de N osciló en sus experimentos entre 1 y 8 %. Por otra parte las pérdidas de granos por mazorca debido a aborto de estructuras reproductivas aumentó de 32-38 % para casos sin estrés a 38-82 % para situaciones con estrés de N.

Los mismos autores reportaron que el efecto de las deficiencias de N sobre el peso de grano es menor que sobre el número de los mismos, ya que detectaron disminuciones en el peso de grano entre 9 y 25 % en situaciones con estrés de N. La disminución en el

peso de granos está determinada por un menor número de células endospermáticas y gránulos de almidón en floración temprana, y/o porque disminuye la fuente de asimilados (menor tasa fotosintética y duración del área foliar) durante el periodo de llenado.

En el experimento 1 los granos por mazorca logrados con el agregado de 30 unidades de N (urea incorporada) fueron similares a los obtenidos en el testigo sin N en el experimento 2 (409 y 407 granos respectivamente). Esto marcaría el número potencial de granos a alcanzar en el ambiente ofrecido, ya que en el experimento 2 (sin respuesta a N) el número de granos no fue incrementado por el agregado de N. En el experimento 3, la respuesta observada ($p < 0.20$) fue el resultado del incremento en el peso de los granos. La misma se corresponde con un bajo número de granos/mazorca. En este caso, el número de granos estaría limitado por otro factor independiente del N. El experimento 3 corresponde a la secuencia con siembra directa continua, por lo que la condición física del suelo pudo haber limitado la respuesta al nutriente.

4.2.1.3. Parámetros de crecimiento e indicadores nutricionales.

El efecto del N sobre la producción de grano no se explica solamente por un efecto directo de este nutriente sobre los componentes del rendimiento, sino que también influye indirectamente a través de parámetros de crecimiento como pueden ser estado de desarrollo e índice de área foliar. Hanway (1961) afirmó que el potencial de producción de grano está determinado por el área foliar en etapas de crecimiento temprano, la cual es de definición previa a la del rendimiento potencial. Sin embargo dicho rendimiento potencial no puede ser obtenido si: a) la tasa de asimilación neta es reducida por algún factor como puede ser la existencia de deficiencias de humedad en etapas avanzadas del cultivo o b) el área foliar es reducida prematuramente por algún factor que provoque muerte anticipada de hojas, tales como deficiencias nutricionales o bien daños provocados por insectos o enfermedades.

En el caso de los experimentos no se midió índice de área foliar posterior al agregado de N. Lo que sí se midió fue peso de planta e índice de atenuación foliar (radiación que pasa a través del follaje del cultivo), siendo por tanto su relación inversa con el índice de área foliar (a mayor valor de éste, menor valor de aquél). Los indicadores nutricionales evaluados fueron % de N en tejidos y ppm de N-NO₃ en suelo pre-floración.

El efecto del agregado de N (urea incorporada) sobre parámetros de crecimiento e indicadores del estado nutricional del cultivo se describen en el cuadro 7.

Cuadro 7. Efecto del agregado de 30 unidades de N en V_6 (urea incorporada) sobre el peso de 4 plantas a los 18 días post-refertilización, índice de atenuación foliar a los 48 y 84 días post-refertilización, % de N en planta en el estadio V_{12} , % de N foliar a floración y contenido residual de $N-NO_3$ en suelo 4 días pre-floración, para los experimentos 1, 2 y 3.

	Experimento 1		Experimento 2		Experimento 3	
	0 Nitrógeno	30 unidades de N	0 Nitrógeno	30 unidades de N	0 Nitrógeno	30 unidades de N
Peso plantas (4) 18 días post-refertilización (g)	90.43 a	93.56 a	78.00 a	69.71 a	73.29 a	66.93 a
Índice Atenuación F (48 días post-referti.)	1.92 a	1.72 a	1.98 a	1.97 a	1.68 a	1.64 a
Índice Atenuación F (84 días post-referti.)	1.55 a	1.48 a	1.34 a	1.39 a	1.54 a	1.26 a
% N planta (V_{12})	2.54 a	3.21 b	3.01 a	3.47 a	3.00 a	3.29 a
% N foliar (floración)	2.45 a	2.89 b	2.34 a	2.56 a	2.12 a	2.29 a
ppm $N-NO_3$ (pre-florac.)	5.8 a	5.7 a	15.1 a	18.0 a	5.4 a	6.6 a

Valores seguidos de igual letra para cada variable y dentro de experimentos no difieren entre sí ($p < 0.10$).

La falta de respuesta al agregado de N en los parámetros peso de plantas e índice de atenuación foliar indica que la respuesta obtenida en producción de grano al agregado de N en el experimento 1 se debería a un incremento en la eficiencia fotosintética del área foliar, más que a un efecto del N sobre el tamaño del aparato fotosintético (Black, 1975).

En el experimento 3 el índice de atenuación foliar a cosecha (84 días post-refertilización) para el tratamiento con urea incorporada tuvo un valor menor con respecto al testigo, al igual que con respecto a los experimentos restantes. Como el valor del mismo es inverso al del índice de área foliar, indica que en el tratamiento urea incorporada del experimento 3 hubo mayor área foliar con respecto al testigo. Esta sería la explicación del mayor peso de granos obtenido en dicho tratamiento frente al testigo con N. Esto concuerda con los reportes ya mencionados por Uhart y Andrade (1995c) (mencionados por Andrade et al. 1996) respecto al efecto del N sobre el peso de granos.

La similitud en el índice de atenuación foliar pre-cosecha en los otros dos experimentos (a los 84 días post-refertilización) indica que el agregado de urea no afectó la duración del área foliar, con respecto al testigo sin N. Mengel y Kirby (1987), reportaron que una correcta nutrición con N enlentece la senescencia foliar por un efecto

de este nutriente sobre el balance de citoquininas en la planta. A su vez los autores mencionaron que al mantenerse por más tiempo las hojas en estados juveniles, se produce un aumento en la eficiencia fotosintética del área foliar. Debe considerarse que el índice de atenuación foliar no discrimina la calidad del aparato fotosintético (% de área verde ni intensidad del verde), por lo que un mismo valor puede significar eficiencias diferenciales del área foliar post-floración fotosintéticamente activa.

El contenido porcentual de N en tejidos es comunmente usado como indicador del estado nutricional del cultivo. Esto se debe a la participación que tiene este elemento como constituyente de compuestos imprescindibles para el desarrollo normal de las plantas como ser proteínas, hormonas, pigmentos de clorofila, etc. (Rabuffetti, 1983).

Muchos autores relacionan determinadas concentraciones de N en planta y hoja con rendimientos relativos al potencial máximo en determinadas situaciones. En tal sentido Binford et al. (1992) encontraron respuesta en producción de grano hasta concentraciones de N en plantas jóvenes de 3.8 % (al estadio V_6). Sin embargo los autores mencionaron que esta variable explicó solamente el 32 % de la variación registrada en producción de grano. Por otra parte, los valores de N en la hoja inferior opuesta a la mazorca a floración para lograr un 95 % del rendimiento potencial debe oscilar según Bennet et al. (1953) (mencionados por Dumenil, 1961) entre 2.6 y 3.1 %. Estos valores de N foliar en floración son muy similares al valor 2.52 % manejado por Dara et al. (1992) para el sur de Dakota.

Los valores de % de N en planta presentados en el Cuadro 7 corresponden a un muestreo posterior a V_6 (V_{12}), por lo que eran de esperar niveles de nitrógeno en planta inferiores a los mencionados. Para % de N foliar en floración los valores corresponden al estadio R_1 (floración femenina) en la hoja opuesta a la mazorca, por lo que son comparables con los de la literatura citada.

En el experimento 1 el agregado de N logró elevar el % de N en planta y el % de N foliar en floración, alcanzándose los valores citados por la bibliografía como suficientes para la obtención de rendimientos cercanos al potencial máximo. Esta corrección en el N de tejidos fue acompañada por un aumento en la producción de grano, indicando que el testigo no tuvo un correcto suministro de N para lograr el rendimiento máximo potencial para ese ambiente.

En el experimento 2 el agregado de urea no incrementó el % de N en planta ni el % de N foliar, lo que concuerda con la falta de respuesta al agregado del nutriente. El % de N en planta y N foliar para ambos tratamientos de N, si bien no varió se ubicó en el entorno de los valores críticos.

En el experimento 3 el % de N foliar en ambos tratamientos de N fue más bajo que para el caso anterior, lo que se asoció al menor rendimiento obtenido en este

experimento. Como ya fuera analizado, en este experimento (con manejo anterior del suelo en siembra directa continua) existió una disponibilidad de $N-NO_3$ a la siembra y en V_6 similar a la del experimento 1 (con respuesta a N), no se detectaron niveles diferenciales de N en planta a V_{12} (iguales a los con 30 unidades de N en el experimento 1) pero se midieron los valores más bajos de % de N en hoja a floración. Podría interpretarse que el N fue limitante a partir de un estadio posterior a V_{12} , lo que limitó el número de granos por mazorca al momento de la fijación de los mismos (concreción de óvulos potenciales en granos) (cuadro 5).

En la figura 4 se muestra el efecto de la fertilización con N en los tres experimentos (manejo diferencial del laboreo anterior), sobre la absorción de N a V_{12} .

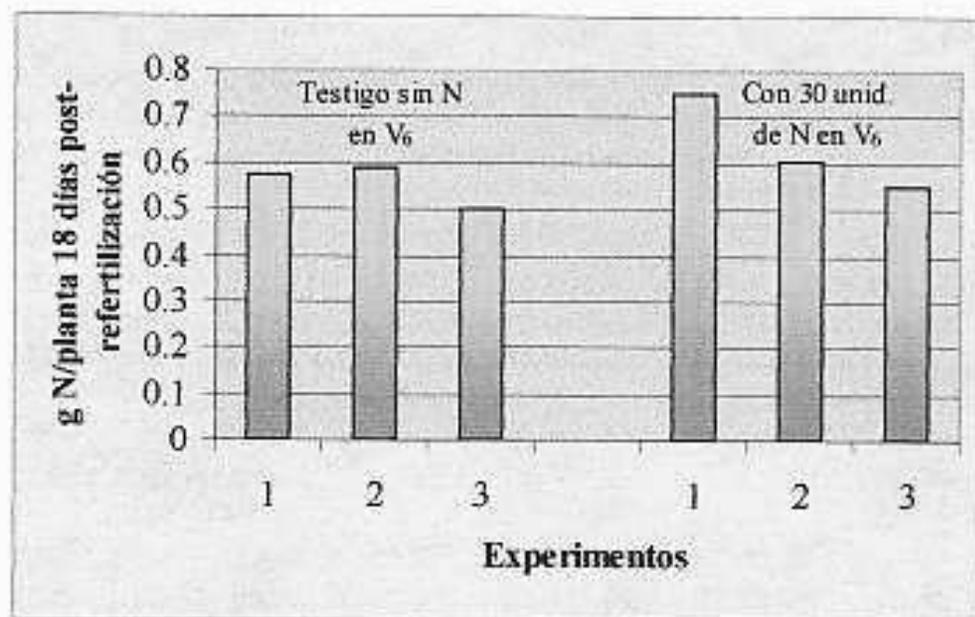


Figura 4. Efecto del agregado de N (urea incorporada) sobre la absorción de N por planta (g) al estadio V_{12} , para los experimentos 1, 2 y 3 (manejo anterior del suelo en LC, LC-SD y SD-SD respectivamente).

En el experimento 3 (manejo anterior del suelo en siembra directa continua), las plantas fueron más livianas y existió una menor absorción de N. Esto coincide con el menor valor nutricional a floración, con la no respuesta en número de granos por mazorca y con la hipótesis de un posible efecto de la condición física del suelo sobre la ausencia de respuesta al agregado de N.

Ernst et al. (1992) comparando cebada sembrada en forma convencional y en siembra directa, encontraron un menor peso de plantas para la situación de siembra directa lo que se tradujo en una menor cantidad de N absorbido por planta.

Lima y Malaquin (1991) citan que Carrasco (1988) expresó que esta menor producción de materia seca de partes aéreas de plantas creciendo en suelos con limitantes físicas es resultado de deficiencias inducidas por un bajo crecimiento radicular, y no por una influencia per se de la resistencia mecánica.

4.2.2. Respuesta a métodos de aplicación de N y fuentes.

Son varias las menciones bibliográficas que hacen referencia a las ventajas, tanto en parámetros productivos como de crecimiento, de los tratamientos con incorporación de N frente a los de aplicación superficial del mismo como así también a las ventajas en el uso de fuentes que aportan parcialmente el N bajo forma de nitrato con respecto a aquellas que lo hacen totalmente bajo forma de amonio. Dichas ventajas se basan en la diferente eficiencia de uso del N agregado entre los métodos de aplicación y las fuentes usadas, diferencia que puede ser minimizada según determinadas condiciones ambientales (Bandel et al., 1980; Fox et al., 1986; Fox y Hoffman et al., 1981; Howard y Tyler, 1989; Mengel et al., 1982; Touchton y Hargrove, 1982).

Entre las muchas variables que afectan la eficiencia de uso del N, en las condiciones de los experimentos las que tuvieron un rol destacado fueron el contenido de N-NO₃ en suelo (experimento 2), y la ocurrencia de precipitaciones importantes (mayores a 10 mm) inmediatamente luego de la refertilización nitrogenada (experimentos 1, 2 y 3).

4.2.2.1. Rendimiento en grano.

En ninguno de los 3 experimentos hubo diferencias en producción de grano entre los tratamientos urea incorporada-urea al voleo y urea incorporada-nitrato de amonio (cuadro 8).

Cuadro 8. Contraste urea incorporada-urea al voleo y urea incorporada-nitrato de amonio en producción de grano para los experimentos 1, 2 y 3.

		Tratamientos de N en V _c contrastados	
		Urea incorporada-urea al voleo	Urea incorporada-nitrato de amonio
Experimento 1	Rdto. en grano (kg/há)	8915 - 8705 (aa)	8915 - 8261 (aa)
Experimento 2	Rdto. en grano (kg/há)	10235 - 9653 (aa)	10235 - 9748 (aa)
Experimento 3	Rdto. en grano (kg/há)	8018 - 7554 (aa)	8018 - 7548 (aa)

Contrastes seguidos de letras iguales (aa) dentro de experimentos no difieren entre sí ($p < 0.10$).

4.2.2.2. Componentes del rendimiento.

El método de aplicación de urea y las fuentes usadas no afectaron los componentes del rendimiento en los experimentos 1 y 2. En el experimento 3 no hubo efecto de las fuentes sobre ningún componente del rendimiento, en tanto que si hubo diferencia entre los métodos de aplicación de urea para el componente peso de granos (cuadro 9).

Esta falta de diferencia en componentes del rendimiento entre los distintos tratamientos de N en los experimentos 1 y 2 concuerda con la similitud en la producción de grano entre los mismos. En el experimento 3 si bien hubo diferencia en el peso de granos entre los métodos de aplicación de urea, dicha diferencia no contribuyó a que la producción de grano en ambos tratamientos fuera diferente.

La falta de diferencia en producción de grano y componentes del rendimiento (excepto peso de granos) entre los métodos de aplicación de urea y las fuentes usadas, en los experimentos 1 y 3, se explica por la ocurrencia de lluvias luego de la refertilización, las que contribuyeron a eliminar las diferencias esperadas entre los diferentes tratamientos de N (figura 5).

Cuadro 9. Contraste urea incorporada-urea al voleo y urea incorporada-nitrato de amonio para componentes del rendimiento en los experimentos 1, 2 y 3.

	Tratamientos de N en V, contrastados					
	Experimento 1		Experimento 2		Experimento 3	
	Urea incorporada-urea al voleo	Urea incorporada-nitrato de amonio	Urea incorporada-urea al voleo	Urea incorporada-nitrato de amonio	Urea incorporada-urea al voleo	Urea incorporada-nitrato de amonio
Granos/mazorca	407 - 397 (aa)	407 - 394 (aa)	444 - 414 (aa)	444 - 418 (aa)	358 - 358 (aa)	358 - 353 (aa)
Mazorcas/há	75377-76388 (aa)	75377-73040 (aa)	74289-73317 (aa)	74289-73805 (aa)	74078-73213 (aa)	74078-73313 (aa)
Fertilidad	0.966-0.979 (aa)	0.966-0.936 (aa)	0.973-0.966 (aa)	0.973-0.968 (aa)	0.982-0.968 (aa)	0.982-0.967 (aa)
Peso 100 granos (g)	29.08 - 28.44 (aa)	29.08 - 28.54 (aa)	31.10 - 31.67 (aa)	31.10 - 31.56 (aa)	29.83 - 28.33 (ab)	29.83 - 28.54 (aa)

Contrastes seguidos de letras iguales (aa) dentro de experimentos y para cada variable no difieren entre sí ($p < 0.10$)

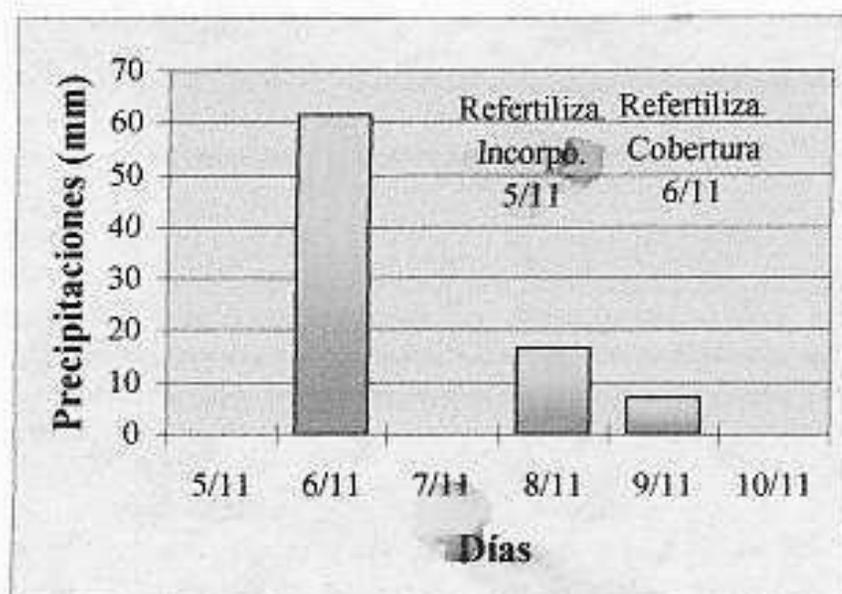


Figura 5. Precipitaciones ocurridas en los primeros 5 días post-refertilización.

Los efectos de las precipitaciones sobre la volatilización de amoníaco fueron estudiados por McInnes et al. (1986), Volk (1966), Fox et al. (1986), Fenn y Miyamoto (1981) y Fox et al. (1996). Ellos encontraron que las pérdidas de amoníaco por volatilización son mínimas cuando se producen precipitaciones mayores a 10 mm luego de la aplicación en superficie de diferentes fuentes de N. La baja magnitud de las pérdidas determina una buena eficiencia de uso del fertilizante agregado, independientemente de fuentes y métodos de aplicación usados.

Los resultados a que se arribó en el presente trabajo concuerdan con los reportes de la bibliografía acerca del efecto de lluvias (mayores a 10 mm) inmediatas a la refertilización con N, sobre la eficiencia de uso de diferentes fuentes de N y métodos de aplicación de las mismas.

Debe destacarse que en los experimentos 1 y 3 el nivel de N-NO₃ en suelo a V₆ (en el rango en que deja de existir respuesta al agregado de N) determina que aún en condiciones que favorecieran las pérdidas de N por volatilización de amoníaco el poco N faltante para llegar al nivel mencionado como crítico, pudo ser igualmente aportado por cualquiera de las fuentes de N independientemente de su eficiencia de uso.

En la situación del experimento 2 a la condición hídrica se sumó la presencia en el suelo de 34.6 ppm de N-NO₃ en el estadio V₆. Este nivel de N en suelo anuló el impacto favorable que tienen las lluvias ocurridas inmediatamente a la refertilización sobre la

eficiencia de uso del N, siendo ambos la principal explicación de los resultados obtenidos.

4.2.2.3. Parámetros de crecimiento e indicadores nutricionales.

En el experimento 1 se registró variación en el índice de atenuación foliar a los 84 días post-refertilización entre métodos de aplicación de urea. En el experimento 2 se registró variación en el % de N en planta (en V_{12}) entre fuentes de N, a los 18 días post-refertilización. En el experimento 3 no hubo variación entre métodos de aplicación de urea ni entre fuentes de N tanto para parámetros de crecimiento como para indicadores nutricionales (cuadro 10).

Cuadro 10. Contraste urea incorporada-urea al voleo y urea incorporada nitrato de amonio en peso de plantas (4) a los 18 días post-refertilización, índice de atenuación foliar a los 48 y 84 días post-refertilización, % de N en planta (en V_{12}), % de N foliar (a floración) y nivel de $N-NO_3$ en suelo 4 días pre-floración en los experimentos 1, 2 y 3.

	Tratamientos de N en V_2 contrastados					
	Experimento 1		Experimento 2		Experimento 3	
	Urea incorporada-urea al voleo	Urea incorporada-nitrato de amonio	Urea incorporada-urea al voleo	Urea incorporada-nitrato de amonio	Urea incorporada-urea al voleo	Urea incorporada-nitrato de amonio
Peso plantas (4) 18 días post-referti.	99.20-88.50 (aa)	99.20-84.33 (aa)	77.93-88.14 (aa)	77.93-84.94 (aa)	66.94-82.16 (aa)	66.94-74.91 (aa)
I. Atenuación F. 48 días post-referti.	1.74-1.56 (aa)	1.74-1.86 (aa)	1.98-2.08 (aa)	1.98-2.11 (aa)	1.64-1.65 (aa)	1.64-1.76 (aa)
I. Atenuación F. 84 días post-referti.	1.46-1.78 (ab)	1.46-1.43 (aa)	1.41-1.30 (aa)	1.41-1.17 (aa)	1.25-1.24 (aa)	1.25-1.18 (aa)
% N planta (V_{12})	3.42-3.00 (aa)	3.42-3.26 (aa)	3.56-3.26 (aa)	3.56-2.80 (ab)	3.29-2.94 (aa)	3.29-3.02 (aa)
% N foliar (floración)	2.77-2.60 (aa)	2.77-2.78 (aa)	2.67-2.60 (aa)	2.67-2.69 (aa)	2.29-2.16 (aa)	2.29-2.35 (aa)
Ppm $N-NO_3$ en suelo (preflora.)	6.2-5.4 (aa)	6.2-5.2 (aa)	18.6-13.7 (aa)	18.6-9.51 (aa)	6.6-7.4 (aa)	6.6-5.9 (aa)

Contrastes seguidos de letras iguales (aa) para cada variable y dentro de experimentos no difieren entre sí ($p < 0.10$).

La variación observada entre métodos de aplicación de urea para la variable índice de atenuación foliar a los 84 días post-refertilización en el experimento 1 no provocó que ambos tratamientos tuvieran diferentes producciones de grano. Algo similar ocurrió

en el experimento 2 con la variable % de N en planta al estadio V_{12} .

No se esperó ningún tipo de variación entre métodos de aplicación de urea y/o fuentes de N para parámetros de crecimiento e indicadores nutricionales en los tres experimentos, siendo la explicación de este tipo de respuesta esperada la misma dada para rendimiento y componentes del rendimiento (lluvias importantes luego de la refertilización en los experimentos 1 y 3, sumándosele a este efecto en el experimento 2 el elevado contenido de N- NO_3 en suelo al estadio V_6).

En el cuadro 10 se aprecia que en los experimentos 1 y 2 los niveles de N foliar logrados están en el rango ya mencionado como crítico para la obtención de rendimientos similares al potencial máximo. Distinta es la situación del experimento 3 (manejo anterior del suelo en siembra directa continua) en el cual si bien el nivel de N- NO_3 en suelo a V_6 fue elevado y además se agregó N vía fertilizante en dicho momento, los niveles de N foliar logrados están por debajo de los esperados en situaciones con buen suministro de N lo que indica la ocurrencia de posibles limitantes en la absorción de dicho nutriente en las condiciones de este experimento.

Si bien en el experimento 3 el % de N en planta al estadio V_{12} fue similar al de los dos restantes (y osciló en el entorno de los valores críticos), las plantas fueron más pequeñas por lo que la cantidad de N absorbido fue menor, manifestándose esto en los menores porcentajes de N foliar a floración obtenidos en este experimento.

4.3. FERTILIZACIÓN FOSFATADA.

4.3.1. Respuesta en producción de grano.

La respuesta al agregado de P_2O_5 a la siembra fue positiva y significativa sólo en el experimento 2 (cuadro 11). En los experimentos 1 y 3 no se detectó respuesta a los tratamientos con agregado de P_2O_5 a la siembra. En el experimento 1 se detectó un efecto negativo de las primeras 40 unidades de P_2O_5 ($p < 0,10$) que fue compensado por el agregado de las segundas 40 unidades de P_2O_5 (80 kg de P_2O_5 a la siembra). El testigo sin agregado de P_2O_5 y el tratamiento con 80 unidades de P_2O_5 no difirieron entre sí ($p < 0,10$). En el experimento 3 tampoco hubo diferencias entre los tratamientos de P_2O_5 a la siembra en producción de grano (figura 6).

Cuadro 11. Análisis de regresión (modelo lineal) entre producción de grano y niveles de P_2O_5 usados a la siembra en los experimentos 1, 2 y 3.

Experimentos	ppm P (siembra)	Coficiente b_0	Coficiente b_1	R^2	Significancia *
1	15,4	----	----	----	ns
2	8,6	8004	739	0,16	0,03
3	7	----	----	----	ns

* - modelo lineal

ns - no significativo ($p < 0,10$)

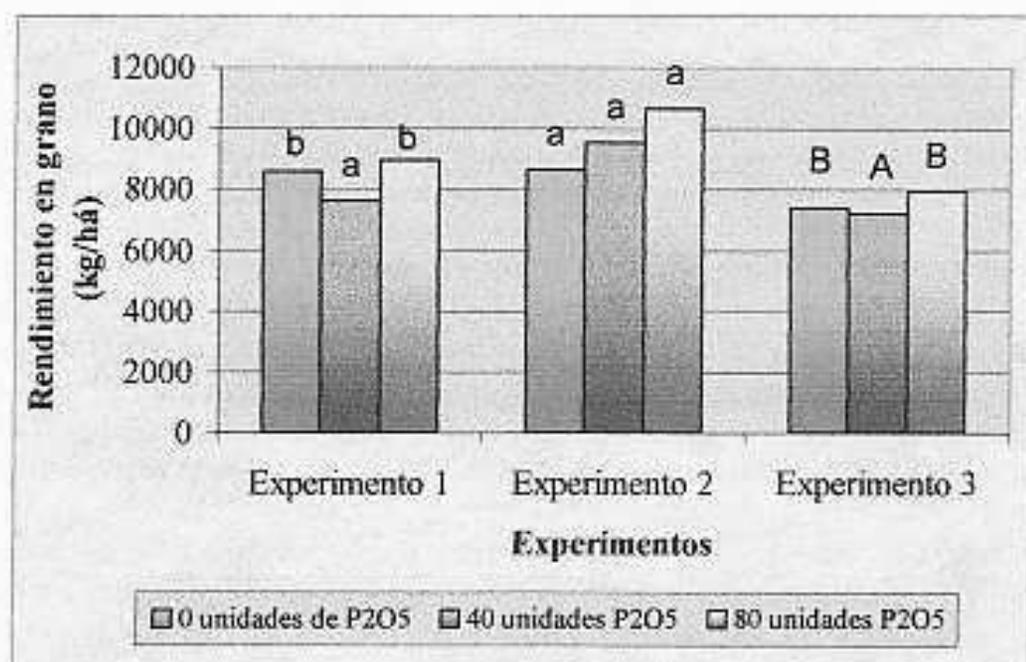


Figura 6. Efecto de los niveles de P_2O_5 a la siembra sobre la producción de grano en los experimentos 1, 2 y 3.

En el cuadro 12 se aportan datos del contenido de P en suelo a la siembra (ppm Bray 1) y respuesta en producción de grano por kilo de P_2O_5 agregado en los tratamientos con 0, 40 y 80 unidades de P_2O_5 a la siembra para los experimentos 1, 2 y 3.

Cuadro 12. Contenido de P Bray 1 en suelo a la siembra y respuesta en producción de grano a los niveles de P_2O_5 usados a la siembra en los experimentos 1, 2 y 3.

	Experimento 1	Experimento 2	Experimento 3
ppm P (siembra)	15.4	8.6	7
Rdto. en grano sin P_2O_5 (kg/há)	8594 b	8650 a	7412 a
Rdto. en grano con 40 unidades de P_2O_5 a la siembra (kg/há)	7622 a	9544 a	7192 a
Rdto. en grano con 80 unidades de P_2O_5 a la siembra (kg/há)	8959 b	10646 a	7945 a
Respuesta en kg grano/kg P_2O_5 a las primeras 40 unidades	-24.3	+22.4	-5.5
Respuesta en kg grano/kg P_2O_5 a las segundas 40 unidades	+33.4	+27.6	+18.8

Valores seguidos de igual letra minúscula dentro experimentos no difieren entre sí ($p < 0.10$)

El punto de partida en el análisis de respuesta al agregado de cualquier nutriente es cuánto del mismo hay en el suelo, debiéndose comparar este valor con aquel contenido en el suelo de dicho nutriente hasta el cual se espera respuesta a su aplicación. En el caso concreto del P, Fernández (1989) mencionó que para el cultivo de maíz se espera respuesta al agregado de P hasta niveles de 15 ppm de dicho nutriente en la capa arable de suelos de textura media.

Echeverría (mencionado por Andrade et al., 1996) expresó que para obtener rendimientos de 8000 y 13000 kg/há de grano de maíz se requieren concentraciones de P en suelo superiores a 13 y 18 ppm respectivamente. El primero de los valores mencionados coincide con el referido por Mallarino y Blackmer (1992) para el estado de Iowa. Sin embargo estos valores son superiores a los hallados para la zona de Balcarce por Darwich (1983), y Echeverría y Ferrari (1993) (mencionados por Andrade et al., 1996) quienes reportaron concentraciones críticas de P en suelo de 7 a 10 ppm.

El valor promedio de P Bray 1 en el suelo a la siembra en el experimento 1 explicó la falta de respuesta en componentes de rendimiento y producción de grano al agregado de dicho nutriente, en la medida que iguala el contenido de P en suelo por encima del cual no se espera respuesta a su agregado. Llama la atención el efecto depresivo sobre la producción de grano del agregado de las primeras 40 unidades de P_2O_5 , que fue corregido por el agregado de las segundas 40 unidades.

Dado que en el experimento 3 el nivel de P en suelo a la siembra fue 7 ppm se esperó una clara respuesta al agregado del mismo debido a que dicho valor es menor al valor ya mencionado a partir del cual deja de haber respuesta (para el rango de rendimientos obtenidos). Se esperó por lo menos respuesta a 40 unidades de P_2O_5 dado que con dicho aporte más lo que había en el suelo se superaba el nivel hasta donde se espera respuesta al agregado de P.

La ausencia de respuesta obtenida en los experimentos 1 y 3 fue independiente de los tratamientos de N en la refertilización, ya que no hubo interacción P x N para la variable producción de grano.

Los reportes de falta de respuesta al agregado de P_2O_5 en suelos con bajo contenido de P son escasos. Los casos en los que no hubo respuesta en este tipo de situaciones se relacionan con otro tipo de limitantes como ser escasez de agua o problemas de enfermedades.

Labella (1976) estudió la respuesta al P bajo diferentes tipos de suelos y disponibilidades iniciales de este nutriente. En situaciones de baja disponibilidad inicial de P (menos de 10 ppm) la falta de respuesta estuvo explicada por problemas atribuibles a enfermedades y/o a la variabilidad del contenido de P en el suelo, disminuyendo esto último la confiabilidad del dato de análisis de suelo en ese caso particular.

En Argentina, Berardo et al. (1976) (citados por Carrasco, 1985) para una zona de escasez relativa de P en suelo obtuvieron rendimientos entre 668 y 1895 kg/há (16 a 20 kg de grano/kg de fósforo) para niveles entre 4 y 7.5 ppm. Más allá de 10 ppm no obtuvieron respuesta.

Algunos autores mencionan que la estratificación del P en los primeros cm del suelo bajo sistemas de siembra directa, puede limitar la producción de grano y el crecimiento de las plantas ya que esto interacciona negativamente con el uso del agua de las capas más profundas del suelo. Al respecto Mackay et al. (1987) expresaron que esta acumulación superficial del P es problemática solamente cuando ocurren déficits hídricos importantes dado que la capa superficial del suelo es la primera en secarse y disminuye la absorción del P concentrado en la misma, pudiendo existir deficiencias en el suministro de este nutriente al cultivo.

Debe tenerse en cuenta la importancia de la presencia de residuos en superficie (frecuente en sistemas de siembra directa) sobre la disminución de las pérdidas de agua del suelo (Ernst y Siri, 1995), lo cual puede atenuar los efectos adversos de déficits hídricos sobre la absorción de P desde los estratos superficiales del suelo.

La ausencia de problemas sanitarios en todo el ciclo del cultivo y de déficits hídricos en momentos estratégicos en los que se definió la producción, indican que estas variables no explicaron la falta de respuesta observada al agregado de fertilizante fosfatado.

4.3.2. Respuesta en componentes del rendimiento.

No hubo efecto de los diferentes niveles de P_2O_5 usados a la siembra sobre los componentes del rendimiento en el experimento 1. En el experimento 2 hubo diferencias ($p < 0.10$) en peso de granos entre el testigo sin agregado de P_2O_5 y el tratamiento con 80 unidades del mismo. En tanto en el experimento 3 hubo diferencias ($p < 0.10$) en el número de granos por mazorca en los tratamientos con 0 y 40 unidades de P_2O_5 a la siembra con respecto al de 80 unidades (cuadro 13).

Cuadro 13. Efecto de los niveles de P_2O_5 a la siembra sobre los componentes del rendimiento en los experimentos 1, 2 y 3.

	Unidades de P_2O_5 (siembra)	Granos/mazorca	Mazorcas/ha	Fertilidad	Peso 100 granos (g)
Experimento 1	0	402 a	73667 a	0.955 a	29.05 a
	40	367 a	73355 a	0.952 a	28.26 a
	80	405 a	75201 a	0.977 a	29.47 a
Experimento 2	0	400 a	72550 a	0.940 a	29.73 a
	40	421 a	74417 a	0.962 a	30.38 ab
	80	438 a	74700 a	0.969 a	32.62 b
Experimento 3	0	345 a	72675 a	0.960 a	29.12 a
	40	343 a	73340 a	0.970 a	28.02 a
	80	375 b	72567 a	0.960 a	28.65 a

Valores seguidos de igual letra dentro de variables y experimentos no difieren entre sí ($p < 0.10$).

En el cuadro 14 se muestra la variación de rendimiento provocada por cada componente para la situación con respuesta (experimento 2).

Cuadro 14. Incidencia de los componentes del rendimiento en la diferencia de producción de grano entre el testigo sin agregado de P_2O_5 y los tratamientos con 40 y 80 unidades de P_2O_5 a la siembra, para el experimento 2.

Unidades de P_2O_5 a la siembra	Experimento 1		Experimento 2		Experimento 3	
	Componentes del rendimiento	Rdto. en grano (kg/há) y variación (kg)	Componentes del rendimiento	Rdto. en grano (kg/há) y variación (kg)	Componentes del rendimiento	Rdto. en grano (kg/há) y variación (kg)
0		8603		8628		7301
	Mazorcas/há	----	Mazorcas/há	+222	Mazorcas/há	----
	Granos/mazorca	----	Granos/mazorca	+453	Granos/mazorca	----
	Peso 100 granos	----	Peso 100 granos	+188	Peso 100 granos	----
40		7612		9518		7049
	Mazorcas/há	----	Mazorcas/há	+36	Mazorcas/há	----
	Granos/mazorca	----	Granos/mazorca	+384	Granos/mazorca	----
	Peso 100 granos	----	Peso 100 granos	+702	Peso 100 granos	----
80		8964		10673		7796

En el experimento 2 la respuesta a las primeras 40 unidades de P_2O_5 agregadas a la siembra está explicada principalmente por los granos por mazorca y en segundo lugar por el número de mazorcas. La demanda de fotoasimilados impuesta por un mayor número de granos en el tratamiento con 40 unidades de P_2O_5 con respecto al testigo, permitió un bajo incremento en el peso de los mismos. Sin embargo esto no fue un problema en la situación del agregado de las segundas 40 unidades de P_2O_5 (tratamiento con 80 unidades a la siembra), ya que el peso de los granos aumentó ($p < 0.12$) y lo hizo simultáneamente con el incremento en el número de los mismos. El peso de granos es de determinación tardía en el ciclo del cultivo, lo cual evidencia buenas condiciones en la etapa de llenado para el tratamiento con 80 unidades de P_2O_5 a la siembra lo que se tradujo en un mayor peso de granos. El incremento en el número de granos por mazorca en respuesta al tratamiento con 80 unidades de P_2O_5 con respecto al testigo sin agregado de P_2O_5 a la siembra adoptó un valor cercano al 10 %, el cual es muy similar al valor de 12 % expresado por Fontanetto (1993) (mencionado por Andrade et al., 1996) obtenido en tratamientos con fertilización fosfatada frente al testigo sin P.

En la situación del experimento 3 (bajo contenido de P en suelo a la siembra y ausencia de respuesta a los tratamientos con agregado de P_2O_5), se analizó la evolución del P en suelo en tres momentos del cultivo para todos los tratamientos de P_2O_5 a la siembra (figura 7).

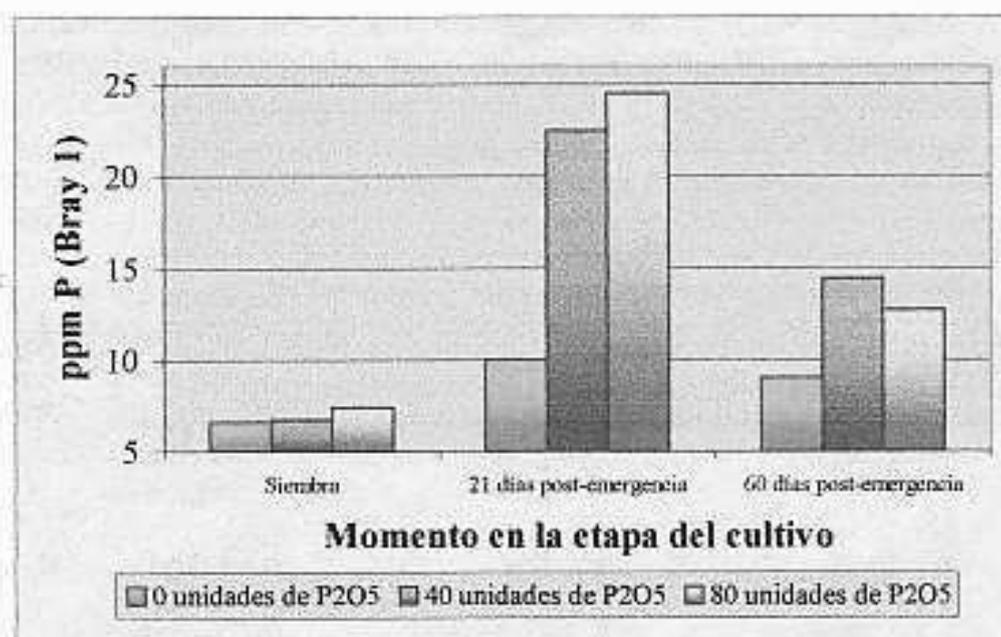


Figura 7. Evolución del contenido de P en suelo (ppm Bray 1) en tres momentos del cultivo para los tratamientos de P₂O₅ a la siembra en el experimento 3.

En la figura 7 se aprecia la capacidad de aporte de P por parte del suelo dado que el contenido de P aumentó primero y se mantuvo después en el tratamiento sin agregado de P₂O₅ a la siembra, mientras que simultáneamente hubo absorción de dicho nutriente por parte del cultivo para satisfacer la demanda impuesta por los rendimientos obtenidos. La evolución del contenido de P en suelo en los tratamientos con agregado de 40 y 80 unidades de P₂O₅ a la siembra es similar a la del testigo, pero a un nivel de valores mayores debido al agregado de P₂O₅.

La producción de grano en el testigo sin agregado de P₂O₅ fue de 7400 kg/há, lo que implica según Darwich (1993) una absorción de 21 kg de P/há entre emergencia y floración (36 kg en todo el ciclo del cultivo). En este tratamiento (sin agregado de P₂O₅) dicha cantidad de P fue aportada por el suelo, confirmando la buena capacidad de suministro de P por parte del suelo en las condiciones del experimento.

Zamalvide (1992) mencionó que si bien en el caso del P el producto resultante de la mineralización del P orgánico no tiene la alta eficiencia de uso para las plantas que tiene en el caso del N, la importancia del mismo es mayor a la que se le ha dado. Por tanto la mineralización del P orgánico aporta una cantidad de P que parcial y momentáneamente incrementa el P lábil. Este fenómeno es diferente entre suelos, probablemente por los diferentes contenidos de materia orgánica mineralizable y por la diferente capacidad de retrogradar rápidamente ese P mineral sacándolo de la fracción lábil.

Una afirmación similar a la anterior fue realizada por Bowman y Cole (1978b) y Stewart y Sharpley (1987) (mencionados por Morón, 1992). Ellos expresaron que el uso de análisis de suelos que cuantifican solamente el P inorgánico pueden subestimar el potencial de aporte de P por parte del suelo para las plantas, en la medida que no tienen en cuenta la contribución de las formas orgánicas mineralizables y las historias de manejo previo.

El aporte realizado por las formas orgánicas de P en sistemas sin laboreo se ve incrementado cuando se remueve el suelo en la zona de aplicación del fertilizante aunque este no sea aplicado (situación de los testigos sin apegado de P_2O_5 en los experimentos realizados). Dicha remoción localizada del suelo promueve la mineralización del P orgánico y el pasaje de P inorgánico desde fracciones no lábiles a las de P lábil y a la solución del suelo (Zamalvide, 1992).

Un efecto complementario al anterior sobre el aporte de P natural del suelo es el provocado por el uso de fertilizantes nitrogenados. En los experimentos realizados todos los tratamientos a la siembra incluyeron el agregado de 30 unidades de N, inclusive los testigos sin agregado de P_2O_5 . En estos se aplicó N bajo forma de urea, y según Bennet et al. (1961) el fertilizante nitrogenado por su acción acidificante en la zona de aplicación contribuye a elevar la solubilidad del P mineral del suelo, aumentando por tanto su disponibilidad para las plantas en la evaluación de P en suelo a los 21 días post-emergencia. Este efecto del N sobre la solubilidad del P mineral del suelo desaparece con el transcurso del tiempo.

4.3.3. Respuesta en parámetros de crecimiento e indicadores nutricionales.

Determinaciones del estado de desarrollo a los 6 y 22 días post-emergencia en el experimento 1, y a los 8 y 24 días post-emergencia en los experimentos 2 y 3 (en V_3 y V_6 respectivamente) indican que los mismos respondieron en forma diferencial a los tratamientos de P_2O_5 a la siembra (cuadro 15).

Cuadro 15. Influencia de los niveles de P_2O_5 usados a la siembra sobre el estado de desarrollo en dos momentos del cultivo, para los experimentos 1, 2 y 3.

Unidades de P_2O_5 a la siembra	Estado de desarrollo					
	6 días post-emergencia	8 días post-emergencia		22 días post-emergencia	24 días post-emergencia	
	Experimen- to 1	Experimen- to 2	Experimen- to 3	Experimen- to 1	Experimen- to 2	Experimen- to 3
0	3.32 A	3.41 aA	3.53 a	6.55 a	5.93 a	6.36 a
40	3.30 A	3.56 bAB	3.66 b	6.70 b	6.34 ab	6.76 b
80	3.32 A	3.47 aB	3.60 ab	6.72 b	6.79 b	6.88 c

Valores seguidos de igual letra minúscula para cada variable dentro de experimentos no difieren entre sí ($p < 0.05$).

Valores seguidos de igual letra mayúscula para cada variable dentro de experimentos no difieren entre sí ($p < 0.10$).

La existencia o ausencia de respuesta en desarrollo al agregado y a las dosis de P_2O_5 en los distintos experimentos adoptó un modelo difuso, dado que hubo situaciones en las que el agregado de P_2O_5 y/o los niveles del mismo afectaron positivamente el desarrollo del cultivo pero hubo situaciones en las cuales no ocurrió tal efecto.

En el experimento 1 donde el contenido de P en suelo a la siembra fue alto (15.4 ppm Bray 1) no hubo respuesta en desarrollo a los 6 días post-emergencia, pero sí hubo respuesta hasta el agregado de 40 unidades de P_2O_5 en la determinación del desarrollo a los 22 días post-emergencia. La falta de respuesta en la determinación del desarrollo a los 6 días post-emergencia se explicó por la baja demanda de P por parte de las plantas en el momento de la medición de este parámetro y por el elevado nivel de P en suelo al momento de la siembra.

En el experimento 2, cuyo contenido de P en suelo a la siembra fue bajo (8.6 ppm P Bray 1), hubo respuesta en desarrollo a los 8 días post-emergencia hasta el agregado de 40 unidades de P_2O_5 . A los 24 días post-emergencia la respuesta en desarrollo continuó hasta 80 unidades de P_2O_5 a la siembra.

Similar fue la respuesta en el experimento 3, el cual tuvo 7 ppm P (Bray 1) en suelo al momento de la siembra. Hubo respuesta en desarrollo a los 8 días post-emergencia hasta el agregado de 40 unidades de P_2O_5 en tanto que a los 24 días post-emergencia hubo respuesta hasta 80 unidades de P_2O_5 .

En los experimentos 2 y 3 los bajos niveles de P en suelo a la siembra determinaron que el agregado de dicho nutriente promovió el desarrollo del cultivo a los 8 días post-emergencia con respecto a los testigos sin agregado de P_2O_5 . En un suelo con baja disponibilidad de P es probable que plantas en estadios iniciales de desarrollo (V_3) (con

baja capacidad de exploración del suelo) tengan inconvenientes para satisfacer sus escasos requerimientos por este nutriente.

Fueron detectadas diferencias en las variables área foliar por planta e índice de área foliar a los 22 días post-emergencia en el experimento 1 y a los 24 días post-emergencia en los experimentos 2 y 3, para los diferentes niveles de P_2O_5 usados a la siembra (cuadro 16).

Cuadro 16. Influencia de los niveles de P_2O_5 usados a la siembra sobre el área foliar por planta e índice de área foliar en dos momentos del cultivo, en los experimentos 1, 2 y 3.

Unidades de P_2O_5 a la siembra	Área foliar/planta (cm^2 /planta)			Índice de área foliar		
	22 días post-emergencia		24 días post-emergencia	22 días post-emergencia		24 días post-emergencia
	Experimento 1	Experimento 2	Experimento 3	Experimento 1	Experimento 2	Experimento 3
0	368.6 a	324.8 a	350.5 a	0.29 a	0.25 a	0.28 a
40	457.6 c	416.9 b	426.7 b	0.37 c	0.32 b	0.33 b
80	445.0 b	453.1 b	525.4 c	0.35 b	0.36 b	0.41 c

Valores seguidos de igual letra dentro de experimentos y para cada variable no difieren entre sí ($p < 0.05$).

Las variaciones en el índice de área foliar respondieron a variaciones en el área foliar por planta.

Considerando el efecto de los tratamientos con 40 y 80 unidades de P_2O_5 a la siembra sobre el desarrollo y el área foliar por planta (cuadros 15 y 16) a los 22 y 24 días post-emergencia (experimentos 1 y 2 y 3 respectivamente), se puede afirmar que en los experimentos 1 y 3 la respuesta en área foliar por planta al agregado de P_2O_5 estuvo determinada por un mayor desarrollo de las mismas, más que por un efecto del P agregado sobre el tamaño de las hojas. En tanto, en el experimento 2 la respuesta en área foliar por planta a 40 unidades de P_2O_5 estuvo explicada por un mayor tamaño de hojas, debido a que el desarrollo de las plantas no varió entre dicho tratamiento y el testigo sin agregado de P_2O_5 .

En estadios más avanzados del cultivo se midió el índice de atenuación foliar (cuadro 17). En los experimentos 1 y 3 no hubo variación en dicho índice (a los 67 y 102 días post-emergencia y a los 69 y 104 días post-refertilización respectivamente) entre los tratamientos de P_2O_5 . En el experimento 2 hubo variación sólo a los 104 días post-emergencia, pero esta no tuvo repercusiones a nivel de producción de grano y componentes del rendimiento. Esto indica que el efecto positivo del agregado de P_2O_5 sobre el desarrollo y el área foliar por planta en las primeras etapas del cultivo

desapareció al avanzar el crecimiento del mismo. Dicho efecto estimulante del P sobre parámetros de crecimiento en los estadios iniciales de los cultivos se denomina efecto "starter" (Black, 1975).

Cuadro 17. Efecto de los tratamientos de P_2O_5 a la siembra sobre el índice de atenuación foliar en dos momentos del cultivo, en los experimentos 1, 2 y 3.

Unidades de P_2O_5 a la siembra	Índice de atenuación foliar					
	67 días post-emergencia		69 días post-emergencia		104 días post-emergencia	
	Experimento 1	Experimento 2	Experimento 3	Experimento 1	Experimento 2	Experimento 3
0	1.90 a	1.91 a	1.73 a	1.46 a	1.30 a	1.21 a
40	1.61 a	2.08 a	1.68 a	1.57 a	1.15 a	1.16 a
80	1.96 a	1.95 a	1.63 a	1.50 a	1.62 b	1.28 a

Valores seguidos de igual letra para cada variable y dentro de experimentos no difieren entre sí ($p < 0.10$).

El propio Black (1975) explicó el efecto starter por una mayor absorción de P en los estadios iniciales del cultivo (lo que estimula el crecimiento y desarrollo), por la menor disponibilidad del fertilizante aplicado con el transcurso del tiempo, y por un efecto del incremento de la temperatura del suelo al avanzar el desarrollo del cultivo lo que aumenta el aporte de P por parte del suelo.

Sin embargo la existencia de efecto starter no implicó respuesta en producción de grano, en la medida que el mayor desarrollo del cultivo en los tratamientos con agregado de P_2O_5 no estuvo asociado a una mayor producción de grano en los mismos.

La variable peso de plantas en el experimento 1 (a los 37 días post-emergencia) no respondió al agregado de P_2O_5 , siendo esta respuesta resultado del elevado contenido de P en suelo al momento de la siembra (15.4 ppm P Bray 1). En los experimentos 2 y 3 el peso de plantas (a los 39 días post-emergencia) respondió al agregado de 40 unidades de P_2O_5 pero no al de 80 unidades. Esta respuesta obtenida en los experimentos 2 y 3 se debió a que ambos tuvieron similares contenidos de P en suelo al momento de la siembra (8.6 y 7 ppm P Bray 1 respectivamente), y con el agregado de 40 unidades de P_2O_5 se alcanzó el nivel de P en suelo por encima del cual no se espera respuesta al agregado de este nutriente (cuadro 18).

Cuadro 18. Efecto de los tratamientos de P_2O_5 a la siembra sobre el peso de plantas (4) en el experimento 1 (a los 37 días post-emergencia) y en los experimentos 2 y 3 (a los 39 días post-emergencia).

Unidades de P_2O_5 la siembra	Peso de plantas (4) (g)		
	37 días post-emergencia	39 días post-emergencia	
	Experimento 1	Experimento 2	Experimento 3
0	80.50 a	59.28 a	64.03 a
40	100.82 a	82.61 b	77.74 b
80	94.66 a	79.69 b	81.19 b

Valores seguidos de igual letra dentro de experimentos no difieren entre sí ($p < 0.10$)

Los resultados obtenidos para peso de plantas permiten confirmar el efecto starter del fertilizante fosfatado sobre el crecimiento del cultivo, que fuera mencionado por Black (1975).

El menor peso de plantas obtenido en el experimento 3 con respecto al experimento 1 se explicó por un mayor impedimento mecánico en el suelo para el normal crecimiento de las plantas en el primero de los experimentos mencionados. Al respecto, Phillips y Kirkham (1960) expresaron que la compactación del suelo (cuantificada a través de una mayor densidad aparente y una mayor resistencia a la penetración) redujo el crecimiento y la producción de grano de maíz en sus experimentos.

No hubo efecto de los tratamientos con P_2O_5 a la siembra con respecto al testigo sobre la concentración de P en tejidos (cuadro 19).

Cuadro 19. Efecto de los niveles de P_2O_5 a la siembra sobre el % de P en planta (a los 37 -experimento 1- y 39 días post-emergencia - experimentos 2 y 3-) y % P foliar (a los 66 -experimento 1- y 68 días post-emergencia - experimentos 2 y 3-).

Unidades de P_2O_5 a la siembra	% de P en planta			% de P foliar		
	37 días post-emergencia	39 días post-emergencia		66 días post-emergencia	68 días post-emergencia	
	Experimento 1	Experimento 2	Experimento 3	Experimento 1	Experimento 2	Experimento 3
0	0.36 a	0.26 a	0.26 a	0.22 a	0.18 a	0.16 a
40	0.37 a	0.29 a	0.31 a	0.23 a	0.18 a	0.17 a
80	0.37 a	0.29 a	0.30 a	0.24 a	0.21 a	0.17 a

Valores seguidos de igual letra para cada variable dentro de experimentos no difieren entre sí ($p < 0.10$).

Normalmente se relaciona determinadas concentraciones de P en tejidos con un porcentaje de producción de grano respecto al potencial de un ambiente en particular. Mallarino (1996) manejó concentraciones críticas de P en planta al estadio V_6 de 0.34 %. Por otra parte el mismo autor mencionó como concentración crítica de P en la hoja de la espiga a floración, el valor 0.24 %. Estos niveles críticos fueron determinados para Iowa. Fontanetto (1993) (mencionado por Andrade et. al., 1996) determinó para la zona de Balcarce (Argentina) concentraciones críticas de P en la hoja de la mazorca de 0.24 % en floración, la cual es igual al valor mencionado por Mallarino (1996) para Iowa.

Los valores de % de P en planta presentados en el cuadro 19 corresponden a un momento de muestreo posterior a V_6 (en V_{12}), por lo que son de esperar niveles de P en planta menores a los citados en el párrafo anterior. En el caso del % de N foliar, los valores corresponden a un momento de muestreo similar al reportado en la literatura citada, por lo que son comparables.

La falta de respuesta en % de P en planta (en V_{12}) y los valores obtenidos del mismo en el experimento 1 evidencian el elevado contenido de P del suelo al momento de la siembra, ya que los valores medidos corresponden al estadio V_{12} y son iguales a los reportados por la bibliografía para el estadio V_6 . En los experimentos 2 y 3 con niveles de P en suelo considerados como bajos (8.6 y 7 ppm P Bray 1) no hubo respuesta en % de P en planta a los tratamientos con agregado de P_2O_5 , siendo los valores medidos ligeramente menores a los reportados por la bibliografía para un estadio menor (V_6).

El % de P foliar en floración en el experimento 1 no respondió al agregado de P_2O_5 y fue ligeramente inferior al valor mencionado por la bibliografía como crítico. La no respuesta a los niveles de P_2O_5 agregados en este experimento se debe al nivel de P en suelo al momento de la siembra. (15.4 ppm P Bray 1). Si se esperó una concentración de P foliar mayor a la obtenida. En los experimentos 2 y 3 tampoco hubo respuesta en esta variable al agregado de P_2O_5 . La ausencia de respuesta se dio a nivel de valores de P foliar considerados como bajos por la bibliografía y en situaciones en las que el contenido de P en suelo a la siembra fue bajo (8.6 y 7 ppm P Bray 1), por lo que no hay coincidencia en el experimento 2 entre la respuesta obtenida a los tratamientos con P_2O_5 en producción de grano y el estado nutricional del cultivo al momento de la floración.

En la figura 8 se aprecia la cantidad de P absorbido por planta al estadio V_{12} . Se observa una clara diferencia en la misma entre el experimento 1 con respecto a los experimentos 2 y 3, los cuales fueron muy similares entre sí. Estos dos experimentos tuvieron similares peso de plantas, cantidad de P absorbido a V_{12} y contenido de P foliar en floración, pero la producción de grano en el experimento 2 respondió al agregado de P_2O_5 y fue mayor a la del experimento 3 (en el experimento 2 el bajo % de P foliar en floración indicó limitantes nutricionales en el cultivo, pero las mismas no afectaron la producción de grano dados los elevados rendimientos obtenidos).

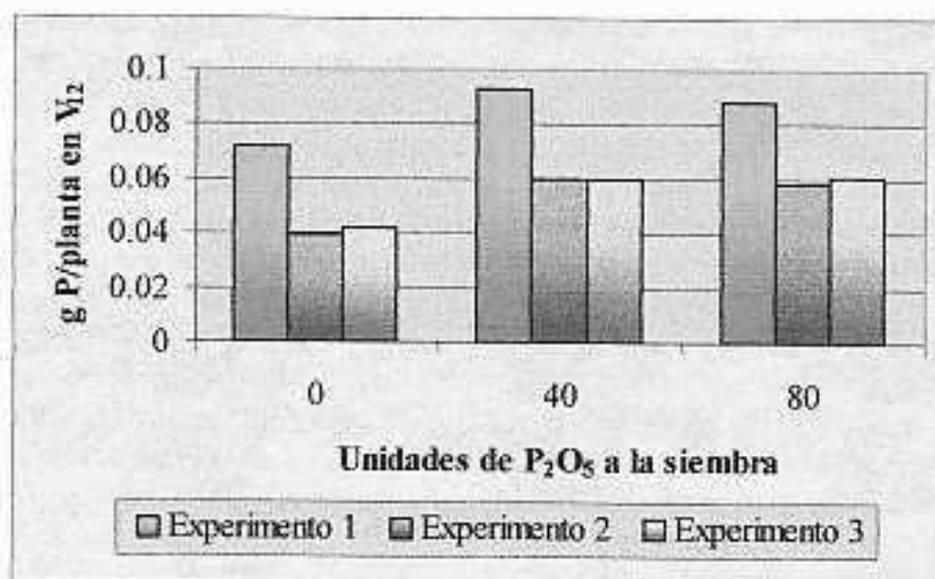


Figura 8. Absorción de P/planta (g) al estadio V₁₂ para los tratamientos de P₂O₅ a la siembra en los experimentos 1, 2 y 3 (manejo anterior del suelo en LC, LC-SD Y SD-SD respectivamente).

En el cuadro 20 se aprecia la evolución del contenido de P en el suelo en tres momentos del cultivo para los tres experimentos.

Cuadro 20. Contenido de P en suelo (ppm Bray 1) a la siembra, al estadio V₆ y 4 días pre-floración en los tratamientos con 0, 40 y 80 unidades de P₂O₅ a la siembra, en los experimentos 1, 2 y 3.

	Unidades de P ₂ O ₅ a la siembra	ppm P a la siembra	ppm P en estadio V ₆	ppm P 4 días pre-floración
Experimento 1	0	13.3 a	16.1 a	12.9 a
	40	14.8 a	33.4 b	12.9 a
	80	18.0 a	34.3 b	36.8 b
Experimento 2	0	9.0 a	11.0 a	10.1 a
	40	8.8 a	19.4 a	13.4 a
	80	8.0 a	12.2 a	18.8 a
Experimento 3	0	6.6 a	10.0 a	9.0 a
	40	6.7 a	22.5 b	14.4 a
	80	7.4 a	24.5 b	12.7 a

Valores seguidos de igual letra para cada variable dentro de experimentos no difieren entre sí ($p < 0.10$).

Únicamente los testigos sin agregado de P_2O_5 tuvieron una evolución similar en el tiempo en los 3 experimentos, con un máximo en el contenido de P del suelo en el estadio V_6 disminuyendo luego cerca de floración. Cuando se agrega P_2O_5 a la siembra la evolución no siempre es del tipo mencionado, existiendo situaciones en las que el contenido de P en el suelo es mayor cercano a floración. En los tratamientos con agregado de P_2O_5 , la disminución que ocurre en el contenido de P en suelo en etapas avanzadas del cultivo se debe a la absorción realizada por parte del cultivo así como también a la retrogradación de P desde la fracción lábil a la fijada.

La importancia de la retrogradación de P desde la fracción lábil a la fijada es mencionada por Zamalvide (1992). El mantener o enriquecer un nivel de P en el suelo mayor al equilibrio natural de P lábil por fertilización, implica que los productos que lo incrementan (por ejemplo el fertilizante agregado) tenderán nuevamente a la condición de equilibrio inicial pasando de P lábil a P fijado. Las implicancias prácticas de este fenómeno son que el mantener el suelo en altos niveles de productividad, eliminando la restricción de P para las plantas supone un costo permanente de fertilización fosfatada.

5. CONCLUSIONES

- Con un contenido de P en suelo de 15 ppm no hubo respuesta en producción de grano a la fertilización fosfatada.

- Cuando el contenido de P en suelo fue de 7 ppm, se obtuvieron resultados contrastantes. En una de las situaciones hubo respuesta a la fertilización fosfatada, mientras que en la restante la ausencia de respuesta estuvo posiblemente explicada por limitantes físicas del suelo al desarrollo vegetal.

- No hubo respuesta a la refertilización nitrogenada en V_6 cuando el contenido de $N-NO_3$ en suelo fue de 36 ppm.

- Con un contenido de $N-NO_3$ en suelo en V_6 de 22 ppm hubo respuesta en producción de grano a la refertilización nitrogenada. La ausencia de respuesta con 19.5 ppm de $N-NO_3$ en suelo se debió posiblemente a limitantes para el cultivo a nivel de propiedades físicas y/o a una buena capacidad de aporte de N por parte del suelo.

- No hubo respuesta al uso de diferentes métodos de aplicación de la urea ni a las fuentes de N usadas debido al contenido de $N-NO_3$ en suelo en V_6 junto a la ocurrencia de precipitaciones el día de la refertilización y en los días posteriores.

6. RESUMEN.

En 1996-1997 se instalaron tres experimentos de maíz sembrado sin laboreo en la Estación Experimental Mario A. Cassinoni, Facultad de Agronomía. Se evaluaron tres niveles de fertilización con P_2O_5 a la siembra (0, 40 y 80 unidades), dos niveles de N en refertilización (0 y 30 unidades), dos fuentes de N en refertilización (urea y nitrato de amonio) y dos formas de aplicación de urea en la refertilización (incorporada y al voleo en superficie). En los experimentos 1 y 2 en el tratamiento sin agregado de P_2O_5 solamente se probaron los tratamientos con 0 y 30 unidades de N (como urea incorporada) en el estadio V_6 . Hubo respuesta en producción de grano al agregado de N ($p < 0.10$) solamente en el experimento 1, siendo los granos por mazorca el componente que explicó esta respuesta; mientras que en los experimentos 2 y 3 no hubo respuesta a este factor de producción. Los indicadores del estado nutricional del cultivo en el experimento 1 (% N planta y % N foliar) respondieron de la misma forma que la producción de grano al agregado de N. El determinante de la ausencia de respuesta en los experimentos 2 y 3 fue el elevado contenido de N- NO_3 en suelo en V_6 (experimento 2) y el contenido de N- NO_3 en suelo en V_6 junto a un menor potencial productivo del ambiente en el experimento 3. Tampoco hubo diferencias entre las formas de aplicación y las fuentes de N, debido a los niveles de N- NO_3 en suelo en el estadio V_6 y a la ocurrencia de precipitaciones importantes el día de la refertilización y en los días posteriores inmediatos. Hubo respuesta en producción de grano a los tratamientos con P_2O_5 solamente en el experimento 2 ($p < 0.03$), reflejo de su bajo contenido de P en suelo al momento de la siembra (8.6 ppm). Se obtuvieron incrementos en producción de grano de 10.3 y 11.5 % para los tratamientos con 40 y 80 unidades de P_2O_5 a la siembra. La falta de respuesta en el experimento 1 se debió al elevado contenido de P en suelo al momento de la siembra (15.4 ppm P Bray 1). En el experimento 3 debido a que el contenido de P en suelo fue de 7 ppm (Bray 1), se esperó respuesta en producción de grano al menos a la primera dosis de P_2O_5 , lo cual no ocurrió. En los tres experimentos fue detectado un efecto starter a nivel de parámetros de crecimiento en respuesta al P, pero el mismo no estuvo asociado a incrementos en el rendimiento. En cuanto a indicadores del estado nutricional del cultivo, no se detectó respuesta a los tratamientos con P_2O_5 en ninguno de los 3 experimentos.

7. SUMMARY.

In 1996-1997 were installed three trials on a no-tillage maize crop, at the "Estación Experimental Mario A. Cassinoni". There were evaluated three basal P_2O_5 fertilization levels (0, 40 and 80 unities), two N-refertilization levels (0 and 30 unities), two N sources (urea and ammonium nitrate), and two application methods of urea (incorporated and broadcast applied) at the V_6 stage. There was a N response in grain production ($p < 0.10$) only in the trial 1, being the grain/ear the component explaining that response; at the same time in trials 2 and 3, there was no response to that production factor. The crop nutritional status indicators in trial 1 (N % in plant and foliar N %) showed the same response to added N as grain production. The lack of response in trials 2 and 3, was due to the high soil N- NO_3 level in V_6 (trial 2), and to the soil N- NO_3 level in V_6 plus a minor environment productive potencial in trial 3. In the same way, there were no differences between the fertilization methods and between the N sources, because of the soil N- NO_3 levels in V_6 and the occurrence of important rainfalls in the fertilization and following days. There was grain production response to the P_2O_5 treatments only in trial 2 ($p < 0.03$), because of the low P level at sowing (8.6 ppm). There were 10.3 and 11.5 % increases in grain production in the 40 and 80 P_2O_5 U sowing treatments. The no response in trial 1 was due to the high soil P level at the sowing moment (15.4 ppm P Bray 1). In trial 3, there was expected a great response in grain production (at least to the minor level) because the soil P level at the sowing was only 7 ppm, but this did not happened. In the 3 trials was detected a starter effect in response to P, but it was not associated to yield increases. About the crop nutritional status indicators, there was no response to the P_2O_5 treatments in any of the 3 trials.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. AL-KANANI, T.; MACKENZIE, A. F.; BARTHAKUR, N. N. 1991. Soil water and ammonia volatilization relationships with surface-applied nitrogen fertilizers solutions. *Soil Science Society of American Journal*. 55:1761-1766.
2. ANDRADE, F.; CIRILO, A.; UHART, S.; OTEGUI, M. 1996. *Ecofisiología del cultivo de maíz*. Balcarce, Buenos Aires. Editorial La Barrosa. 292 p.
3. ANGHINONI, I.; BARBER, S. A. 1980. Phosphorus influx and growth characteristics of corn roots as influenced by phosphorus supply. *Agronomy Journal*, 72:685-688.
4. _____; _____. 1980b. Phosphorus application rate and distribution in the soil and phosphorus uptake by corn. *Soil Science Society of American Journal*, 44:1041-1045.
5. AVNIMELECH, Y.; LAHER, M. 1977. Ammonia volatilization from soils: equilibrium considerations. *Soil Science Society of American Journal*. 41:1080-1085.
6. BAIRD, B. L.; MASON, D. D. 1957. Multi-variable equations describing fertility-corn yield response surfaces and their agronomic and economic interpretation. *Agronomy Journal* 46:152-157.
7. BANDEL, V. A.; DZIENA, S.; STANFORD, G. 1980. Comparison of N fertilizers for no-till corn. *Agronomy Journal*. 72:337-341.
8. BANDEL, V. A.; DZIENA, S.; STANFORD, G.; LEGG, J. O. 1975. N behavior under no-till vs. Conventional corn culture. I. First-year results using unlabeled N fertilizer. *Agronomy Journal*. 67:785-786.
9. BARBER, S.A. 1980. Soil-plant interactions in the phosphorus nutrition of plants. In: *The role of phosphorus in agriculture*. F. E. Khasawneh, C. E. Sample and E. J. Kamprath ed. Madison, WI, American Society of Agronomy. pp 591-615.
10. BARBER, S. A. 1984. *Soil nutrient bioavailability*. USA. John Wiley & Sons. 398 p.
11. BARRY, D. A.; MILLER, M. H. 1989. Phosphorus nutritional requirement of maize seedlings for maximum yield. *Agronomy Journal*. 81:95-99.

12. BATES, T. E. 1971. Response of corn to small amounts of fertilizer placed with the seed: summary of 22 field trials. *Agronomy Journal*. 68:369-371.
13. BEATHGEN, W. W. 1996. El nitrógeno en los sistemas agrícola-ganaderos. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Serie Técnica N° 76. pp 9-22.
14. BELCHER, C. R.; RAGLAND J. L. 1972. Phosphorus absorption by sod-planted corn (*Zea mays* L.) from surface-applied phosphorus. *Agronomy Journal*. 64:754-756.
15. BENITEZ, A; LECUONA, H. 1996. Efecto de la época de siembra, población y manejo de la fertilización nitrogenada sobre un cultivo de cebada en siembra directa. Tesis Ing. Agr. Facultad de Agronomía, Montevideo, Uruguay. 90 p.
16. BENNETT, W. F.; PESEK, J.; HANWAY, J. 1961. Effect of nitrogen on phosphorus absorption by corn. *Agronomy Journal*. 55:437-443.
17. BINFORD, G. D.; BLACKMER, A. M.; CERRATO, M. E. 1992. Nitrogen concentration of young corn plants as an indicator of nitrogen availability. *Agronomy Journal*. 84:219-223.
18. BLACK, C. A. 1975. Relaciones Suelo-Planta. Tomo II. 1ª Edición. Trad. Rabuffetti, A. Buenos Aires. Editorial Hemisferio Sur. 450 p.
19. BORDOLI, J. M. 1997. Dinámica de nutrientes y fertilización en siembra directa. In. Manejo de la fertilidad en producciones extensivas (cereales y pasturas). Cátedra de Fertilidad. Montevideo. Facultad de Agronomía. pp. 72-77.
20. CARRASCO, P.; SCHEVZOV, M. 1985. Tecnología en cultivos de verano. I. Maíz. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 228 p.
21. CHAO, T. T.; KROONTJE, W. 1964. Relationships between ammonia volatilization, ammonia concentration and water evaporation. *Soil Science Society of American Proceedings*. 56:393-396.
22. CHAUDAHRY, M. R.; PRIHAR, S. S. 1974. Comparison of banded and broadcast fertilizer applications in relation to compaction and irrigation in maize and wheat. *Agronomy Journal*. 66:560-564.
23. CIGANDA, V. 1996. Manejo de la fertilización nitrogenada en siembra directa de pasturas. Tesis Ing. Agr. Facultad de Agronomía, Montevideo, Uruguay. 70 p.

24. CLAY, D. E.; MALZER, G. L.; ANDERSON, J. L. 1990. Ammonia volatilization from urea as influenced by soil temperature, soil water content, and nitrification and hydrolysis inhibitors. *Soil Science Society of American Journal*. 54:263-266.
25. DARA, S. T.; FIXEN, P. E.; GELDERMAN, R. H. 1992. Sufficiency level and diagnosis and recommendation integrated systems approaches for evaluating the nitrogen status of corn. *Agronomy Journal* 84:1006-1010.
26. DARWICH, N. 1993. Requerimientos nutricionales del maíz. In. Congreso Nacional de Siembra Directa, (II, 1993, Huerta Grande). Agricultura de fin de siglo. Córdoba, AAPRESID. pp 196-198.
27. DEVLIN, R. M. 1970. Fisiología Vegetal, Trad. Pagés, X. L. Barcelona. Editorial Omega. 614 p.
28. DUMENIL, L. 1961. Nitrogen and phosphorus composition of corn leaves and corn yields in relation to critical levels and nutrient balance. *Soil Science Society of American Proceedings*. 53:295-298.
29. DUNCAN, W. G.; OHLROGGE, A. J. 1958. Principles of nutrient uptake from fertilizer bands. II. Root development in the band. *Agronomy Journal*. 51:605-609.
30. ECKERT, D. J.; JOHNSON, J. W. 1985. Phosphorus fertilization in no-tillage corn production. *Agronomy Journal*. 77:789-792.
31. ECKERT, D. J.; MARTIN, V. L. 1994. Yield and nitrogen requirement of no-tillage corn as influenced by cultural practices. *Agronomy Journal*. 86:119-123.
32. EGHBALL, B.; SANDER, D. H. 1989. Band spacing effects of dual-placed nitrogen and phosphorus fertilizers on corn. *Agronomy Journal*. 81:178-184.
33. EIK, K.; HANWAY, J. J. 1966. Leaf area in relation to yield of corn grain. *Agronomy Journal*. 58:16-19.
34. ENGELSTAD, O. P.; TERMAN, G. L. 1980. Agronomic effectiveness of phosphate fertilizers. In. The role of phosphorus in agriculture. F. E. Khasawneh, C. E. Sample and E. J. Kamprath ed. Madison, WI, American Society of Agronomy. pp 311-332.

35. ERNST, O.; HOFFMAN, O.; ELLIOT, E. 1992. Respuesta de cebada cervecera a manojos de suelos contrastantes. In. Reunión Nacional de Investigación de cebada, (3ª, 1992, Minas). Montevideo, Editorial Agropecuaria Hemisferio Sur. pp 81-89.
36. ERNST, J. W.; MASSEY, H. F. 1960. The effects of several factors on volatilization of ammonia formed from urea in the soil. *Soil Science Society of American Proceedings*. 52:87-90.
37. ERNST, O.; SIRI, G. 1995. Rastrojo en superficie: entre ventajas y problemas. *Revista Cangüe* N° 4:15-19.
38. FEEN, L. B.; MIYAMOTO, S. 1981. Ammonia loss and associated reactions of urea in calcareous soils. *Soil Science Society of American Journal*. 45:537-540.
39. FERGUSON, R. B.; KISSEL, D. E.; KOELLIKER, J. K.; BASEL, W. 1984. Ammonia volatilization from surface-applied urea: effect of hydrogen ion buffering capacity. *Soil Science Society of American Journal*. 48:578-582.
40. FERNANDEZ, G. 1989. Maíz. Paysandú. Facultad de Agronomía. 130 p.
41. FERNANDEZ, V. H.; LOPEZ DE SA, M. E. 1982. Determinación del nivel crítico de P a lo largo del ciclo del cultivo de maíz (*Zea Mays* L.). *Agrochimica*. XXVI:1-6.
42. FINK, R. J.; WESLEY, D. 1973. Corn yield as affected by fertilization and tillage system. *Agronomy Journal*. 64:70-72.
43. FOX, R. H.; HOFFMAN, L. D. 1981. The effect of N fertilizer source on grain yield, N uptake, soil PH, and lime requirement in no-till corn. *Agronomy Journal*. 73:891-895.
44. FOX, R. H.; KERN, J. M.; PIEKIELEK, W. P. 1986. Nitrogen fertilizer source, and method and time of application effects on no-till corn yields and nitrogen uptakes. *Agronomy Journal*. 78:741-746.
45. FOX, R. H.; PIEKIELEK, W. P.; MACNEAL, E. 1996. Estimating ammonia volatilization losses from urea fertilizers using a simplified micrometeorological sampler. *Soil Science Society of American Journal*. 60:596-601.
46. GARG, K. P.; WELCH, L. F. 1967. Growth and phosphorus uptake by corn as influenced by phosphorus placement. *Agronomy Journal*. 59:152-154.

47. GASSER, J. K. R. 1964. Urea as a fertilizer. *Soil and Fertilizer* 28:175-179.
48. GOÑI, C. 1996. El uso del análisis foliar: potencialidades y limitantes. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Serie Técnica N° 76. pp 27-32.
49. HANWAY, J. J. 1961. Corn growth and composition in relation to soil fertility: I. Growth of different plant parts and relation between leaf weight and grain yield. *Agronomy Journal*. 55:145-149.
50. _____. 1961b. Corn growth and composition in relation to soil fertility: II. Uptake of N, P and K and their distribution in different plant parts during the growing season. *Agronomy Journal*. 55:217-222.
51. HANWAY, J. J.; OLSON, R. A. 1980. Phosphate nutrition of corn, sorghum, soybeans, and small grains. In. *The role of phosphorus in agriculture*. F. E. Khasawneh, C. E. Sample and E. J. Kamprath ed. Madison, WI, American Society of Agronomy. pp 681-692.
52. HOFSTADTER, R.; ROMERO, M. G.; DURAN, P.; GARCIA, M.; BACCINO, G. 1993. *Curso de Riego y Drenaje*. Facultad de Agronomía, Montevideo. 144 p.
53. HOWARD, D. D.; TYLER, D. D. 1989. Nitrogen source, rate, and application method for no-tillage corn. *Soil Science Society of American Journal*. 53:1573-1577.
54. JUNGK, A.; BARBER A. 1974. Phosphate uptake rate of corn roots as related to the proportion of the roots exposed to phosphate. *Agronomy Journal*. 66:554-557.
55. KAMPRATH Y WATSON, 1980. Conventional soil and tissue tests for assessing the phosphorus status of soils. In. *The role of phosphorus in agriculture*. F. E. Khasawneh, C. E. Sample and E. J. Kamprath ed. Madison, WI, American Society of Agronomy. pp 433-469.
56. KETCHESON, J. W. 1980. Effect of tillage on fertilizer requirements for corn on a silt loam soil. *Agronomy Journal*. 72:540-543.
57. KISSEL, D. E.; CABRERA, M. L.; FERGUSON, R. B. 1988. Reactions of ammonia and urea hydrolysis products with soil. *Soil Science Society of American Journal*. 52:1793-1796.

58. KNOLL, H. A.; BRADY, N. C.; LATHWELL, J. 1963. Effect of soil temperature and phosphorus fertilization on the growth and phosphorus content of corn. *Agronomy Journal*. 54:145-147.
59. LABELLA, S. 1976. Manejo de maíz en secano en el noreste uruguayo. In: *Cultivos de Verano en el Noreste*. Centro de Investigaciones Alberto Boerger. Estación Experimental del Norte. Tacuarembó, Uruguay. pp 1-21.
60. LIMA, R.; MALAQUIN, I. 1991. Efecto de los factores edáficos sobre el comportamiento del cultivo de trigo. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía, 121p
61. LINSKOTT, D. L.; FOX, R. L.; LIPPS, R. C. 1962. Corn root distribution and moisture extraction in relation to nitrogen fertilization and soil properties. *Agronomy Journal*. 54:185-190.
62. LUTZ, J. A.; LILLARD, J. H. 1973. Effect of fertility treatments on the growth, chemical composition and yield of no-tillage corn on orchardgrass sod. *Agronomy Journal*. 65:733-736.
63. MACKAY, A. D.; BARBER, S. A. 1984. Soil temperature effects on root growth and phosphorus uptake by corn. *Soil Science Society of American Journal*. 48:818-823.
64. MACKAY, A. D.; KLAVIDKO, E. J.; BARBER, S. A.; GRIFFITH, D. R. 1987. Phosphorus and Potassium uptake by corn in conservation tillage systems. *Soil Science Society of American Journal*. 51:970-974.
65. MALAVOLTA, E.; PIRES, J. 1987. Nutrição e adubação do milho. In: *Melhoramento e produção do milho*. E. Paterniani y G. P. Viegas. Campinas, SP, Fundação Cargill. pp 541-590.
66. MALLARINO, A. P. 1996. Evaluation of optimum and above-optimum phosphorus supplies for corn by analysis of plant parts. *Agronomy Journal*. 88:376-380.
67. MALLARINO, A. P.; BLACKMER, A. M. 1992. Comparison of methods for determining critical concentrations of soils test phosphorus for corn. *Agronomy Journal* 84:850-856.
68. MARTINO, D. L. 1997. Siembra directa en los sistemas agrícola-ganaderos del litoral. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Serie Técnica N° 82, 28 p.

69. MCINNES, K. J.; FERGUSON, R. B.; KISSEL, D. E.; KANEMASU, E. T. 1986. Field measurements of ammonia loss from surface applications of urea solution to bare soil. *Agronomy Journal*. 78:192-196.
70. MENGEL, K.; KIRBY, E. A. 1987. Principles of plant nutrition. 4th Edition. Switzerland. International Potash Institute. 427 p.
71. MENGEL, D. B.; NELSON, D. W.; HUBER, D. M. 1982. Placement of nitrogen fertilizers for no-till and conventional till corn. *Agronomy Journal*. 74:515-518.
72. MILLER, M. H.; BATES, T. E.; SINGH, D.; BAWEJA, A. S. 1971. Response of corn to small amounts of fertilizer placed with the seed. I. Greenhouse studies. *Agronomy Journal*. 63:365-368.
73. MINISTERIO DE GANADERÍA AGRICULTURA Y PESCA. DIVISIÓN SUELOS Y AGUAS. 1976. Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay, escala 1.000.000. 1 p.
74. MORÓN, A. 1992. El fósforo en el sistema suelo-planta. *Investigaciones Agronómicas*. 1(1): 45-60.
75. MORÓN, A. 1996. El fósforo en los sistemas productivos: dinámica y disponibilidad en el suelo (I). Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Serie Técnica N° 76, pp 37-44.
76. MOSCHLER, W. W.; MARTENS, D. C. 1975. Nitrogen, phosphorus, and potassium requirements in no-tillage and conventionally tilled corn. *Soil Science Society of American Proceedings*. 39:886-892.
77. NELSON, D. W. 1982. Gaseous losses of nitrogen other than through denitrification. In: Nitrogen in agricultural soils. F. J. Stevenson ed. Madison, WI, American Society of Agronomy. pp 327-360.
78. OLARAN, G.; PIÑEYRUA, S. 1996. Efecto de la intensidad de laboreo y manejo del rastrojo en la secuencia agrícola sobre el rendimiento del trigo y las propiedades físico-químicas del suelo. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 93p.
79. OLSEN, S. R.; WATANABE, F. S.; DANIELSON, R. E. 1961. Phosphorus absorption by corn roots as affected by moisture and phosphorus concentration. *Soil Science Society of American Proceedings*. 39:289-294.

80. OVERREIN, L. N.; MOE, P. G. 1967. Factors affecting urea hydrolysis and ammonia volatilization in soil. *Soil Science Society of American Proceedings*. 31:57-61.
81. OZANNE, P. G. 1980. Phosphate nutrition of plants – A general treatise. In: *The role of phosphorus in agriculture*. F. E. Khasawneh, C. E. Sample and E. J. Kamprath ed. Madison, WI, American Society of Agronomy. pp 559-589.
82. PHILLIPS, R. E.; KIRKHAM, D. 1960. Soil compaction in the field and corn growth. *Agronomy Journal*. 39:29-34.
83. PHILLIPS, S. H.; YOUNG, H. M. 1979. *Agricultura sin laboreo. Labranza cero*. Trad. Enrique Marchesi. Montevideo, Editorial Agropecuaria Hemisferio Sur. 224 p.
84. POWELL, R. D.; WEBB, J. R. 1972. Effect of high rates of N, P, K fertilizer on corn (*Zea mays* L.) grain yields. *Agronomy Journal*. 64: 653-657.
85. POWER, J. F.; GRUNES, D. L.; REICHMAN, G. A.; WILLIS, W. O. 1964. Soil temperature effects on phosphorus availability. *Agronomy Journal*. 58:545-548.
86. RABUFFETTI, A. 1983. *Nitrógeno*. Montevideo, Facultad de Agronomía. 101 p.
87. RABUFFETTI, A. 1990. *Nutrición catiónica*. Montevideo, Facultad de Agronomía. 154 p.
88. RABUFFETTI, A.; ZAMALVIDE, J. P.; MALLARINO, A. 1987. *Fósforo*. Montevideo, Facultad de Agronomía. 106 p.
89. REHM, G. W.; RANDALL, G. W.; SCOBBI, A. J.; VETSCH, J. A. 1995. Impact of fertilizer placement and tillage system on phosphorus distribution in soil. *Soil Science Society of American Journal*. 59:1661-1665.
90. ROBERTSON, W. K.; HUTTON, C. E.; THOMPSON, L. G. 1958. Response of corn in superphosphate placement experiment. *Soil Science Society of American Proceedings*. 39:431-434.
91. ROMAGNOLI, J. C. 1994. El cultivo de maíz en siembra directa. In: *Congreso Nacional de siembra directa*. (III, 1994, Villa Giardino). Estrategias para una producción sustentable. Córdoba, AAPRESID. pp 299-317.

92. SELLES, F.; ZENTNER, R. P.; KOCHHANN, R. A.; FAGANELLO, A.; DENARDIN, J. E. 1990. Effects of tillage on the forms and distribution of P in oxisol in southern Brazil. In. Conservation tillage for subtropical areas. O'Sullivan, P. A. Passo Fundo. CNPT-EMBRAPA. pp 86-94.
93. SIMS, J. T.; VASILAS, B. L.; GARTLEY, K. L.; MILLIKEN, B.; GREEN, V. 1995. Evaluation of soil and plant nitrogen test for maize on manured soils of the atlantic coastal plain. *Agronomy Journal* 87:213-222.
94. SINGH, T. A.; THOMAS, G. T.; MOSCHLER, W. W.; MARTENS, D. C. 1966. Phosphorus uptake by corn (*Zea mays* L.) under no-tillage and conventional practices. *Agronomy Journal*. 58:147-149.
95. STECKER, J. A.; BUCHHOLZ, D. D.; HANSON, R. G.; WOLLENHAUPT, N. C.; MCVAY, K. A. 1993. Broadcast nitrogen sources for no-till continuous corn and corn following soybean. *Agronomy Journal*. 85:893-897.
96. STEVENSON, C. K.; BALDWIN, C. S. 1969. Effect of time and method of nitrogen application and source of nitrogen on the yield and nitrogen content of corn (*Zea mays* L.). *Agronomy Journal*. 61:381-384.
97. STRYKER, R. B.; GILLIAM, J. W.; JACKSON, W. A. 1974. Nonuniform phosphorus distribution in the root zone of corn: growth and phosphorus uptake. *Soil Science Society of American Proceedings*. 38:334-341.
98. TERMAN, G. L.; HUNT, C. M. 1964. Volatilization losses of nitrogen from surface-applied fertilizers, as measured by crop response. *Soil Science Society of American Proceedings*. 34:667-672.
99. TERMAN, G. L.; NOGGLE, J. C.; HUNT, C. M. 1977. Growth rate-nutrient concentration relationships during early growth of corn as affected by applied N, P, and K. *Soil Science Society of American Journal*. 41:363-368.
100. TORRES MARTIGNONI, D. A. 1996. Tecnologías en cultivos de verano: II. Maíz y Sorgo. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 147 p.
101. TOUCHTON, J. T.; HARGROVE, W. L. 1982. Nitrogen sources and methods of application for no-tillage corn production. *Agronomy Journal*. 74:823-826.
102. TRIPLETT, G. B.; VAN DOREN, D. M. 1969. Nitrogen, phosphorus, and potassium fertilization of non-tilled maize. *Agronomy Journal*. 61:637-639.

103. VOLK, G. M. 1966. Efficiency of fertilizer urea as affected by method of application, soil moisture, and lime. *Agronomy Journal*. 58:249-252.
104. VOSS, R. E.; HANWAY, J. J.; DUMENIL, L. C. 1970. Relationship between grain yield and leaf N, P, and K concentrations for corn (*Zea mays* L.) and the factors that influence this relationship. *Agronomy Journal*. 62:726-728.
105. VOSS, R. E.; HANWAY, J. J.; FULLER, W. A. 1970. Influence of soil, management, and climatic factors on the yield response by corn (*Zea mays* L.) to N, P, and K fertilizer. *Agronomy Journal*. 62:736-740.
106. WAHHAB, A.; RANDHAWA, M. S.; ALAM, S. Q. 1957. Loss of ammonia from ammonium sulphate under different conditions when applied to soils. *Soil Science Society of American Proceedings*. 84:249-256.
107. WEIL, R. R.; P. W. BENEDETTO; L. J. SIKORA; V. A. BANDEL. 1988. Influence of tillage practices on phosphorus distribution and forms in three ultisols. *Agronomy Journal*. 80:503-509.
108. WELCH, L.F.; MULVANEY, D. L.; BOONE, L. V.; MCKIBBEN, G. E.; PENDLETON, J. W. 1966. Relative efficiency of broadcast versus banded phosphorus for corn. *Agronomy Journal*. 58:283-287.
109. YOST, R. S.; KAMPRATH, E. J.; LOBATO, E.; NADERMAN, G. 1979. Phosphorus response of corn on an oxisol as influenced by rates and placement. *Soil Science Society of American Journal*. 43:338-343.
110. ZAMALVIDE, J. P. 1992. Dinámica del P en los suelos con especial referencia a la disponibilidad en rotaciones de cultivos y pasturas. *Investigaciones Agronómicas*. 1(1): 85-93.
111. ZAMALVIDE, J. P. 1996. El fósforo en los sistemas productivos: dinámica y disponibilidad en el suelo (II). Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Serie Técnica N° 76. pp 45-49.

9. APÉNDICE.

APÉNDICE I:

Etapas fenológicas del maíz (Ritchie y Hanway, 1982).

ESTADIOS VEGETATIVOS	ESTADIOS REPRODUCTIVOS
V_E – Emergencia	R_1 – Emergencia de estigmas
V_1 – Primera hoja	R_2 – Cuaje (ampolla)
V_2 – Segunda hoja	R_3 – Grano lechoso
...	R_4 – Grano Pastoso
...	R_5 – Grano dentado
...	R_6 – <i>Madurez fisiológica</i>
V_n – Enésima hoja	
V_t – Panojamiento	

APÉNDICE 2:

EXPERIMENTO 1

ANÁLISIS DE VARIANZA.

Variable dependiente: DENSIDAD APARENTE (0-10 cm) (siembra)

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	0.00381667	0.6649
R Cuadrado	CV	Media	
0.174531	8.413546	1.13000000	

Variable dependiente: DENSIDAD APARENTE (10-20 cm) (siembra)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	0.02307222	0.0666
R Cuadrado	CV	Media	
0.436447	7.399265	1.10944444	

Variable dependiente: ppm P (0-10 cm) (siembra)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	42.9216667	0.2333
R Cuadrado	CV	Media	
0.525720	30.11804	16.9500000	

Variable dependiente: ppm P (10-20 cm) (siembra)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	40.4705555	0.1991
R Cuadrado	CV	Media	
0.419189	33.86226	13.8055556	

Variable dependiente: ppm P (0-20 cm) (siembra)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	36.3316667	0.2031
R Cuadrado	CV	Media	
0.494816	29.02756	15.3666667	

Variable dependiente: ppm N-NO₃ (0-10 cm) (siembra)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	11.4950000	0.2609
R Cuadrado	CV	Media	
0.259325	32.25233	8.56666667	

Variable dependiente: ppm N-NO₃ (10-20 cm) (siembra)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	3.41055556	0.8036
R Cuadrado	CV	Media	
0.231938	43.66818	8.96111111	

Variable dependiente: ppm N-NO₃ (0-20 cm) (siembra)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	6.36722222	0.6024
R Cuadrado	CV	Media	
0.2378810	31.73401	8.75555556	

Variable dependiente: HUMEDAD DEL SUELO (16/10/96)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	5.34055556	0.2347
R Cuadrado	CV	Media	
0.447026	13.03611	13.8444444	

Variable dependiente: PLANTAS EN 3 HILERAS (18/10/96)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	2.88888889	0.3764
R Cuadrado	CV	Media	
0.316279	7.139059	23.111111	

Variable dependiente: PLANTAS EN 3 HILERAS (20/10/96)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	2.72222222	0.0842
R Cuadrado	CV	Media	
0.376623	3.805059	24.777778	

Variable dependiente: ESTADO DE DESARROLLO (23/10/96)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	0.00055556	0.9137
R Cuadrado	CV	Media	
0.250000	2.360948	3.31111111	

Variable dependiente: HUMEDAD DEL SUELO (31/10/96)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	213555556	0.7601
R Cuadrado	CV	Media	
0.055239	18.17275	15.1777778	

Variable dependiente: ppm P (0-20 cm) (5/11/96)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	632.710556	0.0430
R Cuadrado	CV	Media	
0.415493	44.30306	27.9111111	

Variable dependiente: ppm N-NO₃ (0-20 cm) (5/11/96)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	12.3288889	0.7783
R Cuadrado	CV	Media	
0.486058	30.36698	22.8555556	

Variable dependiente: HUMEDAD DEL SUELO (6/11/96)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	4.58388889	0.2583
R Cuadrado	CV	Media	
0.222789	12.04735	14.4222222	

Variable dependiente: ÁREA FOLIAR/PLANTA (cm²) (8/11/96)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	13913.73389	0.0001
R Cuadrado	CV	Media	
0.995506	1.143159	423.738889	

Variable dependiente: ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (8/11/96)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	0.01086667	0.0001
R Cuadrado	CV	Media	
0.897822	5.468001	0.33666667	

Variable dependiente: ESTADO DE DESARROLLO (8/11/96)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	0.05055556	0.0017
R Cuadrado	CV	Media	
0.835616	1.001669	6.65555556	

Variable dependiente: HUMEDAD DEL SUELO (11/11/96)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	3.36500000	0.4037
R Cuadrado	CV	Media	
0.263111	9.613612	19.28333333	

Variable dependiente: PESO DE PLANTAS (4) EN V₁₂ (g)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	651.345406	0.1274
Nitrógeno	1	44.086050	0.6905
Fósforo*Nitrógeno	2	38.043017	0.8667
R Cuadrado	CV	Media	
0.309167	17.69404	91.9927778	

Variable dependiente: % DE N EN PLANTA (V₁₂)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	0.27523889	0.4449
Nitrógeno	1	2.04200000	0.0262
Fósforo*Nitrógeno	2	0.89765000	0.0986
R Cuadrado	CV	Media	
0.535173	19.59385	2.87555556	

Variable dependiente: % DE P EN PLANTA (V₁₂)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	0.00020556	0.9445
Nitrógeno	1	0.00000556	0.9692
Fósforo*Nitrógeno	2	0.00207222	0.5757
R Cuadrado	CV	Media	
0.095900	16.30102	0.36722222	

Variable dependiente: ppm P (0-20 cm) (14/12/96)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	1143.217222	0.0293
Nitrógeno	1	97.583889	0.5340
Fósforo*Nitrógeno	2	47.637222	0.8212
R Cuadrado	CV	Media	
0.464861	74.04530	20.8277778	

Variable dependiente: ppm N-NO₃ (0-20 cm) (14/12/96)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	3.58222222	0.6778
Nitrógeno	1	0.03555556	0.9507
Fósforo*Nitrógeno	2	2.86888889	0.7310
R Cuadrado	CV	Media	
0.107865	51.88329	5.75555556	

Variable dependiente: % DE N FOLIAR (FLORACIÓN)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	0.30361667	0.1333
Nitrógeno	1	0.85805000	0.0232
Fósforo*Nitrógeno	2	0.12221667	0.4091
R Cuadrado	CV	Media	
0.529119	13.32809	2.67166667	

Variable dependiente: % DE P FOLIAR (FLORACIÓN)			
Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	0.00042222	0.8421
Nitrógeno	1	0.00002222	0.9253
Fósforo*Nitrógeno	2	0.00148889	0.5570
R Cuadrado	CV	Media	
0.116813	21.19353	0.23222222	

Variable dependiente: ÍNDICE DE ATENUACIÓN FOLIAR (23/12/96)			
Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	0.21606667	0.2063
Nitrógeno	1	0.17602222	0.2486
Fósforo*Nitrógeno	2	0.15482222	0.3099
R Cuadrado	CV	Media	
0.389890	18.97364	1.822333333	

Variable dependiente: ÍNDICE DE ATENUACIÓN FOLIAR (27/01/97)			
Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	0.01860000	0.8288
Nitrógeno	1	0.02067222	0.6535
Fósforo*Nitrógeno	2	0.05282222	0.5954
R Cuadrado	CV	Media	
0.1122590	20.65894	1.51166667	

Variable dependiente: RENDIMIENTO EN GRANO			
Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	2864648.366	0.0663
Nitrógeno	1	3350859.617	0.0678
Fósforo*Nitrógeno	2	407504.386	0.6203
R Cuadrado	CV	Media	
0.605831	10.76949	8391.33333	

Variable dependiente: GRANOS POR MAZORCA

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	2590.442218	0.2239
Nitrógeno	1	4992.794335	0.0959
Fósforo*Nitrógeno	2	579.248707	0.6895
R Cuadrado	CV	Media	
0.417760	9.919645	391.2222222	

Variable dependiente: MAZORCAS POR HÁ

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	5658197.8	0.5597
Nitrógeno	1	188339.2	0.8891
Fósforo*Nitrógeno	2	4978536.3	0.5982
R Cuadrado	CV	Media	
0.723620	4.104466	74074.0667	

Variable dependiente: FERTILIDAD

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	0.00093004	0.5386
Nitrógeno	1	0.00001585	0.9178
Fósforo*Nitrógeno	2	0.00074316	0.6066
R Cuadrado	CV	Media	
0.282648	3.921054	0.96111111	

Variable dependiente: PESO 100 GRANOS (g)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	2.24659660	0.3868
Nitrógeno	1	1.12912405	0.4854
Fósforo*Nitrógeno	2	0.26310249	0.8868
R Cuadrado	CV	Media	
0.269192	5.088694	28.9277778	

PRUEBA DE CONTRASTES

Variable dependiente: HUMEDAD DEL SUELO (11/11/96)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Tratamientos	9	1.98666667	0.6317
U. incor.-U. Voleo	1	3.41333333	0.2587
U. incor.-N. Amo.	1	3.30750000	0.2660
R Cuadrado	CV	Media	
0.261404	8.150459	19.5000000	

Variable dependiente: PESO DE PLANTAS (4) EN V₁₂ (g)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Tratamientos	9	226.208342	0.7374
U. incor.-U. Voleo	1	343.470000	0.3301
U. incor.-N. Amo.	1	663.796888	0.1805
R Cuadrado	CV	Media	
0.227976	20.68436	89.7613333	

Variable dependiente: % N EN PLANTA (V₁₂)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Tratamientos	9	0.56308185	0.0793
U. incor.-U. Voleo	1	0.52500833	0.1764
U. incor.-N. Amo.	1	0.08003333	0.5903
R Cuadrado	CV	Media	
0.486668	17.36197	2.97766667	

Variable dependiente: % DE P EN PLANTA (V₁₂)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Tratamientos	9	0.00248926	0.4841
U. incor.-U. Voleo	1	0.00083333	0.5729
U. incor.-N. Amo.	1	0.00333333	0.2652
R Cuadrado	CV	Media	
0.306321	13.4567	0.37433333	

Variable dependiente: ppm P (0-20 cm) (14/12/96)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Tratamientos	9	287.156333	0.1115
U. incor.-U. Voleo	1	3.74083333	0.8766
U. incor.-N. Amo.	1	55.9008333	0.5501
R Cuadrado	CV	Media	
0.460735	61.66564	19.9433333	

Variable dependiente: ppm N-NO₃ (0-20 cm) (14/12/96)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Tratamientos	9	2.60829630	0.9695
U. incor.-U. Voleo	1	1.84083333	0.6567
U. incor.-N. Amo.	1	2.70750000	0.5892
R Cuadrado	CV	Media	
0.115520	53.73360	5.58000000	

Variable dependiente: % DE N FOLIAR (FLORACIÓN)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Tratamientos	9	0.21244296	0.1516
U. incor.-U. Voleo	1	0.08840833	0.4086
U. incor.-N. Amo.	1	0.00013333	0.9742
R Cuadrado	CV	Media	
0.435177	13.14692	2.67933333	

Variable dependiente: % DE P FOLIAR (FLORACIÓN)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Tratamientos	9	0.00240593	0.3418
U. incor.-U. Voleo	1	0.00163333	0.3753
U. incor.-N. Amo.	1	0.00120000	0.4461
R Cuadrado	CV	Media	
0.352737	19.32314	0.23066667	

Variable dependiente: MAZORCAS POR HA

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Tratamientos	9	12905544.0	0.3735
U. incor.-U. Voleo	1	3601000.06	0.5764
U. incor.-N. Amo.	1	16150570.23	0.2434
R Cuadrado	CV	Media	
0.791437	4.464235	74777.7333	

Variable dependiente: FERTILIDAD

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Tratamientos	9	0.00224038	0.3130
U. incor.-U. Voleo	1	0.00051099	0.5964
U. incor.-N. Amo.	1	0.00257718	0.2412
R Cuadrado	CV	Media	
0.401978	4.377250	0.95866667	

Variable dependiente: PESO DE GRANOS (g)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Tratamientos	9	1.63468713	0.6380
U. incor.-U. Voleo	1	1.24224029	0.4512
U. incor.-N. Amo.	1	0.85733288	0.5304
R Cuadrado	CV	Media	
0.337852	5.032165	28.7900000	

ANÁLISIS DE REGRESIÓN

Variable dependiente: RENDIMIENTO EN GRANO

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	1	4511131.5	0.1400
Parámetro	Estimado	T para H0 Parámetro=0	Pr>F
Fósforo	- 48.1682292	- 1.53	0.1400

EXPERIMENTO 2**ANÁLISIS DE VARIANZA.**

Variable dependiente: DENSIDAD APARENTE (0-10 cm) (siembra)

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	0.01660556	0.5079
R Cuadrado	CV	Media	
0.214425	14.38557	1.05777778	

Variable dependiente: DENSIDAD APARENTE (10-20 cm) (siembra)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	0.02166667	0.3369
R Cuadrado	CV	Media	
0.325701	13.38707	1.00666667	

Variable dependiente: ppm P (0-10 cm) (siembra)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	1.21722222	0.8624
R Cuadrado	CV	Media	
0.123500	27.12433	10.5055556	

Variable dependiente: ppm P (10-20 cm) (siembra)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	5.08666667	0.5519
R Cuadrado	CV	Media	
0.123177	42.69367	6.68333333	

Variable dependiente: ppm P (0-20 cm) (siembra)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	1.72055556	0.6053
R Cuadrado	CV	Media	
0.093440	21.0591	5.58888889	

Variable dependiente: ppm N-NO ₃ (0-10 cm) (siembra)			
Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	113.5105556	0.4099
R Cuadrado	CV	Media	
0.255578	40.61137	26.75555556	
Variable dependiente: ppm N-NO ₃ (10-20 cm) (siembra)			
Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	38.59722222	0.6703
R Cuadrado	CV	Media	
0.154018	44.93702	21.49444444	
Variable dependiente: ppm N-NO ₃ (0-20 cm) (siembra)			
Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	70.01388889	0.3051
R Cuadrado	CV	Media	
0.317126	30.25600	24.13888889	
Variable dependiente: HUMEDAD DEL SUELO (16/10/96)			
Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	9.620000000	0.0532
R Cuadrado	CV	Media	
0.479359	9.677127	16.60000000	
Variable dependiente: PLANTAS EN 3 HILERAS (16/10/96)			
Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	2.722222222	0.4650
R Cuadrado	CV	Media	
0.265306	8.134493	22.44444444	
Variable dependiente: PLANTAS EN 3 HILERAS (18/10/96)			
Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	1.666666667	0.7193
R Cuadrado	CV	Media	
0.268437	7.897538	23.50000000	

Variable dependiente: PLANTAS EN 3 HILERAS (20/10/96)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	0.388888889	0.8167
R Cuadrado	CV	Media	
0.238806	5.753171	23.88888889	

Variable dependiente: PLANTAS EN 3 HILERAS (22/10/96)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	1.722222222	0.5480
R Cuadrado	CV	Media	
0.296651	7.037556	23.44444444	

Variable dependiente: ESTADO DE DESARROLLO (23/10/96)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	0.03467222	0.0034
R Cuadrado	CV	Media	
0.676764	1.738501	3.47777778	

Variable dependiente: HUMEDAD DEL SUELO (31/10/96)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	2.85722222	0.3766
R Cuadrado	CV	Media	
0.361505	10.45789	15.6944444	

Variable dependiente: ppm P (0-20 cm) (5/11/96)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	122.5688889	0.3053
R Cuadrado	CV	Media	
0.305670	68.12276	14.1888888	

Variable dependiente: ppm N-NO₃ (0-20 cm) (5/11/96)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	170.6022222	0.2213
R Cuadrado	CV	Media	
0.390448	27.60940	36.12777778	

Variable dependiente: HUMEDAD DEL SUELO (6/11/96)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	3.75055556	0.5811
R Cuadrado	CV	Media	
0.154478	14.69021	17.4888889	

Variable dependiente: ÁREA FOLIAR/PLANTA (cm²) (8/11/96)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	26273.73722	0.0002
R Cuadrado	CV	Media	
0.778777	9.506845	398.222222	

Variable dependiente: ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (8/11/96)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	0.01611517	0.0025
R Cuadrado	CV	Media	
0.679220	12.79037	0.30098333	

Variable dependiente: ESTADO DE DESARROLLO (8/11/96)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	1.10126667	0.0764
R Cuadrado	CV	Media	
0.429319	9.220230	6.35166667	

Variable dependiente: HUMEDAD DEL SUELO (11/11/96)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	2.68055556	0.3702
R Cuadrado	CV	Media	
0.284434	8.26007	19.0055556	

Variable dependiente: PESO DE PLANTAS (4) EN V₁₂ (g)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	969.237606	0.0658
Nitrógeno	1	309.258450	0.3152
Fósforo*Nitrógeno	2	23.306617	
R Cuadrado	CV	Media	
0.404468	22.71660	73.8594444	

Variable dependiente: % DE N EN PLANTA (V₁₂)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	0.22535556	0.6863
Nitrógeno	1	0.96142222	0.2223
Fósforo*Nitrógeno	2	0.00148889	0.9974
R Cuadrado	CV	Media	
0.168926	23.49274	3.24222222	

Variable dependiente: % DE P EN PLANTA (V₁₂)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	0.00162222	0.6186
Nitrógeno	1	0.00108889	0.5731
Fósforo*Nitrógeno	2	0.00175556	0.5957
R Cuadrado	CV	Media	
0.167696	20.42391	0.27888889	

Variable dependiente: ppm P (0-20 cm) (14/12/96)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	117.155000	0.3294
Nitrógeno	1	22.6688889	0.6358
Fósforo*Nitrógeno	2	17.1238889	0.8389
R Cuadrado	CV	Media	
0.201708	69.50636	14.1000000	

Variable dependiente: ppm N-NO₃ (0-20 cm) (14/12/96)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	161.7516667	0.5455
Nitrógeno	1	36.9800000	0.7093
Fósforo*Nitrógeno	2	207.3650000	0.4647
R Cuadrado	CV	Media	
0.202969	96.14064	16.5666667	

Variable dependiente: % DE N FOLIAR (FLORACIÓN)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	0.48615000	0.0913
Nitrógeno	1	0.21780000	0.2733
Fósforo*Nitrógeno	2	0.09731667	0.5702
R Cuadrado	CV	Media	
0.411169	16.59250	2.4500000	

Variable dependiente: % DE P FOLIAR (FLORACIÓN)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	0.00126667	0.4251
Nitrógeno	1	0.00500000	0.0810
Fósforo*Nitrógeno	2	0.00326667	0.1356
R Cuadrado	CV	Media	
0.459695	19.53602	0.19000000	

Variable dependiente: ÍNDICE DE ATENUACIÓN FOLIAR (23/12/96)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	0.04670556	0.5050
Nitrógeno	1	0.00020000	0.9565
Fósforo*Nitrógeno	2	0.03371667	0.6060
R Cuadrado	CV	Media	
0.172121	12.86053	1.97555556	

Variable dependiente: ÍNDICE DE ATENUACIÓN FOLIAR (27/01/97)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	0.35150556	0.0130
Nitrógeno	1	0.00722222	0.7243
Fósforo*Nitrógeno	2	0.06871667	0.3226
R Cuadrado	CV	Media	
0.561337	17.33214	1.35555556	

Variable dependiente: RENDIMIENTO EN GRANO

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	5799267.54	0.1472
Nitrógeno	1	1102720.66	0.5227
Fósforo*Nitrógeno	2	639143.90	0.7811
R Cuadrado	CV	Media	
0.331821	16.54562	9613.33333	

Variable dependiente: GRANOS POR MAZORCA

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	2177.655761	0.5330
Nitrógeno	1	2743.346180	0.3791
Fósforo*Nitrógeno	2	339.635989	0.9021
R Cuadrado	CV	Media	
0.196566	13.61401	419.829444	

Variable dependiente: MAZORCAS POR HA

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	8083924.52	0.3487
Nitrógeno	1	2840661.22	0.5361
Fósforo*Nitrógeno	2	4316033.91	0.5558
R Cuadrado	CV	Media	
0.640369	3.571131	73888.8889	

Variable dependiente: FERTILIDAD

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	0.00136577	0.2893
Nitrógeno	1	0.00037926	0.5469
Fósforo*Nitrógeno	2	0.00030592	0.7385
R Cuadrado	CV	Media	
0.712508	3.273201	0.95722222	

Variable dependiente: PESO 100 GRANOS (g)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	12.30992132	0.0600
Nitrógeno	1	0.50663297	0.7048
Fósforo*Nitrógeno	2	6.19209958	0.2033
R Cuadrado	CV	Media	
0.517730	5.922589	30.9083333	

PRUEBA DE CONTRASTES

Variable dependiente: HUMEDAD DEL SUELO (11/11/96)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Tratamientos	9	3.57185185	0.4263
U. incor.-U. Voleo	1	11.4075000	0.0797
U. incor.-N. Amo.	1	2.0833333	0.4393
R Cuadrado	CV	Media	
0.324495	9.348590	19.5666667	

Variable dependiente: PESO DE PLANTAS (4) EN V_{12} (g)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Tratamientos	9	544.530587	0.0738
U. incor.-U. Voleo	1	312.630283	0.2796
U. incor.-N. Amo.	1	147.490411	0.4542
R Cuadrado	CV	Media	
0.491865	20.15733	78.9316667	

Variable dependiente: % N EN PLANTA (V_{12})

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Tratamientos	9	0.42701667	0.4339
U. incor.-U. Voleo	1	0.27603333	0.4185
U. incor.-N. Amo.	1	1.72520833	0.0521
R Cuadrado	CV	Media	
0.322055	20.13739	3.15833333	

Variable dependiente: % DE P EN PLANTA (V ₁₂)			
Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Tratamientos	9	0.00267259	0.5380
U. incor.-U. Voleo	1	0.00003333	0.9164
U. incor.-N. Amo.	1	0.00000000	1.0000
R Cuadrado	CV	Media	
0.289846	19.20397	0.28266667	
Variable dependiente: ppm P (0-20 cm) (14/12/96)			
Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Tratamientos	9	141.343704	0.2694
U. incor.-U. Voleo	1	30.720000	0.5926
U. incor.-N. Amo.	1	185.653333	0.1963
R Cuadrado	CV	Media	
0.379758	72.62911	14.0333333	
Variable dependiente: ppm N-NO ₃ (0-20 cm) (14/12/96)			
Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Tratamientos	9	127.343667	0.7377
U. incor.-U. Voleo	1	72.2752083	0.5487
U. incor.-N. Amo.	1	247.975211	0.2718
R Cuadrado	CV	Media	
0.227869	95.57411	14.5800000	
Variable dependiente: % DE N FOLIAR (FLORACIÓN)			
Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Tratamientos	9	0.22783741	0.4811
U. incor.-U. Voleo	1	0.01470000	0.8035
U. incor.-N. Amo.	1	0.00100032	0.9480
R Cuadrado	CV	Media	
0.307236	19.0.196	2.52766667	

Variable dependiente: % DE P FOLIAR (FLORACIÓN)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Tratamientos	9	0.00359852	0.0992
U. incor.-U. Voleo	1	0.00853333	0.0430
U. incor.-N. Amo.	1	0.00213333	0.2927
R Cuadrado	CV	Media	
0.469917	22.97824	0.1860000	

Variable dependiente: ÍNDICE DE ATENUACIÓN FOLIAR (23/12/96)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Tratamientos	9	0.08106519	0.6457
U. incor.-U. Voleo	1	0.02900833	0.6056
U. incor.-N. Amo.	1	0.05200833	0.4905
R Cuadrado	CV	Media	
0.257115	16.05077	2.02266667	

Variable dependiente: ÍNDICE DE ATENUACIÓN FOLIAR (27/01/98)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Tratamientos	9	0.10518852	0.2352
U. incor.-U. Voleo	1	0.03740833	0.4818
U. incor.-N. Amo.	1	0.02803333	0.5420
R Cuadrado	CV	Media	
0.393949	20.19345	1.33633333	

Variable dependiente: RENDIMIENTO EN GRANO

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Tratamientos	9	1591048.76	0.7159
U. incor.-U. Voleo	1	955557.8206	0.5297
U. incor.-N. Amo.	1	671659.9759	0.5977
R Cuadrado	CV	Media	
0.244459	15.85642	9630.46667	

Variable dependiente: GRANOS POR MAZORCA

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Tratamientos	9	1270.41220	0.8821
U. incor.-U. Voleo	1	2449.041379	0.3571
U. incor.-N. Amo.	1	1973.992273	0.4073
R Cuadrado	CV	Media	
0.209173	12.51535	418.948000	

Variable dependiente: MAZORCAS POR HA

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Tratamientos	9	5317661.6	0.6851
U. incor.-U. Voleo	1	923643.00	0.7275
U. incor.-N. Amo.	1	663509.24	0.7676
R Cuadrado	CV	Media	
0.685096	3.693927	73555.5567	

Variable dependiente: FERTILIDAD

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Tratamientos	9	0.00088429	0.6125
U. incor.-U. Voleo	1	0.00013205	0.7317
U. incor.-N. Amo.	1	0.00005017	0.8324
R Cuadrado	CV	Media	
0.628192	3.425400	0.96400000	

Variable dependiente: PESO DE GRANOS (g)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Tratamientos	9	4.37640297	0.1886
U. incor.-U. Voleo	1	1.08081518	0.5383
U. incor.-N. Amo.	1	0.71226202	0.6168
R Cuadrado	CV	Media	
0.484073	5.316184	31.2063333	

ANÁLISIS DE REGRESIÓN

Variable dependiente: RENDIMIENTO EN GRANO

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	1	9185181.717	0.0304

Parámetro	Estimado	T para H0 Parámetro=0	Pr>F
Intercepto	8003.750000	10.62	0.0001
Fósforo	739.416667	2.28	0.0304

EXPERIMENTO 3

ANÁLISIS DE VARIANZA

Variable dependiente: DENSIDAD APARENTE (0-10 cm) (siembra)

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	0.03892965	0.2314
R Cuadrado	CV	Media	
0.281990	14.11091	1.11914286	

Variable dependiente: DENSIDAD APARENTE (10-20 cm) (siembra)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	0.00230401	0.9329
R Cuadrado	CV	Media	
0.165527	17.13808	1.06085714	

Variable dependiente: ppm P (0-10 cm) (siembra)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	1.70410256	0.6561
R Cuadrado	CV	Media	
0.344874	23.96504	8.31428571	

Variable dependiente: ppm P (10-20 cm) (siembra)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	0.67078526	0.6194
R Cuadrado	CV	Media	
0.182805	23.84290	4.91142857	

Variable dependiente: ppm P (0-20 cm) (siembra)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	2.21769231	0.6795
R Cuadrado	CV	Media	
0.296702	34.17691	6.95142857	

Variable dependiente: ppm N-NO₃ (0-10 cm) (siembra)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	30.9533494	0.4211
R Cuadrado	CV	Media	
0.358442	47.13310	12.4542857	

Variable dependiente: ppm N-NO₃ (10-20 cm) (siembra)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	41.1985256	0.2835
R Cuadrado	CV	Media	
0.286637	62.94460	8.83428571	

Variable dependiente: ppm N-NO₃ (0-20 cm) (siembra)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	26.42206731	0.2988
R Cuadrado	CV	Media	
0.252617	42.70554	10.6657143	

Variable dependiente: HUMEDAD DEL SUELO (16/10/96)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	10.74501603	0.2846
R Cuadrado	CV	Media	
0.199071	16.11990	17.6457143	

Variable dependiente: PLANTAS EN 3 HILERAS (16/10/96)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	0.18108974	0.9338
R Cuadrado	CV	Media	
0.341806	7.259679	22.3714286	

Variable dependiente: PLANTAS EN 3 HILERAS (18/10/96)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	2.27724359	0.4301
R Cuadrado	CV	Media	
0.352453	6.892739	23.4000000	

Variable dependiente: PLANTAS EN 3 HILERAS (20/10/96)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	1.02724359	0.6331
R Cuadrado	CV	Media	
0.280303	6.033400	24.6000000	

Variable dependiente: PLANTAS EN 3 HILERAS (22/10/96)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	0.49358974	0.8386
R Cuadrado	CV	Media	
0.278815	6.925746	24.0857143	

Variable dependiente: ESTADO DE DESARROLLO (23/10/96)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	0.04755256	0.0454
R Cuadrado	CV	Media	
0.520851	3.215934	3.59942857	

Variable dependiente: HUMEDAD DEL SUELO (31/10/96)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	1.04834936	0.7100
R Cuadrado	CV	Media	
0.392939	9.495347	18.2885714	

Variable dependiente: ppm P (0-20 cm) (5/11/96)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	678.822131	0.0151
R Cuadrado	CV	Media	
0.614166	60.09295	19.2800000	

Variable dependiente: ppm N-NO₃ (0-20 cm) (5/11/96)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	118.5072436	0.0901
R Cuadrado	CV	Media	
0.268538	34.44428	19.3142857	

Variable dependiente: HUMEDAD DEL SUELO (6/11/96)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	3.92493590	0.5100
R Cuadrado	CV	Media	
0.363224	12.96699	18.3485714	

Variable dependiente: ÁREA FOLIAR/PLANTA (cm²) (8/11/96)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	87351.9578	0.0001
R Cuadrado	CV	Media	
0.945908	5.757472	435.674286	

Variable dependiente: ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (8/11/96)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	0.04895401	0.0001
R Cuadrado	CV	Media	
0.853105	10.36276	0.34028571	

Variable dependiente: ESTADO DE DESARROLLO (8/11/96)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	0.83668269	0.0001
R Cuadrado	CV	Media	
0.967997	0.846385	6.67142857	

Variable dependiente: HUMEDAD DEL SUELO (11/11/96)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	1.36828526	0.6441
R Cuadrado	CV	Media	
0.280579	7.457376	23.4257143	

Variable dependiente: PESO DE PLANTAS (4) EN V₁₂ (g)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	916.120064	0.0614
Nitrógeno	3	327.828587	0.3577
Fósforo*Nitrógeno	6	48.856735	0.9827
R Cuadrado	CV	Media	
0.302269	22.73588	74.9171429	

Variable dependiente: % DE N EN PLANTA (V₁₂)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	0.33910064	0.2905
Nitrógeno	3	0.18783025	0.5487
Fósforo*Nitrógeno	6	0.13412352	0.7900
R Cuadrado	CV	Media	
0.232414	16.74340	3.04457143	

Variable dependiente: % DE P EN PLANTA (V₁₂)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	0.00645641	0.1768
Nitrógeno	3	0.00609410	0.1819
Fósforo*Nitrógeno	6	0.00088494	0.9516
R Cuadrado	CV	Media	
0.312129	20.16110	0.29142857	

Variable dependiente: ppm P (0-20 cm) (14/12/96)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	84.7898077	0.3667
Nitrógeno	3	173.6446365	0.1220
Fósforo*Nitrógeno	6	74.7629568	0.4960
R Cuadrado	CV	Media	
0.379605	73.66988	12.2085714	

Variable dependiente: ppm N-NO₃ (0-20 cm) (14/12/96)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	6.90161859	0.4513
Nitrógeno	3	6.71021262	0.5061
Fósforo*Nitrógeno	6	3.11792438	0.8891
R Cuadrado	CV	Media	
0.211449	46.03049	6.28857143	

Variable dependiente: % DE N FOLIAR (FLORACIÓN)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	0.00876692	0.9405
Nitrógeno	3	0.10716543	0.5279
Fósforo*Nitrógeno	6	0.26546519	0.1271
R Cuadrado	CV	Media	
0.373676	16.86907	2.225714289	

Variable dependiente: % DE P FOLIAR (FLORACIÓN)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	0.00064119	0.5213
Nitrógeno	3	0.00270617	0.0609
Fósforo*Nitrógeno	6	0.00155671	0.1847
R Cuadrado	CV	Media	
0.458890	18.82555	0.16428571	

Variable dependiente: ÍNDICE DE ATENUACIÓN FOLIAR (23/12/96)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	0.02627772	0.7800
Nitrógeno	3	0.02650460	0.8582
Fósforo*Nitrógeno	6	0.04709961	0.8374
R Cuadrado	CV	Media	
0.149917	19.21639	1.68342857	

Variable dependiente: ÍNDICE DE ATENUACIÓN FOLIAR (27/01/97)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	0.04463974	0.5190
Nitrógeno	3	0.01842229	0.8403
Fósforo*Nitrógeno	6	0.00435086	0.9986
R Cuadrado	CV	Media	
0.101987	21.21443	1.21228571	

Variable dependiente: RENDIMIENTO EN GRANO

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	1755901.556	0.1842
Nitrógeno	3	1587995.481	0.2060
Fósforo*Nitrógeno	6	822217.114	0.5415
R Cuadrado	CV	Media	
0.457200	13.07349	7495.57143	

Variable dependiente: GRANOS POR MAZORCA

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	3852.482875	0.0537
Nitrógeno	3	170.876686	0.9295
Fósforo*Nitrógeno	6	1247.043689	0.4021
R Cuadrado	CV	Media	
0.379138	9.570796	354.360000	

Variable dependiente: MAZORCAS POR HÁ

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	2033134.2	0.8449
Nitrógeno	3	16696770.5	0.2708
Fósforo*Nitrógeno	6	6910814.7	0.7443
R Cuadrado	CV	Media	
0.605445	40751043	72825.4000	

Variable dependiente: FERTILIDAD

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	0.00037571	0.8387
Nitrógeno	3	0.00328973	0.2291
Fósforo*Nitrógeno	6	0.00101898	0.8153
R Cuadrado	CV	Media	
0.267917	4.781876	0.96257143	

Variable dependiente: PESO 100 GRANOS (g)

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	2	2.93809898	0.2311
Nitrógeno	3	5.56689292	0.0540
Fósforo*Nitrógeno	6	1.32482997	0.6477
R Cuadrado	CV	Media	
0.410401	4.725912	28.9740000	

ANÁLISIS DE REGRESIÓN

Variable dependiente: RENDIMIENTO EN GRANO

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Pr>F
Fósforo	1	2559910.307	0.1370
Parámetro	Estimado	T para H0 Parámetro=0	Pr>F
Intercepto	6818.384328	14.25	0.0001
Fósforo	333.824627	1.52	0.1370