



Universidad de la Republica
FACULTAD DE AGRONOMIA

- I) ENSAYOS REGIONALES PARA LA EVALUACION DE LA
RESPUESTA A LA FERTILIZACION DE LA SOJA
(GLYCINE MAX (L) SOBRE LA UNIDAD DE SUELO
ALFEREZ.
- II) EVALUACION DE LA RESPUESTA A FUENTE, TIEMPO
Y METODOS DE APLICACION DE FERTILIZANTE DEL
CULTIVO DE SOJA (GLYCINE MAX (L).

por

Nicolás Bernardo BÖCKING GUTIERREZ
Gonzalo DE CASTRO SOTO
Martín GRONDONA JUNG
Gabriel Antonio RODRIGUEZ FERREIRA

T E S I S

TOMO I.

1988

Adulterante

T. 1900
V. 1

UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA
FACULTAD DE AGRONOMIA FACULTAD DE AGRONOMIA

DEPARTAMENTO DE
DOCUMENTACION Y
BIBLIOTECA

- I) ENSAYOS REGIONALES PARA LA EVALUACION DE LA RESPUESTA A LA FERTILIZACION DE LA SOJA (GLYCINE MAX (L) SOBRE LA UNIDAD DE SUELO ALFEREZ

- II) EVALUACION DE LA RESPUESTA A FUENTE, TIEMPO Y METODOS DE APLICACION DE FERTILIZANTE DEL CULTIVO DE SOJA (GLYCINE MAX(L)

por

*Nicolás Bernardo BOCKING GUTIERREZ
Gonzalo DE CASTRO SOTO
Martín GRONDONA JUNG
Gabriel Antonio RODRIGUEZ FERREIRA*

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

Montevideo
URUGUAY
1987

TOMO I

Tesis aprobada por:

Director:

Nombre completo y firma

Nombre completo y firma

Nombre completo y firma

Fecha:

Autores: Nicolás Bernardo BOCKING GUTIERREZ

Nombre completo y firma

Gonzalo DE CASTRO SOTO

Nombre completo y firma

Martín GRONDONA JUNG

Nombre completo y firma

Gabriel Antonio RODRIGUEZ FERREIRA

Nombre completo y firma

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Agr. Nicolás Chebataroff por la Dirección del presente trabajo.

A los Ings. Agrs. Néstor Saldair, Pedro Blanco y Luis Améndola por la colaboración prestada.

A la Ing. Agr. Carmen Goñi y colaboradores de la Dirección General de Suelos y Fertilizantes del M.A.P. por su ayuda en los trabajos de laboratorio.

Al personal de la Estación Experimental del Este.

A la Cátedra de Estadística por su ayuda en la materia.

Al personal encargado de la Biblioteca de la Facultad de Agronomía.

A todos aquellos que de distintas maneras contribuyeron a la realización de este trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

	<u>Página</u>
PAGINA DE APROBACION.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS Y GRAFICAS.....	XII
I. <u>INTRODUCCION</u>	1
II. <u>REVISION BIBLIOGRAFICA</u>	3
II.1. NUTRICION MINERAL.....	3
II.1.1. <u>Introducción</u>	3
II.1.2. <u>Absorción de nutrientes</u>	6
II.1.2.1. Factores que afectan la disponibilidad de nutrientes.....	6
II.1.2.2. Mecanismos de absorción.....	18
II.1.2.3. Acumulación y nivel de nutrientes absorbidos..	24
II.1.2.4. Utilización de los minerales del fertilizante.....	32
II.1.3. <u>Análisis foliar como diagnóstico de la nutrición</u>	34
II.1.3.1. Consideraciones generales.....	34
II.1.3.2. Prefloración.....	35
II.1.3.3. Floración.....	36
II.1.3.4. Llenado de vainas.....	39
II.2. NUTRICION NITROGENADA.....	41
II.2.1. <u>Absorción</u>	41
II.2.2. <u>Fijación de N</u>	43
II.2.2.1. Factores que afectan la nodulación.....	44

	<u>Página</u>
II.2.2.2. Contribución del N simbiótico.....	52
II.2.2.3. Efecto del N sobre el proceso de fijación....	56
II.2.3. <u>Períodos críticos en la nutrición nitrogenada</u>	63
II.2.4. <u>Posibilidad de respuesta al Nitrógeno y efecto de las diferentes fuentes</u>	66
II.2.4.1. Consideraciones generales.....	66
II.2.4.2. Efecto de la aplicación a la siembra.....	71
II.2.4.3. Efecto de la aplicación al momento de la formación de vainas.....	72
II.2.4.4. Efecto del N residual..	77
II.2.4.5. Efecto de distintas fuentes de N combinado.	78
II.3. NUTRICION FOSFATADA.....	79
II.3.1. <u>Factores que afectan la disponibilidad del P en el suelo</u>	80
II.3.1.1. Factores del suelo.....	80
II.3.2. <u>Absorción</u>	88
II.3.2.1. Tasas de absorción.....	92
II.3.2.2. Acumulación de P en la planta.....	95
II.3.3. <u>Rol metabólico del P en la planta</u>	100
II.3.4. <u>Períodos críticos</u>	102
II.3.5. <u>Efecto de la nutrición fosfatada sobre la nodulación</u>	105

II.3.6.	<u>Respuesta a la fertilización fosfatada</u>	107
II.3.6.1.	Efecto sobre el crecimiento.....	107
II.3.6.2.	Efecto sobre el rendimiento.....	109
II.3.6.3.	Efecto de la localización del fertilizante..	120
II.4.	NUTRICION POTASICA.....	124
II.4.1.	<u>Introducción</u>	124
II.4.2.	<u>Absorción</u>	125
II.4.3.	<u>Períodos críticos para la nutrición "K"</u>	133
II.4.4.	<u>Efecto sobre la nodulación</u>	136
II.4.5.	<u>Respuesta a la fertilización potásica</u>	137
III.	<u>MATERIALES Y METODOS</u>	142
III.1.	LOCALIZACION.....	142
III.2.	REGIMEN PLUVIOMETRICO.....	143
III.3.1.	<u>Clasificación y ubicación</u>	144
III.3.2.	<u>Análisis químico del suelo</u>	144
III.4.	HISTORIA DE LA CHACRA.....	145
III.5.	VARIEDAD.....	145
III.6.	EPOCA DE SIEMBRA.....	146
III.7.	PRACTICAS CULTURALES.....	146
III.7.1.	<u>Laboreo</u>	146
III.7.2.	<u>Inoculación</u>	147
III.7.3.	<u>Fertilización y siembra</u>	147
III.7.4.	<u>Control de malezas</u>	148
III.7.5.	<u>Tratamientos sanitarios</u>	148
III.8.	DISEÑO EXPERIMENTAL.....	148
III.8.1.	<u>Ensayos de fertilización regional</u>	148

III.8.2. <u>Ensayo de evaluación del tiempo, fuente y método de aplicación del fertilizante</u>	151
III.8.2.1. Para momento de aplicación	153
III.8.2.2. Para fuente del fertilizante fosforado ..	153
III.8.2.3. Para método de aplicación	154
III.9. MUESTREOS	155
III.9.1. <u>Muestras foliares</u>	155
III.9.2. Muestras de plantas	156
III.10. COSECHA Y TRILLA	156

TOMO II

III.11. DETERMINACIONES A NIVEL DE CAMPO	157
III.12. DETERMINACIONES A NIVEL DE LABORATORIO ...	157
IV. <u>RESULTADOS Y DISCUSION</u>	159
IV.1. ENSAYO I	159
IV.1.1. <u>Rendimiento en grano</u>	159
IV.1.2. <u>Peso de 1000 granos</u>	160
IV.1.3. <u>Número de granos por metro cuadrado</u>	161
IV.1.4. <u>Análisis de varianza de la regresión</u>	162
IV.1.4.1. Respuesta al fósforo .	163
IV.1.5. <u>Componentes del grano</u>	171
IV.1.5.1. Porcentaje de nitrógeno en el grano	171
IV.1.5.2. Porcentaje de aceite en el grano	181
IV.1.6. <u>Análisis foliar</u>	188

	<u>Página</u>
IV.1.6.1. Porcentaje de N en hoja.....	188
IV.1.6.2. Porcentaje de P en hoja.....	192
IV.1.6.3. Porcentaje de potasio en hoja.....	196
IV.1.7. <u>Características agronómicas</u>	198
IV.1.7.1. Diámetro de la corona..	198
IV.1.7.2. Número de vainas por plantas.....	203
IV.1.7.3. Altura de planta.....	207
IV.1.7.4. Materia seca de parte aérea.....	212
IV.1.7.5. Peso seco de nódulos..	217
IV.1.7.6. Inserción de la vaina.	220
IV.1.8. <u>Respuesta al nitrógeno</u>	223
IV.1.8.1. Rendimiento.....	223
IV.1.8.2. Componentes del rendimiento, peso mil granos.	223
IV.1.8.3. Porcentaje de N en el grano.....	224
IV.1.9. <u>Interacción N-P</u>	225
IV.1.10. <u>Respuesta al potasio</u>	226
IV.1.11. <u>Discusión</u>	226
IV.1.11.1. Rendimiento y sus componentes.....	226
IV.1.11.2. Composición del grano.	227
IV.1.11.3. Análisis foliar.....	230
IV.1.11.4. Características agronómicas.....	233
IV.2. ENSAYO II.....	234
IV.2.1. <u>Rendimiento</u>	234
IV.2.2. <u>Peso de mil granos</u>	235

	<u>Página</u>
IV.2.3. <u>Número de granos por metro cuadrado</u>	237
IV.2.4. <u>Componentes del grano</u>	238
IV.2.4.1. Porcentaje de aceite....	238
IV.2.4.2. Porcentaje de N en grano.....	240
IV.2.5. <u>Análisis foliar</u>	245
IV.2.5.1. Porcentaje P en la hoja.....	245
IV.2.5.2. Porcentaje K en la hoja.....	247
IV.2.5.3. Porcentaje de N en la hoja.....	249
IV.2.6. <u>Características agronómicas</u>	251
IV.2.6.1. Diámetro corona (mm)....	251
IV.2.6.2. Número de vainas por planta.....	252
IV.2.6.3. Materia Seca de parte aérea.....	254
IV.2.6.4. Peso seco de nódulos(g) /planta.....	256
IV.2.6.5. Altura de inserción de la primera vaina(cm)...	257
IV.2.6.6. N° de plantas/m.....	258
IV.2.7. <u>Discusión</u>	260
IV.2.7.1. Rendimiento y sus componentes.....	260
IV.2.7.2. Componentes del grano..	261
IV.2.7.3. Análisis foliar.....	262
IV.2.8. <u>Discusión comparativa de los Ensayos I y II</u>	164

IV.4.	ENSAYO IV.....	269
IV.4.1.	<u>Rendimiento</u>	270
IV.4.1.1.	Momento de aplica- ción.....	271
IV.4.1.2.	Fuente del fertilizan- te fosforado.....	273
IV.4.1.3.	Dosis de fósforo.....	274
IV.4.1.4.	Métodos de aplicación..	276
IV.4.1.5.	Efectos del nitrógeno..	277
IV.4.1.6.	Fuente del fertilizante nitrogenado.....	278
IV.4.2.	<u>Componentes del rendimiento</u>	278
IV.4.2.1.	Peso 1000 granos (gr)...	278
IV.4.2.2.	Número de granos/m ²	286
IV.4.3.	<u>Componentes del grano</u>	293
IV.4.3.1.	Porcentaje de aceite....	293
IV.4.3.2.	Porcentaje de proteína..	300
IV.4.4.	<u>Características agronómicas</u>	308
IV.4.4.1.	Nº de vainas/planta.....	308
IV.4.4.2.	Inserción de primera vaina.....	314
IV.4.4.3.	Altura de planta.....	321
IV.4.4.4.	Número de plantas/m....	326
IV.5.	DISCUSION.....	328
IV.5.1.	<u>Dosis de fósforo aplicado</u>	328
IV.5.1.1.	Rendimiento y sus com- ponentes.....	328
IV.5.1.2.	Componentes del grano.	329
IV.5.2.	<u>Métodos de aplicación del ferti- lizante</u>	331

	<u>Página</u>
IV.5.3. <u>Momento de aplicación del</u> <u>fertilizante</u>	332
IV.5.4. <u>Fuente del fertilizante fosforado.</u>	334
IV.5.5. <u>Efecto del nitrógeno</u>	335
IV.5.6. <u>Fuente del fertilizante nitroge-</u> <u>nado</u>	335
V. <u>CONCLUSIONES</u>	336
V.1. ENSAYOS DE FERTILIZACION REGIONAL.....	336
V.1.1. <u>Ensayo I</u>	336
V.1.2. <u>Ensayo II</u>	337
V.2. ENSAYO DE EVALUACION DE LA DOSIS, METODO, MOMENTO Y FUENTE DE FERTILIZACION APLICA- DO.....	328
V.2.1. <u>Efecto de la dosis del fertilizan-</u> <u>te fosforado aplicado</u>	338
V.2.2. <u>Efecto del método de aplicación</u> <u>del fertilizante</u>	339
V.2.3. <u>Efecto del momento de aplicación</u> <u>del fertilizante</u>	339
V.2.4. <u>Efecto de la fuente del fertili-</u> <u>zante fosforado</u>	340
V.2.5. <u>Efecto de la aplicación del fer-</u> <u>tilizante nitrogenado y de su</u> <u>fuentes</u>	340
VI. <u>APENDICE</u>	341
VI.1. ENSAYO I.....	341
VI.2. ENSAYO II.....	345
VI.3. ENSAYO IV.....	352
VII. <u>BIBLIOGRAFIA CITADA</u>	354

LISTA DE CUADROS Y GRAFICAS

<u>Cuadro N°</u>		<u>Página</u>
1	Porcentaje de nitrógeno en las distintas partes de la planta (Burton et al, 1979).....	27
2	Concentraciones de NPK en las distintas partes de la planta (Bataglia et al, 1976).....	28
3	Concentración de nutrientes en el folíolo superior maduro de la hoja excluido el pecíolo (Jones, 1966).....	36
4	Efecto del nivel de P en el suelo sobre el % de R en la planta.....	38
	Absorción porcentual de N (para una variedad de soja cuyo ciclo dura 140 días).....	43
5	Rendimiento y fijación de N por el cultivo de soja, para dos años (Bezdicek et al, 1975)....	54
6	Efecto de la fertilización N en la nodulación y fijación (Ham et al, 1975).....	59
7	Efecto de la aplicación de N y la inoculación sobre el crecimiento y nodulación a las tres semanas post-siembra (Cassman et al, 1980).....	61
8	Efecto del N sobre la nodulación y la actividad de los nódulos, medida a través de la reducción del acetileno (Trang y Giddens, 1980)....	62
9	Respuesta a la inoculación y fertilización de las variedades Bragg y Hill, datos promedio de dos ensayos (Améndola, 1976).....	70

<u>Cuadro N°</u>		<u>Página</u>
10	Influencia de la fertilización nitrogenada sobre la producción de granos de soja (Racca, 1981).....	76
11	Influencia de la dosis de N sobre el porcentaje de proteína y de materia grasa (Racca, 1981).....	76
12	Correlación de ciertos factores del suelo y la población con el rendimiento de soja, en un ensayo de campo (Kamprath y Miller, 1958).....	118
13	Registros de lluvia para el período noviembre 1985-Abril 1986 (mm).....	143
14a	Registros de lluvia para el período noviembre 1985-abril 1986 (mm).....	143
14b	Registros de lluvia para el período noviembre 1985-abril 1986 (mm).....	144
15	Análisis químico de suelos.....	145
16	Localidad, fecha de fertilización y fecha de siembra. Ensayos I, II, III y IV.....	146
17	Tratamientos realizados en los ensayos I, II y III.....	149
18	Diseño usado en el ensayo I.....	149
19	Tratamientos realizados en el ensayo IV.....	152
20	Rendimientos para cada tratamiento, promedio y expresado como porcentaje respecto al testigo (kg/ha).....	159
21	Análisis de varianza para rendimiento en grano...	160
22	Peso de 1000 granos (gramos) para los distintos tratamientos.....	160

<u>Cuadro N°</u>	<u>Página</u>
23	Análisis de varianza para peso de 1000 granos..... 161
24	Número de granos/m ² para los distintos tratamientos..... 161
25	Análisis de varianza para el número de granos por metro cuadrado..... 162
26	Respuesta en rendimiento al agregado de dosis crecientes de fósforo..... 163
27	Contrastes ortogonales para las funciones lineal, cuadrática, cúbica y cuártica; para la respuesta al fósforo..... 164
28	Respuesta de peso de 1000 granos a 5 dosis crecientes de fósforo..... 166
29	Contrastes ortogonales para las funciones lineal, cuadrática, cúbica y cuártica, para la respuesta al fósforo en peso de 1000 granos..... 166
30	Contrastes ortogonales para las funciones lineal, cuadrática, cúbica y cuártica, para la respuesta al fósforo en número de granos por metro cuadrado..... 168
31	Resultados para porcentaje de N en el grano..... 172
32	Análisis de varianza para el porcentaje de nitrógeno en el grano..... 172
33	Contrastes ortogonales para las funciones lineal, cuadrática, cúbica y cuártica, para la respuesta al fósforo agregado en % de N en el grano..... 173

Cuadro N°Página

34	Porcentaje de proteína en el grano para los distintos tratamientos.....	175
35	Resultados obtenidos para la variable kg de proteína por hectárea.....	176
36	Análisis de varianza para la variable kg de proteína por hectárea.....	176
37	Contrastes ortogonales para las funciones lineal, cuadrática, cúbica y cuártica, para la respuesta al fósforo en kg de proteína por hectárea.....	177
38	Porcentaje de aceite en grano.....	182
39	Análisis de varianza para el porcentaje de aceite en grano.....	182
40	Contrastes ortogonales de tendencia lineal, cuadrática, cúbica y cuártica para la respuesta en porcentaje de aceite al agregado de P...	183
41	Kg de aceite/ha.....	185
42	Análisis de varianza para aceite/ha.....	185
43	Contrastes ortogonales para las funciones lineal, cuadrática, cúbica y cuártica, para la respuesta al fósforo en kg de aceite/ha.....	186
44	Porcentaje de nitrógeno en hoja.....	188
45	Análisis de varianza para / de N en hoja.....	189
46	Contrastes ortogonales para las funciones lineal, cuadrática, cúbica y cuártica, para la respuesta al P en % N en hoja.....	189

<u>Cuadro N°</u>		<u>Página</u>
47	Análisis foliar, porcentaje de P en hoja.....	192
48	Análisis de varianza para % de P en hoja.....	192
49	Contrastes ortogonales para las funciones li- neal, cuadrática, cúbica y cuártica, para la respuesta al fósforo en % de P en hoja.....	193
50	Resultados para % de K en hoja.....	196
51	Análisis de varianza para % K en hoja.....	196
52	Contrastes ortogonales para las funciones li- neal, cuadrática, cúbica y cuártica, para la respuesta al fósforo en porcentaje K en hoja...	197
53	Resultados para diámetro de la corona (mm).....	199
54	Análisis de varianza para diámetro de la co- rona.....	199
55	Contrastes ortogonales para las funciones li- neal, cuadrática, cúbica y cuártica, para la respuesta a fósforo en diámetro de la corona...	200
56	Resultados obtenidos por número de vainas por planta.....	204
57	Análisis de varianza para número de vainas por planta.....	204
58	Contrastes ortogonales para las funciones li- neal, cuadrática, cúbica y cuártica para la respuesta al fósforo en número de vainas por planta.....	205
59	Resultados para altura de planta (cm).....	207
60	Análisis de varianza para altura de planta....	208

<u>Cuadro N°</u>		<u>Página</u>
61	Contrastes ortogonales para las funciones lineal, cuadrática, cúbica y cuártica para la respuesta al fósforo en altura de plantas...	208
62	Materia Seca de parte aérea para los distintos tratamientos (grs).....	212
63	Análisis de varianza para materia seca de parte aérea por planta.....	212
64	Contrastes ortogonales para las funciones lineal, cuadrática, cúbica y cuártica, para la respuesta al fósforo en materia seca/planta...	213
65	Resultados para peso seco de nódulos (gr).....	217
66	Análisis de varianza para peso seco de nódulos/planta.....	217
67	Contrastes ortogonales para las funciones lineal, cuadrática, cúbica y cuártica, para la respuesta al P en peso seco de nódulos/planta.....	218
68	Resultados para inserción de la vaina (cm)...	220
69	Análisis de varianza para inserción de la vaina.....	220
70	Rendimiento obtenido para 3 dosis de N y 2 de P.....	223
71	Resultado de peso de mil granos para 3 dosis de N y 2 de P.....	223
72	Resultados para % N en grano con 3 niveles de N y 2 de P.....	224

Cuadro N°Página

73	Contrastes ortogonales para las funciones lineal y cuadrática para la respuesta al N en % en grano.....	224
74	Contrastes ortogonales para las funciones lineal N - Lineal P y cuadrática N - Lineal P, para la respuesta al N y P en % N en grano...	225
75	Rendimiento (kg/ha) para los distintos tratamientos.....	234
76	Análisis de varianza para rendimiento en grano.....	235
77	Contrastes ortogonales para las funciones lineal, cuadrática, cúbica y cuártica, para la respuesta al P en rendimiento.....	235
78	Resultados para peso de mil granos (gr).....	236
79	Análisis de varianza para peso de mil granos...	236
80	Contrastes ortogonales para peso de mil granos.	237
81	Resultados para número de granos por metro cuadrado para los distintos tratamientos.....	237
82	Análisis de varianza para número de granos por metro cuadrado.....	238
83	Resultados para % de aceite en el grano.....	238
84	Análisis de varianza para % de aceite en el grano.....	239
85	Contrastes ortogonales para las funciones lineal, cuadrática, cúbica y cuártica para la respuesta al P en % aceite en el grano.....	239

<u>Cuadro. N°</u>		<u>Página</u>
86	Resultados obtenidos para kg de aceite/ha.....	240
87	Anava para kg de aceite/ha.....	240
88	Resultados para % N en grano.....	241
89	ANAVA para % N en grano.....	241
90	Contrastes ortogonales para la respuesta al P en % N en el grano.....	242
91	Valores promedios obtenidos para % de proteína..	243
92	Resultados para kg de proteína por ha.....	242
93	ANAVA para kg de proteína por ha.....	244
94	Resultados obtenidos para % P foliar.....	245
95	ANAVA para % P foliar.....	245
96	Contrastes ortogonales para las funciones li- neal, cuadrática, cúbica y cuártica, para la respuesta al P en % P foliar.....	246
97	Resultados para % K en hoja.....	247
98	ANAVA para % de K en hoja.....	247
99	Contrastes ortogonales para las funciones li- neal, cuadrática, cúbica y cuártica para la respuesta al P en % K foliar.....	248
100	Resultados para % N foliar.....	249
101	ANAVA para % N foliar.....	250
102	Contrastes ortogonales para la respuesta al P en % N foliar.....	250
103	Resultados para diámetro de la corona (mm)....	251

<u>Cuadro N°</u>		<u>Página</u>
104	ANAVA para diámetro de la corona (mm).....	251
105	Contrastes ortogonales para la respuesta al P en diámetro de la corona.....	252
106	Resultados para la variable número de vainas/ planta.....	252
107	ANAVA para número de vainas/planta.....	253
108	Contrastes ortogonales para la respuesta al P en número de vainas/planta.....	253
109	Resultados para materia seca de parte aérea....	254
110	ANAVA para materia seca de parte aérea.....	254
111	Contrastes ortogonales para la respuesta al P en Materia SEca de parte aérea.....	255
112	Resultados para peso seco de nódulos (gr).....	256
113	ANAVA para peso seco de nódulos.....	256
114	Contrastes ortogonales para la respuesta al P en peso seco de nódulos/planta.....	257
115	Resultados para altura de inserción de la pri- mera vaina (cm).....	257
116	ANAVA para altura de inserción de la primera vainas	258
117	Contrastes ortogonales para respuesta al fós- foro en altura de inserción de la la. vaina...	258
118	Resultados para N° plantas/m.....	259
119	ANAVA para N° plantas/m.....	259
120	Contrastes de tendencias para N° plantas/m.....	260

<u>Cuadro N°</u>		<u>Página</u>
121	Comparación de las variables analizadas en los ensayos I y II.....	265
121a.	Tratamientos realizados en el ensayo IV.....	269
122	Resultados para rendimiento en grano (kg/ha)...	270
123	ANAVA para rendimiento en grano.....	271
124	Contrastes ortogonales establecidos a priori para rendimiento y momento de aplicación del fertilizante.....	271
125	Contrastes ortogonales establecidos a priori para rendimiento y fuente del fertilizante fosfatado.....	273
126	Contrastes ortogonales establecidos a priori para rendimiento y fuente de fósforo con nitrógeno.....	273
127	Contrastes ortogonales para rendimiento y dosis de P.....	274
128	Contrastes ortogonales establecidos a priori para rendimiento y dosis de P.....	275
129	Contrastes ortogonales establecidos a priori para rendimiento y métodos de aplicación.....	277
130	Resultados para peso de 1000 granos (gr).....	278
131	ANAVA para peso de 1000 granos (gr).....	279
132	Contrastes ortogonales para peso de 1000 granos y momento de aplicación del fertilizante..	280
133	Contrastes ortogonales para peso de 1000 granos y fuente de P.....	280
134	Contrastes ortogonales para peso de 1000 granos y fuente de P con N.....	281
135	Contrastes ortogonales para la variable peso de 1000 granos y dosis de P.....	282

Cuadro N°Página

136	Contrastes ortogonales preestablecidos para peso de 1000 granos y método de aplicación....	284
137	Resultados obtenidos para la variable número de granos/m ²	286
138	ANAVA para n° granos/m ²	287
139	Contrastes ortogonales establecidos a priori para n° granos/m ² y momento de aplicación del fertilizante fosforado.....	287
140	Contrastes ortogonales para N° de grano/m ² entre distintas fuentes de fósforo.....	289
141	Contrastes ortogonales para n° de grano/m ² entre distintas fuentes de fósforo con aplicación de N.....	289
142	Contrastes ortogonales para N° de grano/m ² entre distintas dosis de fósforo.....	291
143	Contrastes ortogonales para n° de granos/m ² entre diferentes métodos de aplicación del fertilizante.....	292
144	Resultados obtenidos para la variable kg de aceite/ha.....	294
145	ANAVA para kg de aceite/ha.....	295
146	Contrastes ortogonales para kg de aceite/ha entre 2 momentos de aplicación del fertilizante.....	295
147	Contrastes ortogonales para kg de aceite/ha entre distintas fuentes de P sin N.....	296

<u>Cuadro N°</u>		<u>Página</u>
148	Contrastes ortogonales para kg de aceite/ha entre distintas fuentes de P con N.....	297
149	Contrastes ortogonales para kg de aceite/ha entre distintas dosis de P.....	298
150	Contrastes ortogonales para kg de aceite/ha entre distintas formas de aplicar el fertilizante.....	299
151	Resultados obtenidos para kg de proteína/ha....	302
152	ANAVA para kg de proteína/ha.....	302
153	Contrastes ortogonales para kg de proteína/ha entre 2 momentos de aplicación.....	303
154	Contrastes ortogonales para kg de proteína/ha entre 2 fuentes de P.....	304
155	Contrastes ortogonales para kg de proteína/ha entre 2 fuentes de P con N combinado.....	304
156	Contrastes ortogonales para kg de proteínas/ha entre distintas dosis de P.....	305
157	Contrastes ortogonales para kg proteína/ha entre dos formas de aplicar el fertilizante.....	306
158	Resultados obtenidos para número de vainas/planta.....	308
159	ANAVA para n° vainas/planta.....	309
160	Contrastes ortogonales para n° de vainas/planta entre distintos momentos de aplicación del fertilizante.....	409
161	Contrastes ortogonales para N° de vainas/planta entre 2 fuentes de fósforo.....	310

Cuadro N°Página

162	Contrastes ortogonales para número de vainas por planta entre dos fuentes de P en presencia de N combinado.....	311
163	Contrastes ortogonales para número de vainas por planta entre 50 y 100 unidades de P por ha.....	312
164	Contrastes ortogonales para número de vainas por planta entre dos métodos de localización del fertilizante.....	312
165	Resultados de altura de inserción de la. vaina (cm).....	315
166	ANAVA para altura de inserción de la. vaina...	316
167	Contrastes ortogonales para altura de inserción de la. vaina entre 2 momentos de fertilización.	316
168	Contrastes ortogonales para altura de inserción de la. vaina entre distintas fuentes de P.....	317
169	Contrastes ortogonales para altura de inserción de la. vaina entre distintas fuentes de P con N combinado.....	318
170	Contrastes ortogonales para altura de inserción de la. vaina entre 50 y 100 unidades de P/ha.....	319
171	Contrastes ortogonales para altura de la. vaina entre 2 formas diferentes de localizar el fertilizante.....	319
172	Resultados obtenidos para altura de planta....	321
173	ANAVA para altura de planta.....	322

<u>Cuadro N°</u>		<u>Página</u>
174	Contrastes ortogonales para altura de planta entre 2 momentos de fertilización.....	322
175	Contrastes ortogonales para altura de planta entre distintas fuentes de fósforo.....	323
176	Contrastes ortogonales para altura de planta entre 2 dosis de P.....	324
177	Contrastes ortogonales para altura de planta entre dos métodos de aplicación del fertilizante.....	325
178	Resultados obtenidos para número de plantas por metro.....	326
179	ANAVA para número de plantas por metro.....	327

Gráfica N°

1	Acumulación de N en las distintas partes de la planta hacia el final del ciclo del cultivo.....	26
2	Acumulación relativa de N,P y K en las diferentes partes de la planta durante la estación de crecimiento.....	30
3	Respuesta de rendimiento de soja nodulada y no nodulada en la aplicación de N (Weber, 1966).....	67
4		
5	Respuesta en rendimiento al agregado de dosis crecientes de fósforo.....	164

<u>Gráfica N°</u>	<u>Página</u>
6 Respuesta en peso de 1000 granos al agregado de dosis crecientes de fósforo.....	167
7 Respuesta al agregado de fósforo en número de granos por metro cuadrado.....	169
8 Respuesta en porcentaje de N en el grano al agregado de 5 dosis de fósforo.....	173
9 Respuesta al agregado de 5 dosis de fósforo en kg de proteína por hectárea.....	178
10 Recta de regresión entre % de N en grano y % de P en la hoja.....	180
11 Recta de regresión entre % de N en grano y % de N en hoja.....	181
12 Respuesta del porcentaje de aceite al agregado de P.....	184
13 Respuesta en kg de aceite/ha para 5 niveles de fósforo aplicados.....	187
14 Respuesta en porcentaje de N en hoja al agregado de 5 dosis crecientes de P.....	190
15 Recta de regresión entre % de N en hoja y rendimiento en grano.....	191
16 Respuesta al agregado de P en % de P en hoja..	193
17 Recta de regresión entre % de P en hoja con rendimiento en grano.....	195
18 Respuesta en porcentaje de K en soja al agregado de dosis crecientes de P.....	198

Gráfica N°Página

19	Respuesta en diámetro de la corona a la fertilización con 5 dosis de fósforo.....	201
20	Recta de regresión entre % de P en hoja y diámetro de la corona.....	202
21	Recta de regresión entre % de N en hoja y diámetro de la corona.....	203
22	Respuesta al agregado de fósforo en número de vainas por planta.....	206
23	Recta de regresión entre rendimiento y número de vainas por planta.....	206
24	Respuesta en altura de planta a la fertilización fosfatada.....	209
25	Recta de regresión entre altura de planta y rendimiento.....	210
26	Recta de regresión entre altura de planta y porcentaje de N foliar.....	211
27	Recta de regresión entre altura de planta y porcentaje P foliar.....	211
28	Respuesta en gr de materia seca/planta al agregado de 5 dosis de P_2O_5 /ha.....	214
29	Recta de regresión entre materia seca/planta y diámetro de la corona.....	214
30	Recta de regresión entre materia seca/planta y altura de planta.....	215
31	Recta de regresión entre materia seca/planta con % P foliar.....	215

<u>Gráfica N°</u>	<u>Página</u>
32 Recta de regresión entre materia seca/planta y % de N foliar.....	216
33 Recta de regresión entre materia seca/planta y peso seco de nódulos/planta.....	216
34 Recta de regresión entre peso seco de nódulos por planta y % N foliar.....	219
35 Recta de regresión entre peso seco de nódulos por planta y % aceite en el grano.....	219
36 Respuesta de inserción de la vaina al agregado de P.....	221
37 Recta de regresión entre inserción de la vaina y altura de la planta.....	222
38 Efecto de la interacción N-P en el % de N en grano.....	225
39 Recta de regresión entre rendimiento y % aceite en grano.....	228
40 Respuesta en % N en el grano para 5 niveles de fertilización fosfatada.....	242
41 Respuesta en % K foliar para 5 niveles de fósforo.....	248
42 Respuesta en rendimiento al agregado de P para dos suelos similares de la unidad Alférez.....	267
43 Respuesta en rendimiento (tt/ha) al agregado de P.....	276
44 Respuesta en rendimiento al agregado de fósforo para dos momentos de fertilización: siembra y 30 días antes de la siembra.....	333

I. INTRODUCCION

La zona Este del país que abarca los departamentos de Treinta y Tres, Rocha, Cerro Largo y norte de Lavalleja, ha sido en los últimos años la más importante en cuanto al área de siembra del cultivo de soja (*Glycine max* (L.) Merrill).

En la zafra 1985-1986 el 60% del área nacional sembrada con soja, situada en alrededor de 25000 ha, correspondió a esta región. Para la zafra 1986-1987 las perspectivas de plantación son alentadoras, debido fundamentalmente a los buenos precios obtenidos por los productores y al convenio firmado con la República de China que prevee la compra de la totalidad de la producción nacional, estimándose un aumento del área de siembra de alrededor del 50%.

Este aumento en el área de siembra ha provocado que nuevas tierras se incorporen al cultivo de soja, encontrándose distintos tipos de suelos y situaciones, por lo cual la respuesta a la fertilización es variable.

La nutrición mineral de la especie, la necesidad de la fertilización, la capacidad de conversión de los fertilizantes en grano y la influencia de los distintos nutrientes en el crecimiento y desarrollo, son factores que inciden, entre otros, en el rendimiento final.

Como la información acumulada por la Estación Experimental Agropecuaria del Este sobre respuesta a la fertilización y su manejo es insuficiente en dicha zona, es necesario disponer de información complementaria sobre la respuesta a dichos factores para determinar las recomendaciones necesarias a la producción, pro

poniendo un uso racional de éste insumo. Paralelamente se comenzaron a calibrar métodos de análisis de suelo y foliar para la predicción de la fertilización necesaria.

Los objetivos de este trabajo son:

- a) Determinar la respuesta de la soja a la fertilización en la Unidad Alféres de acuerdo al uso anterior del suelo,
- b) Determinar la respuesta a fuente de fósforo, tiempo y método de aplicación del fertilizante en la Unidad de suelo Vergara.

II. REVISION BIBLIOGRAFICA

II.1. NUTRICION MINERAL

II.1.1. Introducción

De acuerdo a lo expresado por Tisdale y Nelson (1966) las plantas absorben elementos minerales de las proximidades de las raíces de una forma indiscriminada; pero la presencia en la planta de algún elemento particular no constituye una prueba de que este elemento sea esencial para su desarrollo.

Arnon citado por Tisdale y Nelson (1966) estableció las siguientes pautas sobre esencialidad:

- 1°) una deficiencia del elemento hace imposible para la planta completar el estadio vegetativo o reproductivo de su vida.
- 2°) los síntomas de deficiencia de los elementos en cuestión pueden ser prevenidos o corregidos sólo mediante el suministro del elemento.
- 3°) el elemento está directamente involucrado en el metabolismo de la planta.

Elementos esenciales en la nutrición de las plantas.

1. *Nitrógeno.* El nitrógeno tiene vital importancia para la nutrición de las plantas y su suministro puede ser controlado por el hombre. Este elemento para ser absorbido por la mayoría de las plantas (excepto leguminosas) debe estar en forma distinta a la de nitrógeno elemental. Las formas comúnmen

te asimiladas son iones nitrato (NO_3^-) y amonio (NH_4^+).

Indiferentemente de la forma del N absorbido, este es transformado en el interior de las plantas a las formas $-\text{N} =$, $-\text{NH} - \text{O}$ $-\text{NH}_2$. Este nitrógeno reducido es elaborado en compuestos más complejos y finalmente transformado en proteína. La mayoría de estas proteínas son enzimas; otras son nucleoproteínas, algunas de las cuales están presentes en los cromosomas. En tales compuestos, las proteínas sirven como catalizadores y directores del metabolismo.

Además de su papel en la formación de proteínas, el N es parte integral de la molécula de clorofila.

Un adecuado suministro de N está asociado con vigorosos crecimientos vegetativos y un intenso color verde; cantidades excesivas de N pueden, bajo ciertas condiciones, prolongar el período de crecimiento y retrasar la madurez.

Cuando las plantas soportan deficiencia de N se vuelven raquílicas y amarillas. Este amarillamiento o clorosis aparece primero en las hojas inferiores, las superiores permanecen verdes.

2. *Fósforo*. El fósforo con el nitrógeno y el potasio se clasifica como un elemento nutritivo mayor. Sin embargo en las plantas se encuentra en menor cantidad que el N y K. Se considera generalmente que las plantas absorben la mayoría de este P en forma de ión primario ortofosfato (H_2PO_4^-).

Se ha mencionado al P como constituyente del ácido nucleico, fitina y fosfolípidos. Un adecuado suministro en las primeras etapas de la vida de la planta es importante en el retraso del crecimiento de las partes reproductivas. El fósforo también se ha asociado con la pronta madurez de los cultivos; y su caren

cia es acompañada por una marcada reducción del crecimiento de la planta. Se le considera esencial en la formación de semillas y se encuentra en grandes cantidades en semillas y frutos.

Los compuestos como AMP, ADP y ATP (adenosin mono, di y trifosfato) y otros orgánico-fosforados son los responsables en una u otra forma de la mayoría de los cambios de energía en el proceso de vida aeróbica y anaeróbica, tanto de las plantas como animales. Se ha demostrado que estos compuestos fosfóricos son esenciales para la fotosíntesis, la interconexión de hidratos de carbono y compuestos afines, glicólisis, metabolismo de aminoácidos, metabolismo de las grasas, metabolismo del azufre, oxidaciones biológicas y muchos otros procesos de los seres vivos.

El P es en efecto un elemento esencial y constituyente de transferencia de energía tan vitales para la vida y el crecimiento.

3. *Potasio*. El tercero de los elementos llamados mayores, requerido para el crecimiento de las plantas es el potasio. Es absorbido como ión K^+ y se encuentra en los suelos en cantidades variables. Las necesidades de las plantas de este elemento son más bien altas.

El K es un elemento móvil que se traslada a los jóvenes tejidos meristemáticos cuando ocurre alguna deficiencia, por lo que los síntomas de deficiencia aparecen al principio en las hojas más bajas de las plantas anuales, progresando hacia la parte superior a medida que se incrementa la gravedad de la deficiencia.

A diferencia de los elementos anteriores el K no forma una parte integral de los componentes de las plantas tales como protoplasma, grasa y celulosa. Su función es más bien de naturaleza catalítica. A pesar de esto es imprescindible para las siguientes

funciones fisiológicas:

- a) metabolismo de los hidratos de carbono o formación y transformación del almidón,
- b) metabolismo del N y síntesis de proteína,
- c) control y regulación de las actividades de varios elementos minerales esenciales,
- d) activación de varias encimas,
- e) promoción del crecimiento de los tejidos meristemáticos,
- f) ajustes de la apertura de los estomas y relaciones con el agua.

II.1.2. Absorción de nutrientes

II.1.2.1. *Factores que afectan la disponibilidad de nutrientes.*

II.1.2.1.1. *Composición granulométrica o textura.* Según C.A.Black (1967), la composición granulométrica o textura es una característica que está relacionada con la disponibilidad de nutrientes para la planta. Los minerales del suelo se dan como partículas separadas y no se le conoce más efecto directo que el de la textura.

El autor continúa diciendo que las propiedades de las partículas gruesas y finas de un suelo son muy diferentes. Las partículas de gran tamaño constituyen un impedimento mecánico para el desarrollo radicular, esto es una acción directa de la textura.

Según Whitney (1896) citado por Black (1967) los cultivos se adaptan a suelos de distintas texturas y atribuyó los efectos observados a la relación existente entre la textura del suelo y el suministro de agua a las plantas.

De acuerdo con Black (1967) una de las formas en que la textura del suelo afecta el crecimiento vegetal es por su influencia en el suministro de H_2O . El suministro de H_2O es mayor en los suelos de textura moderadamente fina que en los de textura gruesa. Esto se debe a que la capacidad de retener agua aprovechable para las plantas es mayor en los suelos de textura fina y a que por lo general la lluvia colma la capacidad de los suelos de todas las texturas, a intervalos mientras las plantas crecen.

En estas condiciones la cantidad de H_2O a disposición de las plantas aumenta según la capacidad de los suelos de retenerla en forma asimilable.

En cuanto a otras propiedades, continúa el autor, como la velocidad de infiltración y la de evaporación, los suelos de textura gruesa son superiores a la de textura fina.

La segunda condición importante del suelo que varía según la textura es el suministro de N. En iguales condiciones ambientales el N del suelo a disposición de las plantas aumenta cuanto más fina es la textura.

El autor observó el crecimiento de la soja en suelos de diferente textura, en época de abundantes lluvias. La soja como es independiente del N del suelo, no presenta variaciones en el rendimiento, a diferencia de otros cultivos cuyo rendimiento aumentaba notablemente cuanto más fina era la textura.

Según el autor la propiedad más importante del suelo es quizás la capacidad de retener agua y N pues por su intermedio la textura del suelo influye en forma indirecta sobre las plantas, pudiendo existir otras propiedades que estén relacionadas con la

textura. Se concluye que la evaluación granulométrica de los suelos permite un mejor conocimiento del suelo como sustrato para el crecimiento vegetal. Sin embargo, la caracterización que se obtenga no tendrá validez general para predecir el crecimiento vegetal pues no es posible medir directamente ninguno de los factores fundamentales de este y por que la relación entre la textura del suelo y los distintos factores del crecimiento vegetal varían según las circunstancias.

II.1.2.1.2. *Aereación.* Según C.A. Black (1967) la aereación puede afectar la absorción de elementos nutritivos por las plantas ya sea por cambios en la disponibilidad de nutrientes en el suelo en respuesta a la aereación o por cambios en la situación metabólica de las plantas.

Entre los efectos del suelo se destacan los relacionados con el N. La mineralización de éste (el cambio de una forma orgánica a una inorgánica), no manifiesta mayor alteración si se cambian las condiciones aeróbicas en anaeróbicas, aunque en anaerobiosis se pierde una parte de N gaseoso al ser el N nítrico el aceptor de e^- en vez del O_2 .

También con el P se vio que en anaerobiosis (suelo inundado) hay una mayor disponibilidad de éste para el cultivo. La mejor provisión de P en los suelos inundados ha sido asociada con la disolución de fosfatos férricos por consecuencia de la reducción microbiológica de Fe férrico.

Los efectos de distintas aereaciones sobre la absorción de nutrientes en plantas adaptadas que cuentan con O_2 parecen ser sobre todo, una consecuencia del efecto de la aereación en la fisiología de las plantas y sólo en forma secundaria una consecuencia de cambios físicos en el suelo.

Es importante destacar los efectos fisiológicos porque la mayor parte de los cambios físicos que ocurren en el suelo sólo se producen cuando la aereación para las plantas que necesitan una fuente externa de O_2 se torna demasiado pobre.

Una segunda razón es que, en las condiciones a las que estas plantas se han adaptado, los efectos de la aereación sobre la absorción ocurren casi siempre en sentido opuesto a los de la solubilidad, provocado por cambios químicos en suelos reducidos.

Es posible que el efecto más duradero de una mejora en la aereación sea el aumento en la absorción de K y N.

Una aereación deficiente disminuye la absorción de H_2O como lo demuestra la marchitez de planta luego de una inundación.

Según Kramer (1956) citado por Black (1975) en presencia de una aereación deficiente, disminuye la permeabilidad de las raíces al agua.

II.1.2.1.3. Temperatura. El resultado de numerosos experimentos ha indicado que en cierto número de especies de plantas, la absorción de solutos por las raíces es retardada a bajas temperaturas del suelo. Esto puede ser producido por la actividad respiratoria o por la disminuida permeabilidad de la membrana de las células.

La temperatura puede también alterar la composición del aire del suelo, esto es también resultado del aumento o disminución de la actividad de los microorganismos. Cuando la actividad de la micropoblación sea grande será más alta la presión parcial del CO_2 de la atmósfera del suelo, así como la disminución del contenido de O_2 . Bajo condiciones que restringen la difusión de

los gases dentro y fuera del suelo, una baja en la presión del O_2 resultante de tal actividad puede influenciar la proporción de respiración de las raíces de la planta, de aquí su poder de absorción de nutrientes.

II.1.2.1.4. Humedad. Otro factor que afecta la disponibilidad de nutrientes según Black es el agua.

Según Tisdale y Nelson (1966) el nivel de humedad del suelo tiene un pronunciado efecto sobre la toma de nutrientes de la planta. Como regla general hay un incremento de cationes y aniones en tanto que la tensión de humedad del suelo disminuye a causa del permanente agotamiento en relación a la capacidad de campo. Cuando los poros son inundados por el agua la respiración de la raíz es afectada y la toma de aire decrece.

El agua es un factor clave en los mecanismos de asimilación de nutrientes. Las raíces interceptan más iones nutrientes cuando crecen en un suelo húmedo que cuando crecen en un suelo seco a causa de que su desarrollo es más extenso. Esto es particularmente importante para el Ca y el Mg. La masa fluída del agua edáfica al producir las corrientes de transpiración transporta la mayor parte de nitratos, sulfatos, Ca y Mg a las raíces. Las raíces no reciben suficiente P y K por estos dos métodos. Un tercer método, la "difusión" tiene su importancia. La planta absorbe los nutrientes adyacentes a las raíces y así se establece un gradiente. Los nutrientes se difunden lentamente desde las áreas de mayor concentración a las de menor, pero a distancias no mayores de 0,6 cm. Esto ocurre a través de las películas de agua, de aquí que la proporción de difusión depende en parte del contenido edáfico en H_2O .

II.1.2.1.5. *Capacidad de intercambio.* Según Tisdale y Nelson (1966) el intercambio iónico es el proceso reversible por el cual los cationes y aniones son intercambiados entre las fases líquidas y sólidas. De los dos procesos, cambio catiónico y aniónico, el primero es considerado como más importante en el suelo.

Las fracciones del suelo en las que asienta el cambio iónico son las fracciones orgánica y mineral cuyas partículas tienen un diámetro efectivo menor de 20 micras. Esto incluye una parte de la fracción limosa y la totalidad de la arcilla, así como la materia orgánica mineral.

Según C.A. Black (1967) desde el punto de vista del crecimiento de las plantas en los suelos la propiedad de intercambio catiónico reviste gran importancia puesto que los iones que en los suelos se presentan como bases intercambiables sirven como elementos nutritivos. Los cationes en solución están en equilibrio con las formas intercambiables. En general los iones intercambiables se presentan en mayor cantidad que los que se encuentran en solución constituyendo así una fuente de reabastecimiento para ésta. Este autor afirma que la CIC difiere entre los suelos por la variedad de composición mineralógica y de contenido de materia orgánica.

Según el mismo autor con respecto a la composición mineralógica el factor más importante es la naturaleza de los minerales arcillosos, clasificándose estos en dos grupos: el primero en que la unidad estructural está formada por una capa octaédrica y una tetraédrica (1:1) y el segundo en que la unidad estructural está formada por dos tetraédricas y una octaédrica (2:1).

Tisdale y Nelson (1966) afirman que los suelos con predominio de coloides 2:1 tendrán mayor capacidad de cambio que los suelos en los que predominan coloides minerales 1:1. Generalmente los

coloides minerales 1:1 tienen valores de 10-20 meq/100 gr; coloides minerales 2:1 de 40-80 meq/100 gr y coloides orgánicos de 100-200 meq/100 gr. Los coloides del suelo han absorbido en sus lugares de intercambio numerosos cationes, entre ellos está el Ca, Mg, K, Na, NH_4^+ , Al, Fe, H, que están retenidos en varios grados de intensidad según sus cargas y su capacidad de hidratación y deshidratación. Como regla los iones con una valencia de 2 ó 3 están sostenidos más fuertemente que los cationes monovalentes. También la mayor intensidad de hidratación de un ión significa que está sostenido menos estrechamente.

Según C.A. Black (1967) la materia orgánica del suelo tiene relativamente una alta CIC como puede inferirse de las determinaciones de la CIC del suelo antes y después del tratamiento con H_2O oxigenada para destruir la mayor parte de la Materia Orgánica.

En experiencia de este tipo, Bauer (1930) citado por Black (1967) encontró que la pérdida de CIC debido al tratamiento con H_2O_2 era de 112 a 252 meq/100 gr de Materia Orgánica oxidada.

Victoria y Zamalvide citado por García y Zamalvide determinaron la capacidad de intercambio de la materia orgánica de un amplio rango de suelos del Uruguay a través de la disminución que provoca en la CIC total del suelo el tratamiento con agua oxigenada y por medio de métodos estadísticos observaron que los valores de CIC de la materia orgánica se asocia bastante bien con los materiales madres y los contenidos de materia orgánica. Llama la atención que en suelos sobre basalto con altos contenidos de materia orgánica, la CIC de esta última sea tan baja; este fenómeno se piensa que está asociado con el bloqueo de posiciones de intercambio de la materia orgánica por óxidos de Fe y tal vez Al, que en esos suelos son abundantes. También en los

suelos formados sobre materiales madre de textura gruesa la CIC de la materia orgánica es consistentemente baja.

La naturaleza química de los grupos funcionales de la materia orgánica del suelo, que fijan cationes en forma intercambiable ha sido investigado por la técnica de medir la reducción de la CIC resultante del tratamiento de preparados de materia orgánica del suelo con reactivos orgánicos que tienen la acción de bloqueo específico con determinados grupos funcionales.

Broadbent y Bradford (1952) citados por Black (1967) trabajando con varios suelos, estimaron que el 54% de las posiciones de intercambio eran atribuibles a grupos carboxilos (-COOH) 36% a grupos fenólicos e hidroxierólicos y 10% a los grupos imidanitrogenados.

Según Tisdale y Nelson (1967) el grado de saturación de bases es una importante propiedad de los suelos y la define como el porcentaje de la total CCC ocupada por cationes básicos tales como Ca, Mg, Na y K. Afirman también que la facilidad con que los cationes son absorbidos por las plantas se relaciona al grado de saturación de bases. Para un suelo dado, la asimilabilidad de los cationes básicos por las plantas se incrementa con el grado de saturación de bases. También afirman que la relación entre el porcentaje de saturación de bases y la asimilabilidad de cationes se modifica con la naturaleza del coloide del suelo.

Según Black (1966) la CIC se considera que varía en función de los valores de pH. De acuerdo a los resultados de los ensayos realizados por SCHOFIELD (1950) citado por Black (1967) se pudo observar que la CIC manifestó una pequeña disminución cuando el pH se redujo. Pero si se consideraba la naturaleza logarítmica de la escala de pH, se observaba un amplio margen de actividad de los iones H en la solución por debajo de pH 5, donde la capacidad de intercambio disminuía con lentitud a medida

que aumentaba la actividad del ión H en la solución. El hecho de que en condiciones muy ácidas la capacidad de intercambio fuera casi constante y de que esta continuara a valores de pH inferiores a los de interés práctico dió origen al concepto de que la CIC de los suelos incluye algunas posiciones de carga permanente que retienen cationes en forma intercambiable tanto en condiciones ácidas como en las neutras y alcalinas. El aumento de la capacidad de intercambio concomitante con el pH dió origen al concepto de que parte de las posiciones de intercambio dependen del pH y que la porción en que estas existan como funcionales dependen del pH de la solución con lo cual se equilibra el suelo.

Los distintos ensayos realizados por SCHOFIELD (1950) citado por Black (1967) señalan que las posiciones de intercambio dependientes del pH se encuentran sobre todo en la materia orgánica. También Mc Lean y otros (1965) citados por Black (1967) comprobaron que la mayor parte de la capacidad de intercambio que depende del pH de un suelo ácido con alto contenido de materia orgánica desaparecería si el suelo se trataba con peróxido de H para eliminar la mayor cantidad posible de Materia Orgánica.

Pratt y Vair (1962) citado por Black (1967) estimaron mediante cálculos estadísticos basados sobre análisis que se efectuaron en una serie de suelos, que la diferencia de la CIC entre pH 3 y pH 8 era 15,8 meq/100 grs. de arcilla y 370 meq/100 grs de materia orgánica.

En los trabajos de Helling y otros (1964) citado por Black (1967) obtuvieron resultados que muestran que los aumentos de capacidad de intercambio, expresados en meq/100 grs fueron de 18 para la arcilla y 120 para la materia orgánica en un pH comprendido entre 3,5 y 8.

Por estas causas Black concluye que el valor que se obtenga de la CIC de un suelo ácido a pH 7 estará incluida la de intercambio funcional al pH del suelo más la parte de capacidad de intercambio dependiente del pH que se activa con valores de hasta pH 7. Esta última porción es ficticia en lo que se refiere al suelo en su estado natural. Por lo tanto continúa Black si se desea de terminar la capacidad de intercambio del suelo tal como existe en el campo, deberá hacérselo al pH del mismo.

De acuerdo a Black (1967) las ventajas de definir la capacidad de intercambio a un pH = 7 estriban en que esta representa la neutralidad ácido-base puesto que la actividad de los iones H y OH están equilibradas y que el pH = 7 suele ser el mayor valor que se alcanzan cuando se encalen suelos ácidos.

En la actualidad casi todas las mediciones de la CIC de los suelos calcáreos se realizan con una solución desplazante de pH = 8.2. Los valores obtenidos para el porcentaje de saturación de bases son mucho menores si la CIC se mide a pH 9.2 que si se toma el pH del suelo. Esto ocurre porque la CIC a pH 8.2 incluye la acidez titulable comprendida entre el pH del suelo y el pH 8.2 de aquí que resulten valores mayores de CIC en el denominador de la división realizada para calcular el porcentaje de saturación de bases.

Con respecto al otro componente del intercambio iónico, la capacidad de intercambio aniónico análoga a la catiónica exige un pH muy bajo del medio para que exista una cantidad de cargas positivas tal que hagan relevante este intercambio. Este fenómeno adquiere importancia a pH menores que 4,5.

Según Tisdale y Nelson (1967) los fosfatos no son lavados por el agua en los suelos sino que son retenidos en forma que

sólo pueden ser extraídos con soluciones de varias sales ácidas y alcalinas. Una parte del P se encuentra en formas que son casi completamente insoluble. También ha encontrado que cantidades mucho mayores de sulfato pueden ser extraídas de los suelos con alto contenido de arcillas 1:1 y en hidróxido de Fe y Al con una solución de fosfato de potasio que puede ser extraída con agua.

Esto ha llevado al convencimiento que los suelos poseen efectivamente capacidad de intercambio aniónico. A lo inverso de lo que ocurría con la CIC, la capacidad para retener aniones se incrementa con el descenso de pH del suelo. El intercambio aniónico es mucho mayor en suelos con alto contenido de arcillas 1:1 e hidróxidos de Fe y Al que en suelos donde predominan las arcillas 2:1. Un descenso del pH del suelo incrementa la activación de los grupos básicos incrementando su capacidad de aceptar protones. El intercambio aniónico es una función dependiente del pH cuanto más ácido el suelo mayor es la absorción de iones.

II.1.2.1.6. pH. Según C.A. Black (1975) estos efectos pueden clasificarse como específicos y no específicos.

Los no específicos más importantes están relacionados con la inhibición del crecimiento radicular. Muchos experimentos han comprobado que la magnitud de este efecto puede oscilar desde una pequeña inhibición hasta una casi completa. Es evidente que una penetración radicular limitada por la acidez del subsuelo limitará a su vez la absorción de nutrientes (incluso agua) del subsuelo y aumentará la dependencia de las plantas del contenido de nutrientes del suelo superficial y de las precipitaciones.

Dentro de los efectos específicos se pueden nombrar a las bases intercambiables donde muchos experimentos han demostrado que la absorción de cationes por las plantas se ve perjudicada por la acidez de los suelos, así como por la de las soluciones nutritivas.

Si el pH de las soluciones nutritivas es bastante bajo no habrá absorción y los cationes que se hayan absorbido con anterioridad tenderán a regresar desde las plantas hacia las soluciones.

Hay propuestas dos teorías para explicar los efectos de la acidez. Según la primera, los iones H disminuyen la absorción de cationes por un proceso competitivo. En términos de la teoría del transportador de la absorción de iones, cuanto mayor es la actividad de los iones H en la solución externa, mayor será la competencia que los iones H ofrezcan a cada una de las bases por separado en los respectivos sitios selectivos de transporte. Según la segunda teoría los iones H deterioran el mecanismo de absorción a causa de procesos irreversibles o reversibles sólo en parte.

Ahora se ha comprobado que ambas teorías se complementan hasta cierto punto y que un aspecto importante del daño no específica a que la segunda hace referencia incluye el comportamiento del ión Ca. Un aumento en la concentración del ión Ca puede paliar hasta cierto punto el efecto perjudicial de la acidez.

En la actualidad, se considera que el Ca desempeña una función importante en lo que respecta a mantener la integridad de los mecanismos de absorción y selectividad comprendidos en la absorción de cationes en general y que los iones H tienden a desplazar al Ca de los sitios donde este control se ejerce.

La acidez del suelo también afecta la liberación de bases en forma intercambiable. Cuando la acidez aumenta la cantidad absoluta de bases intercambiables disminuye. Pero al mismo tiempo los cambios tienden a oponerse a la disminución en la liberación de bases en un intercambio incompleto en otras dos condiciones: 1) la CIC disminuye por la pérdida de posiciones de in

tercambio dependientes del pH y por la acumulación de intercapas polímeras hidroxialumínicas en las arcillas expansivas, 2) el Al se acumula en forma de catión intercambiable. Se encuentra enlazado en forma intercambiable con más intensidad que las bases intercambiables, por consiguiente en virtud del efecto del ión complementario, las bases intercambiables son liberadas de preferencia en un intercambio incompleto.

El Ca como se vió tiene importancia en los efectos de la acidez del suelo en la disponibilidad de bases intercambiables ya que la acidez del suelo es en esencia una deficiencia de Ca.

Hanna y Hutchensen observaron que el efecto del pH puede ser una acción sobre la solubilidad de nutrientes o una acción indirecta sobre la actividad microbiológica. El pH bajo que señala la marcada acidez es uno de los factores que más limitan nutricionalmente el cultivo, ya que insolubiliza la mayoría de los nutrientes y reduce la acción de las bacterias fijadoras de N.

Según C.A. Black (1975) de los distintos micronutrientes que ven afectada su disponibilidad por la acidez del suelo, el Mo es el único que se comporta igual al P. Su disponibilidad aumenta cuando los suelos ácidos se encalan. Por el contrario la disponibilidad de Bo, Zn y Mn disminuyen cuando los suelos ácidos se encalen.

II.1.2.2. *Mecanismos de absorción.* C.D. Moodie (1976) consideró la absorción de nutrientes como un proceso de tres etapas:

- 1) movimientos de iones desde el suelo hasta la superficie radicular,
- 2) movimientos del nutriente desde el exterior hasta el interior de la raíz (absorción),

3) translocación del nutriente dentro de la planta
(raíz a parte aérea).

En cuanto a la primera etapa constan trabajos de Moodie (1976), Oliver y Barber (1966 ab) y Marais y Wiersma (1975) que la consideran integrada por tres procesos mediante los cuales los nutrientes del suelo puedan alcanzar la superficie de una raíz en crecimiento:

- intercepción radicular a zonas no exploradas.
- conducción o transporte pasivo de iones por la interfase suelo/raíz ocasionado por la absorción de H_2O por la planta (flujo de H_2O)
- difusión de iones a través de un gradiente de concentración establecido por la extracción radicular.

La absorción de nutrientes en la superficie radicular disminuye la concentración de los mismos en la zona del suelo inmediatamente vecinas a la raíz, organizándose el gradiente a través del cual los nutrientes difunden. Existen además, la posibilidad de reacciones de intercambio iónico como mecanismo de transferencia de iones hasta la superficie radicular.

a) *Intercepción radicular.* La cantidad máxima de nutrientes que pueden llegar a tener contacto con la superficie de las raíces de las plantas ha medida que estas se desarrollan en el suelo es la cantidad presente en un volumen igual al volumen de las raíces.

Abbas y Barber citados por Moodie calcularon que el volumen de las raíces de 10 plantas de soja cultivadas en un recipiente de 3 litros de capacidad ocupaban de 0,7 - 1,5% de volumen

men del suelo luego de 26 días de cultivo. Por lo que puede asumirse que las raíces en general ocupan el 1% o menos del suelo. Sin embargo las raíces crecen a través de poros que pueden tener un contenido en nutrientes promedialmente mayor. Si asumimos un suelo con un espacio poroso igual a $1/3$ entonces la concentración de este espacio puede ser tres veces la del suelo, por lo tanto las raíces toman contacto con un máximo de 3% de los nutrientes asimilables del suelo.

Según Edwards y Barber, 1976, citados por Barber (1978), el crecimiento radicular tiene influencia en el suministro de nutrientes disponibles para la absorción por medio de la soja. La mayoría de los nutrientes se mueven a través de flujo de masa y/o difusión desde el suelo a la superficie radicular, de aquí que la longitud y la superficie de suelo explorados sean importantes para la absorción de nutrientes. La longitud radicular y el área del suelo explorada por ella son mejores índices de absorción de nutrientes que el peso de las raíces, ya que éste está determinado en gran parte por la corona de la raíz quien proporciona una pequeña superficie de adsorción de nutrientes.

b) *Flujo de agua.* Las plantas absorben agua y estas se mueven de acuerdo al gradiente de concentración hacia la raíz. El agua contiene nutrientes que son transportados hasta la superficie radicular, donde quedan posicionalmente aptas para ser absorbidas. La cantidad de nutrientes que se mueven hacia la raíz mediante este mecanismo depende de la cantidad de H_2O usada por las plantas y la concentración de los nutrientes en la solución.

Según Oliver y Barber (1966 a y b) el flujo de masa es importante para la absorción de Ca, Mg, B. Se puede estimar que este método contribuye a la absorción del 10 % del K.

Según Barber (1962) el flujo de masas es el proceso dominante para iones móviles como SO_4^{2-} y NO_3^- y para altas concentraciones iónicas; al inverso de lo que sucede con bajas concentraciones iónicas e iones inmóviles, donde es la difusión lo que gobierna el grado de movimiento iónico.

Edwards y Barber (1976) encontraron que a medida que la concentración de nutrientes en la solución del suelo aumenta, el flujo aumenta asintóticamente hasta que el máximo es alcanzado.

c) *Difusión.* Como ni el transporte por agua ni la intercepción radicular pueden suministrar a las plantas las cantidades necesarias de P y K estos nutrientes deberían alcanzar la superficie radicular por difusión.

La raíz absorbe el P y K en su interfase con el suelo creando así un gradiente de concentración. La difusión ocurre a través de dicho gradiente de concentración y es el mecanismo que suministra la mayor parte de P y K del suelo.

Según Oliver y Barber (1966 a y b) la mayor parte del K, Mn, Fe, Zn son absorbidos por el proceso de difusión que se puede expresar de la siguiente manera:

$$J = -AD \frac{de}{dx}$$

donde:

J = flujo de K hacia la raíz

A = superficie radicular

D = coeficiente de difusión

de/dx = gradiente de concentración del K.

De acuerdo a Tisdale y Nelson (1966) existen tres mecanismos por los cuales los iones penetran a la raíz, por cambio, por difusión y por la acción de portadores o compuestos metabólicos ión - ligamento.

Estos tres mecanismos están asociados a dos componentes del sistema de la raíz. Uno se denomina espacio externo o espacio libre aparente, y el otro se denomina espacio interior. La absorción de iones en el espacio externo se cree que está gobernada por los procesos de difusión simple y absorción por cambio. La absorción de iones en el espacio interior es metabólico, es decir, para este tipo de absorción se requiere un gasto de energía por parte de las células de la raíz, siendo este mecanismo irreversible.

Esto en parte está de acuerdo a lo descrito por Black (1967) donde denominó "espacio libre" a un cierto volumen de la raíz donde el soluto se difunde, por completo y representaría una extensión de la solución del suelo. Puede considerarse que la absorción de cationes en una forma libremente difusible es un proceso pasivo porque un movimiento como el del soluto, puede darse en cualquier volumen que esté disponible para la difusión.

Según Epstein (1960) citado por Black (1967) el espacio libre representa un 10% del volumen radicular.

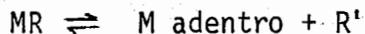
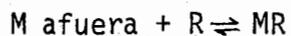
Aunque no se conoce la ubicación exacta del espacio libre se estima que se halla en partes exteriores a la membrana citoplasmática y es posible que se extienda por toda la pared celular y entre las capas de pectato de calcio de cada célula en la porción externa de la raíz.

Según Black (1967) otro mecanismo de absorción pasiva es la propiedad de intercambio catiónico de las raíces. Esta propiedad ha sido motivo de muchas investigaciones y parecería que pueden atribuirse sobre todo a los grupos carboxilos de las sustancias pécticas. Se estima que los cationes intercambiables de la raíz se presentan en el mismo volumen físico que la que difunden libremente

Black (1967) determinó que el proceso activo de absorción se realiza mediante transportadores de acuerdo a esto toda absorción radicalar de un catión en forma no intercambiable implica la combinación de este con un transportador, su transporte hacia una ubicación interna y la posterior liberación del ión de su transportador.

Por su parte Tisdale y Nelson (1966) desarrollaron la noción de un compuesto ión ligamento o transportador implica la combinación de los iones con un componente protoplasmático, explicando de este modo el porqué de la selectividad de los iones en este tipo de absorción. Los transportadores son todas sustancias producidas metabólicamente que se combinan con los iones libres. Este complejo ión-transportador puede entonces atravesar membrans y otras barreras no permeables para liberar iones. Después que la transferencia se ha realizado, el complejo ión - portador se rompe, el ión es liberado en el espacio interior de la célula y el portador en algunos casos es reconstruido de nuevo.

Black (1967) expresó la teoría del transportador en forma de ecuaciones:



M = ión

R y R' = estados físicos
del transportador

(antes de la combinación con el ión y luego de la liberación de este)

MR = complejo ión transportador

Finalmente Tisdale y Nelson (1965) concluyeron que la contribución relativa de los componentes pasivo y activo en la acumulación total de iones en la planta dependía de la absorción de H_2O y de la concentración del medio. El componente pasivo es más importante a altas que a bajas concentraciones de soluto. También expresan que la entrada pasiva es probablemente de poca importancia en la planta que está creciendo activamente, en este caso domina la entrada activa. La dependencia de la entrada activa en la actividad metabólica es particularmente importante y es la única explicación satisfactoria para la acumulación de una alta concentración de iones en las vacuolas de las células vivas.

II.1.2.3. Acumulación y nivel de nutrientes absorbidos. La cantidad de nutrientes acumulados presenta un estrecho vínculo con las necesidades nutritivas, las cuales varían de acuerdo a los rendimientos alcanzados por el cultivo (De Mooy et al, 1973).

Hanway y Weber (1971 c) estudiaron la absorción de NPK cuando se aplicó fertilizante. Líneas noduladas, sin fertilización acumularon 247 kg N/ha mientras que líneas no noduladas acumularon 64 kg N/ha. Cuando hubo fertilización absorbieron 198 y 263 kg N/ha con 224 y 672 kg/ha aplicadas de N. Un 60% del N adicional absorbido se localizó en el grano.

Estos mismos autores al igual que Borst y Thatcher (1931) citados por De Mooy et al (1973), sostienen que la acumulación de P sigue los mismos patrones que la producción de MS. Las tasas de acumulación fueron lentas al principio del ciclo, luego incrementaron y se estabilizaron a partir de la etapa de 10 hojas trifoliadas. Este proceso varía con los años y depende fundamentalmente de las condiciones de humedad, debido al efecto que esta tiene en la absorción de nutrientes.

Aplicaciones de P de 49 kg/ha aumentaban la cantidad de P absorbido de 16,9 a 21,4 kg/ha, 47% del cual fue traslocado al grano. Aplicaciones de K de 225 kg/ha aumentaron de 74 a 121 kg/ha, pero el K en el grano no sufrió mayor variación.

Los mismos autores encontraron rangos crecientes de acumulación de nutrientes y MS antes de la floración completa; comenzando a decrecer luego de que las vainas están verdes, para luego llegar a cero. Los rangos de acumulación para toda la planta, durante el período de plena floración hasta el llenado del grano son de 4,5; 0,4 y 1,5 kg/ha/día para NPK respectivamente. La materia seca aumenta 176 kg/ha/día durante el mismo período. A las mismas conclusiones llegaron Leggett y Frere (1970) citados por De Mooy et al (1973).

Una pequeña acumulación ocurre en las primeras etapas de desarrollo seguido de un rápido incremento al comenzar la floración, continuando una acumulación relativamente constante hasta la senescencia (De Mooy, et al, 1973).

Una aceleración en la tasa de nutrientes antes de la floración ocurre sólo cuando la concentración de nutrientes en la solución es alta. Este incremento en la acumulación de nutrientes fue confirmado por Harper (1971) citado por De Mooy et al (1973). El incremento fue más importante cuanto mayor fue la concentración en la solución.

Harper observó un pico en la tasa de NO_3 durante la formación de vainas y el llenado temprano de granos. También encontró un pico de absorción de P y K durante la floración y medio llenado de vainas.

En estudios de absorción de nutrientes utilizando varieda

des determinadas de soja en el sureste de USA, Henderson y Kamprath (1970) descubrieron un progresivo incremento de nutrientes desde estadios tempranos de crecimiento hasta la formación temprana del grano. Los máximos niveles de acumulación fueron de 7.7; 0,41; 4,6; 2,4 y 0,77 kg/ha/día para NPK, Ca y Mg respectivamente. Los rangos de K fueron considerablemente mayores a los de medio oeste.

Burtón et al (1979) presentaron en forma gráfica la acumulación de N de las diferentes partes de la planta hacia el final del ciclo del cultivo en la siguiente figura.

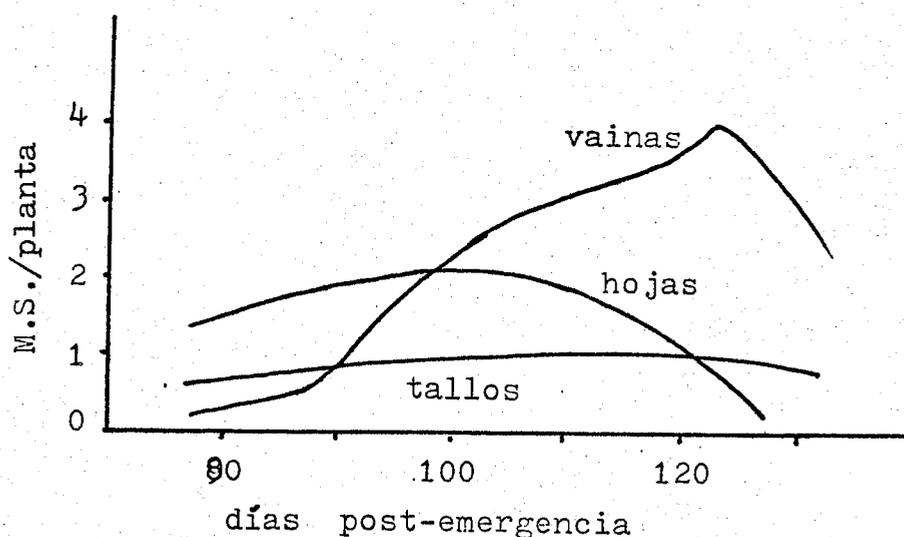


Figura N° 1. Acumulación de N en las distintas partes de la planta hacia el final del ciclo del cultivo.

Estos autores también estimaron el porcentaje de N desde los 80 días de la siembra en las diferentes partes de la planta (Cuadro N° 1)

Cuadro N° 1. Porcentaje de nitrógeno en las distintas partes de la planta [Burton et al, 1979]

Días post-siembra	porcentaje de N		
	tallos y peciolos	hojas	vainas
80	1,55	4,37	-
90	1,50	4,06	3,54
100	1,31	3,80	3,63
120	0,98	2,99	3,78
130	0,76	2,41	3,82
140	0,73	-	3,12
mín. dif. sig.	0,20	0,11	0,31

Se puede observar que el contenido de nutrientes disminuye en forma sostenida en hojas y tallos a medida que avanza la maduración. Según estos autores este N es removido hacia las vainas y luego hacia el grano.

Bataglia et al (1976) encontraron que a medida que avanza el ciclo del cultivo, disminuyen las concentraciones en la parte vegetativa, especialmente para el N y K. Estos autores sostienen que la concentración de NPK durante la formación de granos es mayor en las partes reproductivas que en las vegetativas.

Cuadro N° 2. Concentraciones de NPK en las distintas partes de la planta (Bataglia et al, 1976)

Elemento	porcentaje		
	tallos	hojas	vaina + grano
N	13,8	20,4	65,8
P	20,6	14,4	65,0
K	34,6	12,2	53,8

Hammond et al (1951) citado por De Mooy (1973) encontraron que el tipo del suelo tiene efecto en la relación acumulación de nutrientes/acumulación de materia seca 6-7 semanas antes de la floración. Durante 4 semanas siguientes a la floración los nutrientes se acumulaban más rápidamente en suelos tipo Clarion (más fértiles) pero más despacio que la materia seca en suelos tipo Webster (menos fértiles).

Otros autores, como el caso de Henderson y Kamprath (1970) citados por De Mooy et al (1973) encontraron que el NP y Mg se acumulaban considerablemente más despacio que la materia seca, el Ca se acumulaba en forma similar a la materia seca, mientras que el K se acumulaba más rápido que éstos durante el crecimiento vegetativo.

Según De Mooy et al (1973) el stress de humedad tiene efecto sobre la acumulación relativa; la máxima acumulación de N y P se realiza antes en un año seco que en un año de adecuada humedad. Con Ca y K sucedió algo similar.

Hunt et al (1981) trabajando con la variedad Bragg y una población de 26 plantas/m, encontraron que la acumulación de N al día 104 luego de la siembra era aproximadamente de 450 a 320 kg/ha para sojas inoculadas y no inoculadas respectivamente, bajo condiciones de riego. En condiciones de secano la acumulación fue de

220-270 kg N/ha para plantas inoculadas y no inoculadas respectivamente. Estos datos muestran una gran respuesta de cierto tipo de cepas (cepa 110) bajo condiciones de riego. Las bajas acumulaciones de N en condiciones de secano indican la importancia que las condiciones ambientales tienen en la respuesta de la soja a ciertas cepas de *Rhizobium japonicum*.

Los órganos vegetativos de la planta de soja constituyen verdaderos reservorios para los nutrientes minerales durante el crecimiento vegetativo, de ahí estos nutrientes son translocados hacia la semilla durante el período de llenado del grano (Hanway y Weber, 1971).

Hamond et al (1951) estimaron que de 53 a 64% del N de 56-71% del P y de 59-97% del K presente en el grano, provenían de las hojas, tallos y vainas. Las cantidades traslocadas de Ca y Mg fueron pequeñas, por lo tanto el Ca y Mg acumulado en el grano provee la absorción realizada durante la formación de las mismas. Henderson y Kamprath (1970) encontraron resultados similares. Hanway y Weber (1971 b) estimaron que el 57% del N, el 52% del P y el 55% del K presentes en los granos maduros provenían de las hojas, tallos y vainas a través de la traslocación.

Hanway y Weber (1971 a) procuraron proporcionar más información al respecto de la nutrición de la soja en el campo y de la influencia del cultivar, nodulación y aplicación del fertilizante.

La acumulación de NPK siguió padrones similares a la de acumulación de MS.

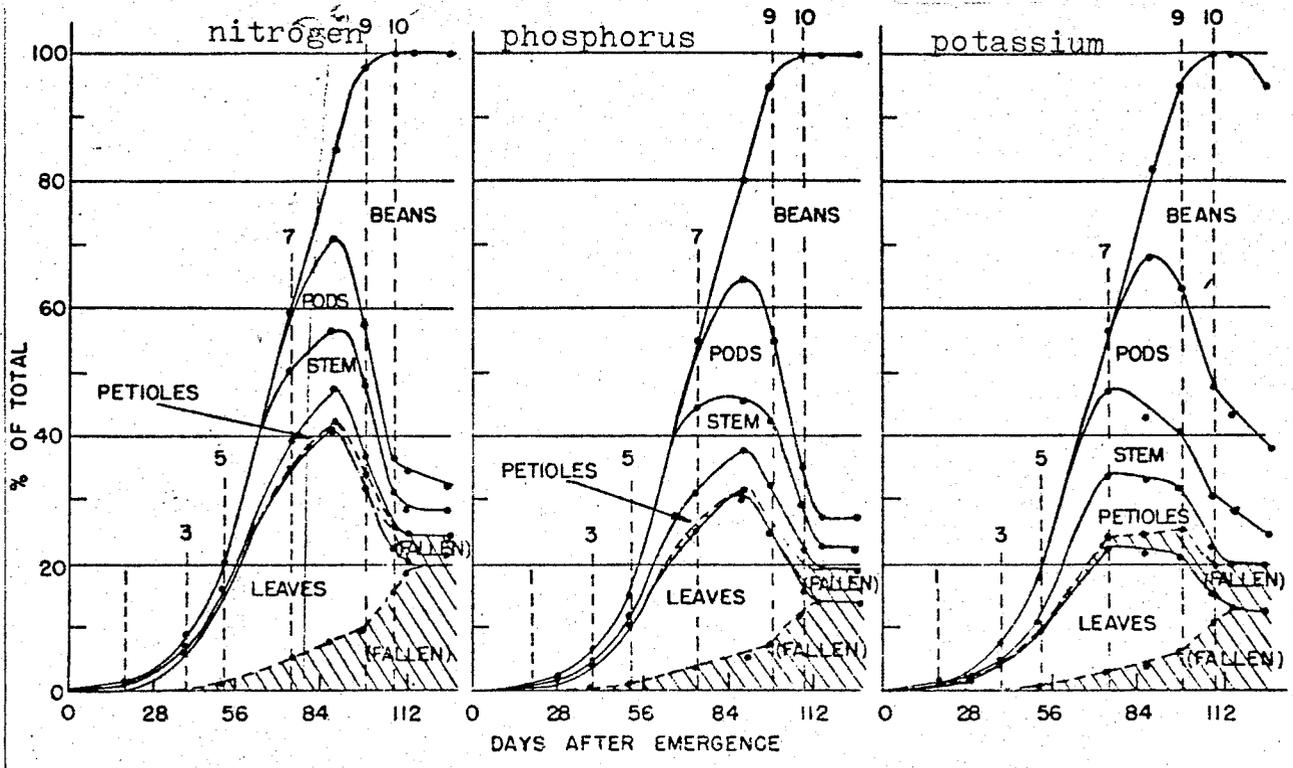


Figura N° 2. Acumulación relativa de N, P y K en las diferentes partes de la planta durante la estación de crecimiento.

A conclusiones similares llegaron Nelson y Weaber (1979), - quienes observaron que el patrón de acumulación de N era similar al de producción de materia seca excepto al final del ciclo de crecimiento del cultivo. La producción de MS continúa aumentando mientras que el N, total en la planta detiene su acumulación después de 115 días. Estos autores aclaran que el Balance de N total no se pudo realizar con exactitud y a que no se tuvieron en cuenta las hojas caídas.

Las tasas de acumulación fueron lentas al principio del ciclo, tornándose más rápidas durante el estadio 5 (9-10 hojas trifoliadas completamente abiertas y plantas en plena floración) y 9

(hojas inferiores comienzan a amarillarse y vainas superiores completamente desarrolladas con granos de tamaño aproximado al máximo) cuando los nutrientes se acumulan a tasas diarias constantes. Aproximadamente el 79% de la acumulación total de esos nutrientes ocurre durante 46 días entre ambos estadios ya citados. Cerca de la mitad del NPK presente en los granos maduros fueron traslocados de otras partes de la planta y la otra mitad fue absorbida del suelo y de los nódulos. La acumulación de nutrientes fue similar en los 8 cultivares usados en este trabajo. La fertilización aumentó las cantidades de NPK acumulados.

Finalmente la investigación actual en soja, concentra sus esfuerzos en la identificación de los límites fisiológicos del potencial de rendimiento. Entre las numerosas especulaciones sobre la naturaleza de los límites hay dos hipótesis:

La primera propuesta por Shibley et al (1975) propone que se podría mejorar la eficiencia de la formación de granos por medio de un aumento en la disponibilidad de fotosintatos. Esta hipótesis supone con cierta base experimental (Hardy, Havelthy, 1975; Harper y Vigue, 1975 y Lawn y Brun, 1974), que la caída en la tasa de acumulación de N, comúnmente observada durante la formación de granos (Ohlogge, 1963) depende de una insuficiencia de fotosintatos para el mismo tiempo sustentar la formación de granos y fijación de N_2 .

Una segunda hipótesis, Sinclair y De Witt (1975) propone que la actividad fotosintética de los tejidos vegetativos y como consecuencia el rendimiento en grano son restringidos por la ineficiencia de la planta de soja de acumular N a tasas similares a la demanda generada por la formación de granos. Si la tasa de acumulación de N alcanzase su máximo durante este período, la exigencia de los granos será 2-2,5 veces mayor que la tasa de acumula

ción de N que se verifica en una planta típica de soja (Hammond et al, 1951; Hanway y Weber, 1971 a y b, Henderson y Kamprath 1970; Letwell y Evans, 1951). De aquí resulta que los órganos vegetativos para compensar el déficit de N causado por su translocación para la semilla bajan el contenido de 3.7 - 4% durante floración a 0,5% durante maduración.

II.1.2.4. *Utilización de los minerales del fertilizante.* Krantz (1949) mostró que el 45% del P en la planta provenía del fertilizante aplicado, cuando la planta era joven; pero sólo el 7,6% del P provenía del fertilizante durante la formación de vainas.

Webb (1954) citado por De Mooy et al (1973) describe un caso donde no hay respuesta al P absorbible del suelo (5 kg/ha de P Bray N° 1), pero si el contenido de la planta fue incrementado al fertilizar con 20 kg/ha.

Los contenidos totales en las plantas fueron 0,19; 0,21; 0,26 y 0,31% cuando no hubo fertilización, fertilización al voleo, fertilización en bandas al costado de la semilla y fertilización en bandas debajo de la semilla respectivamente. Las diferencias desaparecieron en un mes. En estadios tempranos de desarrollo el 58% del contenido de P derivaba del P del fertilizante localizado por debajo de la semilla, comparado con el 10% en el caso del voleo, donde este efecto duró toda la estación de crecimiento. Cuando se localizó en bandas al costado de la semilla, el 27% del contenido de P derivaba del fertilizante y las diferencias con el voleo desaparecieron durante la floración.

En otro experimento la utilización del P aplicado al voleo varió entre 5% cuando la dosis fue de 6 kg/ha, a 24% cuando fue 40 kg/ha de P. En bandas el 55% del P fue usado.

Estos autores comprobaron que ubicando el fertilizante debajo de la semilla hubo mayor eficiencia en la utilización de éste, que ubicando el fertilizante al costado de ésta. Las condiciones de humedad del suelo presumiblemente favorezcan la localización en bandas profundas ya que la absorción depende del número de días en que el suelo tiene humedad suficiente para la exploración radicular.

Welch, Hell y Nelson (1949) citados por De Mooy et al (1973) también encontraron que altos porcentajes de P (74%) provenían al fertilizante aplicado en bandas, 24 días luego de la siembra.

En China, Chen (1962) citado por De Mooy et al (1973) reportó que el 80% del contenido de P de la planta provenía del fertilizante en las primeras etapas del desarrollo, luego la expansión radicular disminuye el porcentaje de P que proviene del fertilizante a aproximadamente 50% al final de la floración.

En cuanto al N; Norman y Krampitz (1946) citados por De Mooy et al (1973) encontraron que el porcentaje de N, recobrado del fertilizante fue de 61% para el nitrato de amonio y del 81% para el $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$.

Hanway y Weber (1971 c) encontraron que el 60% del N de la planta provenía del fertilizante en plantas no noduladas cuando la dosis fue de 224 kg/ha y el 30% cuando la dosis fue de 672 kg N/ha.

Neunyllov y Slabko (1968 a) estudiaron la época de aplicación del fertilizante y encontraron que mayor proporción de N provenía del fertilizante cuando este se aplicó tarde (72%) que cuando se aplicó temprano (42%) a la siembra.

Thormton (1947) citado por De Mooy et al (1973) habría llegado a conclusiones similares, ya que encontró que el 24% del N presente en el grano provenía del fertilizante aplicado temprano y el 31% cuando fue aplicado a mitad de estación de desarrollo.

II.1.3. Análisis foliar como diagnóstico de la nutrición

II.1.3.1. *Consideraciones generales.* El análisis químico de los tejidos de la planta y del grano junto al análisis químico de los suelos son excelentes herramientas de diagnóstico para evaluar las necesidades de fertilizantes de un cultivo (Ohlrogge y Kamprath, 1968). El contenido de nutrientes está influenciado por la parte muestreada, la posición y la edad de la misma, humedad, temperatura, daños por insectos y enfermedades.

Hanway y Weber (1971) encontraron que en las partes jóvenes de las plantas, las concentraciones de NP y K eran mayores que en las partes más viejas, ubicadas en las zonas inferiores de los tallos.

Small y Ohlrogge (1981) determinaron el momento óptimo para la recolección de las muestras en la planta. Para el muestreo de las hojas, dicho período se encuentra ubicado entre la floración temprana y la fructificación temprana. Es en este momento en que el suelo está brindando su mayor aporte de nutrientes y por lo tanto el análisis foliar es un reflejo de la capacidad nutritiva de éste.

Para el muestreo de hojas se deberían recolectar aquellos folíolos completamente desarrollados ubicados en la parte superior de la planta. Deberían recogerse entre 30 y 50 trifolios de cada parcela a analizar.

II.1.3.2. *Prefloración.* En plantas de 6 días de edad el porcentaje de N en los cotiledones variaba entre 8.2 y 9.3% (Murmeek, 1937; citado por Ohlrogge en 1960). En 20 días estos valores habían declinado hasta un 3% en los tallos y 5% en las hojas.

Plantas de 25 días de edad creciendo en ensayos de campo realizados por Lathwell y Evans (1951) citados por Ohlrogge (1960) contenían 4,7% de N cuando la concentración era de 100 ppm; en cambio el porcentaje era de 2,6% cuando la concentración en el suelo era de 20 ppm.

Las concentraciones más comunes de P en las plantas varían entre 0,25 y 0,30% (Hammond et al, 1951; Borst y Thatcher, 1931; Welch et al, 1949 y Togari et al, 1955, citados por Ohlrogge, - 1960).

Wilkinson (1958) encontró un porcentaje del 0,5% de P en la parte aérea, 42 días después de la siembra con una aplicación en bandas de 180 kg de P_2O_5 /ha sobre un suelo medio en P. Según Bureau et al (1958) son frecuentes las concentraciones de 0,2% en campos deficientes en P. Según Ohlrogge (1960) el mínimo puede estimarse entre 0,14 y 0,18% para la parte aérea en plantas de soja cuya única fuente haya sido sus cotiledones; el examen de numerosos estudios realizados por el autor sugieren que el contenido óptimo de P para el estadio de prefloración varían entre 0,25 y 0,45%. Concentraciones mayores pueden estar sugiriendo que se acumula P debido a que algún otro factor está limitando el crecimiento.

Según Mederski (1950) la concentración mínima de P en las plantas previo a la floración en suelos con 5 ppm era 0,30, 0,15 y 0,25% para las hojas, tallos y parte aérea total respectivamente.

Los extremos en la concentración de K reportados por la literatura van desde 0,30 a 5,7% (OHLROGGE, 1960).

La mayor concentración de K en ensayos realizados a campo fue de 0,50% para vainas de 35 días de desarrollo (AUSTIN, 1950). Análisis realizados en Japón muestran 4,6% de K en ramas y vainas y 2,6% en hojas (TOGARI et al, 1955).

Estudios realizados en Iowa reportaron 1,2 y 1,6% de K en la parte aérea en el estadio de prefloración (HAMMOND et al, 1951, citados por OHLROGGE, 1960). Los datos durante la prefloración indican un valor mínimo de 0,30% y un rango óptimo entre 1 y 4% y un máximo al 5,7%.

II.1.3.3. *Floración.* JONES (1966) citado por OHLROGGE y KAMPRATH (1968) determinó los rangos de concentración para los distintos nutrientes en la hoja al momento de la floración tardía. Estos valores son usados en casi todo el mundo como patrones de concentración para los distintos elementos y pueden verse en el siguiente cuadro:

Cuadro N° 3. Concentración de nutrientes en el foliolo superior maduro de la hoja excluido el peciolo (Jones, 1966)

Elemento	Deficiente	Bajo	Suficiente	Alto	Exceso
N	< 4	4 - 4,45	4,51 - 5,50	5,51 - 7,0	> 7,0
P	< 0,15	0,16- 0,25	0,26 - 0,50	0,50 - 0,80	> 0,8
K	< 1,25	1,26- 1,7	1,71 - 2,50	2,51 - 2,75	> 2,75
Ca	< 0,20	0,21- 0,35	0,36 - 2,00	2,01 - 3,00	> 3,00
Mg	< 0,11	0,11- 0,25	0,26 - 1,00	1,01 - 1,50	> 1,51

Las hojas de las plantas en floración contienen 1/3 más de nutrientes que los tallos. En estudios realizados en Ohio la cantidad de nutrientes en las plantas durante la floración variaba entre 1,5 y 3,1% (Lathwell y Evans, 1951).

En otros estudios de invernáculo el contenido de nutrientes varió entre 1,2 y 3,5%.

EROMANS (1929) citado por OHLROGGE (1960) en ensayos de campo encontró pequeña variación en el contenido total de nutrientes. Así mismo HAMOND et al en 1951 reportaron valores de 2,5 a 2,9% para el contenido de nutrientes en las partes aéreas. TOGARI et al (1955) separó la parte aérea en hojas y ramas encontrando casi 4 veces más nutrientes en las hojas que en los tallos, 4 a 1% respectivamente.

Valores obtenidos en el Japón son similares a los obtenidos en USA: 0,31; 0,09 y 0,24% de P para hojas, tallos y parte aérea respectivamente (TOGARI et al, 1955) citado por OHLROGGE (1960).

DE MOOY y PESEK (1969) presentan datos de P en hojas, al final de la floración para 2 variedades al obtener el rendimiento máximo.

HAM et al (1963) encontraron concentraciones de 0,40 y 0,44% en hojas, en dos años, en una localidad donde no hubo efecto de la fertilización fosfatada.

BENSON et al (1948) citado por OHLROGGE (1960) encontraron un rango de 0,1 a 0,3% para los folíolos y de 0,14% para la parte aérea.

WILKINSON en 1958 obtuvo un valor de 0,33% mientras que AUS

TIN en 1930 ambos citados por OHLROGGE en 1960 presentan un valor de 0,43% para plantas creciendo en el campo 13 días después de la siembra.

KAMPRATH y MILLER (1958) encontraron un efecto del nivel de P del suelo sobre el contenido de este en el cultivo en floración lo cual puede verse en el Cuadro N° 4. (Concentración de P en la floración en función del contenido de P del suelo, medido por el método de MELHICH).

Cuadro N° 4. Efecto del nivel de P en el suelo sobre el % de P en la planta

<i>Categoría del suelo</i>	<i>Fósforo (ppm)</i>	<i>Fósforo (%)</i>
Baja	4 - 10	0,19
Media	11 - 31	0,22
Alta	32 - 56	0,26
Muy alta	>56	0,27

En resumen, según OHLROGGE (1960) el porcentaje reportado más frecuentemente para este estadio en suelos fértiles varía entre 0,25 y 0,35% de P. Estos valores representan una óptima nutrición, valores por arriba y debajo de estos, representan exceso o deficiencia respectivamente.

Las concentraciones totales de K en la planta varían en los siguientes trabajos: Iowa (HAMOND et al, 1951); de 0,8 a 1%, Ohio (BORST Y THATCHER, 1931) 0,9 a 1,2%, Michigan (AUSTIN, 1930), 0,5 a 0,8% e Indiana (WILKINSON, 1958) 1,2 - 4,5% de K, citados por OHLROGGE, (1960).

II.1.3.4. *Llenado de vainas.* Borst y Thatcher (1931) citados por DE MOOY et al, 1973, describieron un decrecimiento general en la concentración de P, K, Ca y Mg con el tiempo, dependiendo de la parte de la planta considerada. Así por ejemplo la concentración se redujo más en los tallos que en las hojas.

MEDERSKI (1950) también encontró una reducción gradual en la concentración de P en los estadios de desarrollo más avanzados. HANWAY y WEBER (1971) reportaron un incremento en los contenidos de P y K en hojas y tallos hasta el estadio de 3a. hoja, completamente desarrollada. Luego de este período las concentraciones disminuyeron en todas las partes, excepto en plantas con deficiencia en la nodulación que fueron fertilizadas con P en las hojas y pecíolos aunque no en todos ellos aumentó hasta la caída de las hojas.

HENDERSON y KAMPRATH (1970) citados por DE MOOY et al (1973) reportaron una disminución en el porcentaje de nutrientes desde 3,6 a 1,0%, de los 40 a 140 días, luego de sembrado, pero al mismo tiempo se notó un incremento en el porcentaje de nutrientes en vainas y granos del 3,8% al comienzo de su desarrollo a 4,8% a la madurez.

Estos autores encontraron un aumento en el porcentaje de P en el grano, no así con el porcentaje de K.

El contenido de nutrientes en los granos durante su desarrollo varía poco, mientras que en las vainas, tallos y hojas, declinan rápidamente. Como ejemplo, los granos en estudios realizados en Iowa contenían entre 6,2 y 6,3% de nutrientes, mientras que en las vainas el porcentaje se reducía de 2,45% a 0,88% (HAMMOND et al, 1951), citados por OHLROGGE (1960).

HANWAY y WEBBER (1971) encontraron un contenido de P en vainas al comienzo de su desarrollo de 0,40%, declinando luego rápidamente, lo que implica un traslado del P a la semilla.

OHLROGGE (1960), consultando datos de varios autores concluye que las concentraciones de P para la parte aérea excluyendo los granos son del orden de los 0,05; 0,25 a 0,35 y 0,60% como mínimo, rango óptimo y máximo respectivamente.

En cuanto al K, ensayos realizados durante 6 años en Ohio mostraron que el porcentaje en las hojas declinaba de 1,0 a 0,4% durante este período.

Decrecimientos similares fueron encontrados en las ramas donde el porcentaje bajó de 0,8 a 0,3% y en las vainas donde pasó de 1,6 a 0,9%, mientras que en el grano el porcentaje se mantenía en un 1,6% (BORST y THATCHER, 1931), citado por OHLROGGE (1960).

La caída en los porcentajes de K no fueron tan grandes en Iowa. En hojas y ramas conjuntamente los porcentajes decrecieron de 0,7 a 0,5% (Hammond et al, 1951) citado por OHLROGGE, 1960.

II.1.3.5. *En el grano.* OHLROGGE y SMALL (1973) indicaron que la variabilidad del contenido de nutrientes en el grano de soja es amplio como para sugerir que el análisis químico del grano es un instrumento útil de diagnóstico.

Estos mismos autores investigando el porcentaje de nutrientes en el grano para cultivos de altos rendimientos encontraron que los porcentajes de nitrógeno y K eran de $6,3 \pm 0,2\%$ y $1,9 \pm 0,2\%$ respectivamente.

HANWAY y WEBBER (1971) trabajando con variedades Harosoy, Amsoy, How Keye y Richland, encontraron que los porcentajes promedio de P y K eran 0,61 y 1,8% respectivamente. En el mismo trabajo pero considerando solamente las variedades Harosoy y Amsoy, el contenido promedio de nutrientes para estos fue de 6,3%.

Estos mismos autores, encontraron que la concentración de nutrientes en los granos, varía según la posición de estos en la planta, aumentando desde las partes basales, 6,6% hacia las partes superiores del tallo que llegan a 7,1%, en cambio esto no sucedió con la concentración de K que se mantuvo constante alrededor de 1,7 - 1,8%.

II.2. NUTRICION NITROGENADA

II.2.1. Absorción

La soja como cualquier leguminosa requiere grandes cantidades de N para suplir sus necesidades fisiológicas, obteniendo este elemento del suelo, del fertilizante agregado y del aire atmosférico por medio de la fijación simbiótica con bacterias del género *Rhizobium japonicum*.

Este elemento puede ser absorbido en tres formas: como iones nitrato, como iones amonio, o como compuestos orgánicos tales como aminoácidos o urea. De ellos el nitrato es por lejos el más importante a causa de su relativa estabilidad en el suelo y a causa de que las otras formas tienden a ser convertidas al nitrato por la acción de varios microorganismos del suelo.

Una vez absorbido por la raíz el ión nitrato debe ser metabólicamente reducido a N amino para que sea de algún valor para la planta. La reducción de los nitratos, que en otras

especies puede ocurrir en la raíz y en las hojas parece ocurrir exclusivamente en las hojas en la planta de soja. Esto fue confirmado por RABIE et al (1981) quienes, además demostraron que el amonio absorbido es en gran parte metabolizado en la raíz.

Mc ALISTER y KROBER (1951), citados por OHLROGGE (1960) observaron que a la emergencia el 30% de las proteínas ya había desaparecido de los cotiledones. Nueve días después el 75% había sido removido, el contenido total final del nitrógeno del cotiledón era un 7% del original, asimismo encontraron que la mayor parte del N fue removido tres semanas luego de la siembra.

Esto concuerda con lo expresado por OHLROGGE y KAMPRATH (1968) quienes afirmaron que en el primer mes de crecimiento los requerimientos de nutrientes son relativamente bajos y van adquiriendo importancia hacia los 2-3 meses post-emergencia. Estos autores citaron una tasa diaria de absorción de N a los 2-3 meses post-siembra de 1,421 kg/ha.

HAMMOND et al (1951) citado por OHLROGGE (1960) encontraron que la absorción de N por día (suelo + simbiótico) incrementaba diariamente hasta alcanzar un pico máximo de 4,4 pounds/acre /día, 3 meses luego de la siembra y que luego de alcanzado dicho pico, la absorción decrecía rápidamente.

Según CORDEIRO (1977), la absorción de N medida por la acumulación de este elemento en el tallo y hojas, aumenta hasta el punto de máxima acumulación que ocurre a los 87 días del ciclo para el tallo y a los 83 días para las hojas. A partir de ese momento la cantidad de N decrece debido a la traslocación para la formación del grano. La mayor velocidad de absorción ocurre a los 53 días con un 51,9% de la cantidad máxima calculada. Por lo tanto en el período de 30 días la planta extrajo cerca del 50% de sus necesidades de N. La fase crítica se inicia a partir de los 40

días post-emergencia y va hasta el punto máximo de acumulación. Estos resultados están de acuerdo con los obtenidos por HENDERSON-KAMPRATH (1970); HANWAY-WEBER (1971) y MASCARENHAS (1972).

Por su parte SAUMELL (1976) en un trabajo realizado en la Estación Experimental de Carolina del Norte estimó la absorción de N por una variedad de soja cuyo ciclo duraba 140 días. Los datos (Ver Cuadro N°) expresan en forma acumulativa y porcentual, correspondiendo el 100% a un valor de absorción de 92,3 kg de N por cada 1.000 kg de grano cosechado.

Cuadro N° 4 . Absorción porcentual de N (para una variedad de soja cuyo ciclo dura 140 días)

	<i>Días post-siembra</i>				
	40	80	100	120	140
N %	3	49	52	76	100

II.2.2. Fijación de N

El cultivo de soja es capaz de fijar el N atmosférico por asociación simbiótica con bacterias del género *Rhizobium* según BERGENSEN (1958), citado por WEBER y SLOGER (1973) en un cultivo adecuadamente inoculado se podrán observar a los 9 días post-emergencia la formación de pequeños nódulos. Estos comenzarán a fijar N aproximadamente a los 14 días luego de la siembra.

Al principio del ciclo según el autor mencionado, el N fijado es retenido por los nódulos que presentan un rápido crecimiento en número y tamaño. A medida que el ciclo continúa el aporte del N comienza a incrementar, haciéndose muy importante en la etapa del cre

cimiento vegetativo intenso y decayendo en la etapa reproductiva.

WILSON y UMBREIT citados por WEBER y SLOGER (1973) reconocieron 3 etapas en el proceso de fijación. En la etapa de crecimiento temprano, los nódulos retienen un 30-50% del N fijado, posteriormente estos comienzan a incrementar su actividad y aporte a la planta y de este modo llegan al 80-90% de N translocado hacia las partes en crecimiento. En la tercera etapa los nódulos comienzan a morir y el N es removido desde las raíces a la parte reproductiva siendo este aporte muy importante cuantitativamente.

Según BOND (1936) citado por WEBER y SLOGER (1973) los máximos aportes de N simbiótico se realizan hacia fines de la floración.

II.2.2.1. Factores que afectan la nodulación.

II.2.2.1.1. Factores nutricionales. Las leguminosas requieren grandes cantidades de P para lograr una adecuada formación y funcionalidad de sus nódulos (VANSCHREVEN, 1958, citado por VINCENT, 1965). Este efecto es evidentemente indirecto ya que la deficiencia de este nutriente afecta en forma marcada el crecimiento de las plantas.

VINCENT y CRAFTS (1958) calcularon para diferentes suelos de Australia que el agregado de 100 kg de superfosfato provocaba un mejor crecimiento del cultivo y un incremento de 76 kg en la cantidad de N fijado.

Según VINCENT (1965) no se han podido observar efectos significativos con el agregado de K en el crecimiento y actividad fijadora de las plantas, sólo se han constatado respuestas a la aplicación de este nutriente cuando se agregaba combinado con N o P.

ó P.

Según JONES (1977) la fertilización con P y K tendría un marcado efecto en la cantidad y peso seco de nódulos por planta: este no sería un efecto directo de la fertilización sino que el logro de plantas más vigorosas, con mejor desarrollo radicular estaría incrementando las características mencionadas anteriormente.

Ensayos realizados por PARKER y HARVIS (1977) con variedades noduladas y no noduladas intentaron explicar el efecto de la Materia Orgánica sobre el proceso de fijación. En las variedades noduladas el agregado de molibdeno (Mo) aumentó el tenor de N en la hoja y el rendimiento en grano hecho que se manifestó con mayor importancia en suelos con pH más bajos. En variedades no noduladas no se encontró respuestas al agregado de este micronutriente. Aparentemente los suelos más ácidos aportan el Mo suficiente para la reducción de nitrato a nivel radicular, pero no para el proceso simbiótico de fijación.

Según VINCENT (1965) el rol del Mo sería a nivel de la eficiencia en la actividad fijadora y no tanto en el desarrollo radicular.

PLAUSEN et al (1968), citados por DEMETERIO et al (1972) demostraron que el crecimiento y fijación de N por leguminosas está limitado por bajos contenidos de Zn asimilable y por condiciones que interfieren con la normal nutrición de Zn en la planta. Algunos estudios realizados por YIE (1969) citado por el mismo autor concluyen que la fijación de N en la planta de soja con deficiencia de Zn se ve limitada directamente por requerimientos de Zn del Rhizobium e indirectamente por los bajos contenidos de este elemento en la planta huésped.

DEMETERIO et al (1972) indicaron que el peso de nódulos, la concentración de leg -hemoglobina en los nódulos y la fijación de N se ven reducidas con altos niveles de P (5,0 nM) comparando con niveles normales de P (0,5 nM). El peso de los nódulos y la cantidad de N fijado eran mayores en una variedad tolerante que en una variedad sensible a altos niveles de P.

II.2.2.1.2. Factores ambientales.

Dentro de estos se consideraron en primer términos las influencias de las características del suelo sobre el proceso.

En el trabajo de MENGEL y KAMPRATH (1978) sobre suelos orgánicos señalan al pH como el único parámetro químico que presentó una relación significativa con el número de nódulos y el peso seco de los mismos ($r^2 = 0,55$ y $0,43$ respectivamente). En este trabajo realizado en invernáculo se comprobó que a bajos valores de pH los nódulos fueron largos y se concentraron a lo largo de la raíz primaria. A medida que el pH se incrementaba el número de nódulos en las raíces laterales aumentaba - así como también el peso de los mismos disminuía.

Según VINCENT (1965), condiciones ácidas en el suelo determinan complicadas interacciones de carácter nutricional, como por ejemplo una disminución en la disponibilidad de Mo y toxicidad del Mn y Al; para el funcionamiento de los nódulos ya formados no es tan sensible como lo es la invasión y supervivencia de las bacterias.

MASCARENHAS (1978) señala que encalado es una técnica utilizada en el cultivo de soja porque además de neutralizar Al y el Mn del suelo, mejora las condiciones para la activación de las bacterias fijadoras. Estas trabajan mejor cuando el pH oscila entre el 5.5 y 6.0

Aparte de estos efectos señalados, VINCENT (1965) indica que el ión Ca cumple un rol específico en la formación y fijación por parte de los nódulos.

Junto al Mg, K, el Ca produce incrementos en rendimientos y fijación de N en plantas según BURTON et al (1961) citado por VINCENT (1968).

Según HANWAY y THOMPSON (1971) la luz, el aire, la temperatura y el agua son los factores ambientales primarios que determinan el rendimiento del cultivo de soja.

Con respecto a la temperatura VAN SCHREVEN (1958) citado por VINCENT en 1965 señaló como óptimo para la fijación el valor de 24°C. Siembras tardías no son convenientes por las altas temperaturas del suelo - que van asociadas con períodos de sequía y afectan el vigor de la semilla y fundamentalmente la supervivencia del inóculo.

TSUNGMIN KUO y L. BOERSMA (1958) afirman que la fijación de N está muy influenciada por la temperatura del suelo. La fijación de N aumenta lentamente dentro de un rango de temperatura de 10°C a 16°C, aumenta rápidamente hasta los 24°C y luego baja abruptamente a los 27°C. En general los rangos disminuyen con incrementos de absorción de H₂O del suelo.

Los resultados indican que la actividad de las bacterias de los nódulos son sensibles a la absorción de H₂O del suelo y temperatura de la raíz.

Bajas temperaturas del suelo limitan la translocación de carbohidratos a los nódulos de la raíz. La importancia de los carbohidratos proporcionados por la raíz fue afirmada por FRED y WIL

SON (1934), ORCUTT y FRED (1935), WILSON (1940), STEWARD (1966), UNGER y DANIELSON (1967) que observaron como resultado de sus experimentos que la traslocación se reduce con el enfriado de las raíces. Niveles de fructuosa y glucosa aumentaron de 7,85 a 12,0% durante cuatro días en que la temperatura de la raíz fue 10°C después de haber aumentado a 24°C.

ORITANI (1963) encontró una reducción en la utilización de carbohidratos y en composición de síntesis de N cuando la raíz soporta bajas temperaturas.

MUNEVAR y WOLLUM (1981) señalaron que la temperatura de 28-40°C tiene un efecto determinante en el número de nódulos, en la actividad específica de la nitrogenasa, el contenido de N y el peso seco de la parte aérea y raíces de las plantas inoculadas. La magnitud de estos efectos depende en gran medida de la cepa de *Rhizobium* utilizada.

Según estos autores la temperatura afecta muchos procesos en la simbiosis *Rhizobium*-leguminosa. Este efecto de la temperatura es muy complejo y varía con la especie del huésped, el cultivar entre especies y también con la cepa de *Rhizobium*.

MUNEVAR y WOLLUM (1981) describieron los aspectos afectados en la simbiosis *Rhizobium*-leguminosa por las altas temperaturas:

- 1) El crecimiento y supervivencia del *Rhizobium* en la rizosfera.
- 2) Formación de los pelos radiculares.
- 3) La ligazón entre las células del *Rhizobium* y los pelos radiculares.
- 4) Formación del hilo de infección.
- 5) Estructura, crecimiento y desarrollo de los nódulos radiculares.

- 6) Contenido de leg-hemoglobina de los nódulos.
- 7) La actividad de la nitrogenasa.
- 8) Y como consecuencia de todo esto, se afecta el contenido en N y la producción de materia seca de la planta nodulada.

Según D.O. WILSON (1974) se obtiene mayor peso nodular en la superficie, independientemente de la humedad cuando la temperatura fue baja (30°C). La temperatura directa o indirectamente es un factor que tiene mucha influencia. Altas temperaturas, provocan una mayor transpiración y esto explica en parte la reducción, crecimiento y fijación del N en los tratamientos superficiales con baja humedad. La temperatura juega un rol muy importante en el suministro de N atmosférico a los nódulos.

El CO₂ juega un rol importante en el proceso de fijación, BEZ DICEK et al (1975), en cultivos hidropónicos con la atmósfera enriquecida en CO₂, logró registrar valores del orden de 427 kg de N fijado por hectárea.

El Rhizobium, como otras bacterias gram negativas muere rápidamente al perder humedad, según VINCENT (1965). Es así que un adecuado estado hídrico al momento de la siembra favorece la implantación del cultivo y la infección por parte de las bacterias.

En cuanto al efecto del agua, tanto el exceso como la deficiencia en la fijación de N por los nódulos de la soja han sido extensamente estudiados. El suministro de agua es probablemente el factor ambiental de mayor incidencia en la fijación de N. La fijación máxima de N ocurrió cuando el suelo estuvo cerca de su capacidad de campo, pero fue reducida con el nivel de humedad del suelo por encima y por debajo de su valor suelo seco rodeando los nódulos no perjudican las actividades del mismo, mientras el agua sea disponible para la planta a través de las porciones más profundas del sistema radicular. La reducida

fijación de los nódulos con stress hídrico ha sido atribuida a la respiración decreciente del nódulo, causada por una insuficiencia del oxígeno en los bacteroides. Se piensa que tal insuficiencia de O_2 es debida al desarrollo de barreras físicas a la difusión de oxígeno en el nódulo y/o debido a una alterada afinidad hacia el O_2 de la hemoglobina en los nódulos carentes de agua.

HUANT et al (1975) también trabajando con los nódulos de soja, concluyeron que el efecto inhibitorio del stress de agua en la reducción del acetileno (fijación de N_2), es debida a la reducción de la tasa fotosintética en las hojas de las plantas bajo stress.

En condiciones de pobre humedad WEBER (1966) citado por DE MOOY et al (1973) estimó que la bacteria producía el equivalente a 56 kg de N por há aplicados, y que bajo excelentes condiciones de crecimiento la bacteria fijaba el equivalente a 168 kg por há.

En plantas noduladas dependientes del proceso de fijación de N atmosférico, BOND (1951) encontró que la reducción del nivel de O_2 provocó una disminución en el peso de nódulos en la fijación de N y en el peso seco de las plantas. Este efecto se debería a la dificultad de una adecuada respiración del sistema radicular.

T.R. RATHORE, P.K. CHONKAR, R.S. SACNAH y B.P. GHILDYAL (1980) investigaron en un ensayo macetero la influencia de la humedad del suelo (stress de humedad) en distintos estados fisiológicos de la soja sobre la nodulación, bacterias, contenido de leg-hemoglobina en los nódulos de las raíces y la subsiguiente acumulación de N en la planta. Dichos autores concluyeron que el stress hídrico que particularmente es severo en sus efectos sobre floración temprana causando cerca del 50% de reducción en el crecimiento; y tam

bién una significativa reducción en el número total de nódulos y en su peso. También observaron que la absorción de N fue afectada cuando el stress se produjo en dicho período. Con respecto a la leg-hemoglobina encontraron que hubo una reducción cuando el stress se produjo tanto en el inicio de la nodulación como en la floración temprana. El contenido bacteriano no se vió afectado por el stress de humedad.

11.2.2.1.3. Factores de manejo.

Una adecuada humedad y un íntimo contacto semilla-suelo son factores fundamentales para lograr una rápida emergencia.

SMITH y ELLIS (1980) estudiaron la relación existente entre los días que demoraba la planta en emerger y la cantidad y peso seco de los nódulos. Dichos autores encontraron una correlación negativa entre el tiempo de emergencia y el número de nódulos y peso seco de estos por planta.

La densidad de siembra y su efecto sobre el proceso de fijación fue estudiado por NELSON y WEAVER (1980). Comprobaron que cuando las densidades eran mayores presentaban un mayor peso fresco de nódulos expresado en gramos por planta, así como también una mayor actividad nodular, que las bajas densidades. Ambos parámetros presentaban su máxima magnitud a los 110-120 días post-siembra. Dichos autores observaron también que la actividad nodular específica, o sea la actividad de cada gramo de nódulo por hora, era decreciente hacia el final del ciclo, no encontrándose diferencias significativas entre las dos densidades de siembra evaluadas.

TRANG y GIDDENS (1980) estudiaron el efecto del sombreado sobre la nodulación y concluyeron que las plantas que no recibían sombreado producían mayor cantidad de materia seca y presenta más

nódulos por planta con mayor peso seco de estos.

11.2.2.2. *Contribución del N simbiótico.* WILLIAMS y LYNCH (1954) citados por WEBER y SLOGER fueron los primeros en reportar la existencia de líneas de soja que no presentaban características de nodulación. Estas isolíneas no noduladas permitirían luego el estudio y la cuantificación del proceso de fijación de N.

HAMPSON y ALBRECHT (1944) compararon el rendimiento en materia seca de cultivos de soja nodulada y soja no nodulada fertilizada con N, observando que las plantas no noduladas produjeron mayor crecimiento vegetativo y un sistema radicular relativamente mayor. FERGUSON y ALBRECHT (1941) también observaron mayor producción de materia seca en plantas no noduladas.

WEBER (1966) trabajando con variedades noduladas y no noduladas estimó los kg de N fijado hasta la etapa de grano verde. Las plantas noduladas presentaron rendimientos de 2,800 kg/ha habiendo fijado 84 kg de N/ha, cifra que equivale a un 40% del total del N absorbido.

RATNER y SAMOJLIOVA (1967) observaron que el crecimiento vegetativo fue estimulado a expensas del crecimiento reproductivo. El mayor sistema radicular puede tener efecto significativo en la absorción de P y de otros nutrientes. El contenido de N de parte aérea, hasta el fin de la floración permaneció en 20 a 50% más bajo en la soja no nodulada pero como la cantidad de materia seca era mucho mayor el contenido total de N fue dos veces mayor que en la soja nodulada al finalizar la floración. Durante la formación de vainas esa diferencia se redujo al 10%. El contenido de proteína y de vitamina B permanecieron más bajos que los de plantas noduladas. En condiciones climáticas más favorables el contenido total de N de soja nodulada fue 15% mayor que las no noduladas. Por lo tanto parece que la soja no nodulada produce un sistema radicular mayor y tiene tasa de crecimiento mayor en los

estadios iniciales de las plantas en que el contenido total de N depende de las condiciones ambientales.

FRANCO et al (1978) demostró que existe actividad fijadora hasta que los órganos de esa planta están prácticamente maduros y que la mayor actividad de fijación se da en el período de formación de vainas.

Rendimientos mayores con fertilización que con N fijado fueron encontrados por NORMAN (1944), lo llevó a la conclusión de que las plantas de soja pueden utilizar más N que el proporcionado por la fijación.

NORMAN y KRAMPITZ(1946), NORMAN (1944) estimaron que el N fijado simbióticamente puede aportar del 25 a 30% del N total; en años favorables representarían un 40% (78 kg/ha de una cosecha de 2690 kg/ha) mientras que en años secos representaría un 13%.

También trabajos realizados por ALLEN y ALLEN (1958), BRYAN (1962), DONALD (1960) y HENGELL y NORVIS (1962) determinaron que el aporte porcentual de la fijación al N total absorbido sería del orden del 50%, aunque se han encontrado valores superiores.

En cuanto a kg de N aportado, WEBER (1966) determinó que el cultivo de soja creciendo en suelos de fertilidad media, era capaz de fijar 160 kg de N/ha. SLOGER et al, reportaron valor de 103 kg de N/ha en condiciones similares.

NORMAN (1978) menciona que la fijación simbiótica de N produce el 40-70% de los requerimientos del cultivo. La fijación de N aumenta a medida que el tamaño de la planta es mayor y llega a un máximo poco después que la planta entre totalmente en estado reproductivo.

reproductivo.

BEZDICEK et al (1975) realizaron un trabajo durante dos años para estimar la magnitud de la fijación.

Cuadro N° 5. Rendimiento y fijación de N por el cultivo de soja, para 2 años (Bezdicek et al, 1975)

Año	Tratamiento	Rend. kg/ha	N % en grano	N(kg) en planta	N(kg) fijado	N aportado por fijación%
1975	Inoculado	4.489	5,6	387	311	80
1975	Control	1.035	4,8	76	-	-
1976	Inoculado	3.407	-	368	263	71
1976	Control	1.243	-	105	-	-

Otra forma de estimar la fijación es por medio de la actividad reductora del acetileno que presentan las bacterias del nódulo.

HARDY ET AL (1971), citado por WEBER y SLOGER (1973) integrando los valores de reducción del acetileno durante el ciclo del cultivo estimaron que el aporte de N fue de 149 a 163 kg/ha. Usando esta misma técnica WEBER et al en el año 1973 reportaron valores de 164 kg/ha para la variedad Kent; el rendimiento en este caso fue 2300 kg con 42% de proteína en la semilla.

Según WEBER (1966), rendimientos de 1940 kg de grano pueden ser obtenidos en los suelos típicos de Iowa, con variedades no noduladas sin ninguna fertilización. Esto implica según dicho autor, que el cultivo obtiene mediante el proceso de absorción aproximadamente 166 kg de N.

NORMAN y KAMPRTZ (1946) citados por DE MOOY et al (1973) estimaron el aporte de fijación utilizando N marcado (N^{15} labeled-

urea) y midiendo la actividad de la nitrato reductasa a nivel nodular. Los valores encontrados para los diferentes ensayos oscilaron entre 30-40%.

Con respecto a la fijación y a los requerimientos de las plantas, NELSON y WEBER en el año 1980 afirmaron que la actividad nodular es creciente desde la emergencia y alcanza sus máximos valores a los 115 días post-siembra. Luego se observa una disminución de dicha actividad, provocada por las muertes de los nódulos y la traslocación de N desde ésta hacia las vainas y el grano.

TANNER y ANDERSON (1969), citados por DE MOOY et al (1973), evaluaron la fijación de N mediante correlaciones estimadas entre el contenido de leg-hemoglobina y la actividad nodular. Encontraron un marcado descenso de dicho proceso cuando comenzó la formación de las vainas, momento en que el N era altamente requerido.

BURTON et al (1979), constataron también el descenso de la actividad fijadora en la formación de vainas. Según estos autores esta declinación coincidiría con los máximos requerimientos de carbohidratos y N para el llenado de los granos que comienzan a formarse, por lo tanto estos serían progresivamente movilizados desde las raíces y las hojas hacia las vainas.

Trabajos realizados por NELSON y WEAVER señalan que la fuente de N para la soja en la fase de formación de vainas era el N simbiótico. Estos autores señalan que aproximadamente el 79% de N del suelo, fue absorbido antes de la formación de vainas, dejando sólo aproximadamente 20 kg de N/ha para absorber del suelo en el llenado de vainas. Pero ellos señalan, que solamente el 15% del N total acumulado durante la fase de formación de vainas provenía del suelo; siendo el N restante aportado por fijación simbiótica.

NELSON y WEAVER (1979) observaron que el crecimiento de los nódulos, y actividad de reducción de acetileno se mantenía en la formación de vainas. En la fase siguiente a ésta, cuando el N era movilizado de las hojas, la reducción de acetileno disminuía. Por lo que estos autores concluyen que la fijación de N puede satisfacer las necesidades en variedades de crecimiento determinado de soja para su rendimiento de semilla; y que la movilización del N de las hojas no ocurría cuando las mayores demandas de N se producían. Esto fue confirmado por BEZDICEK et al (1978), quienes encontraron que la soja era capaz de fijar un exceso de 300 kg de N/ha en la estación de crecimiento.

II.2.2.3. *Efecto del N sobre el proceso de fijación.* La presencia del N combinado (NO_3) en el medio ambiente ha sido vista como inhibidora de la iniciación y desarrollo de los nódulos.

El N combinado estimula el crecimiento de las plantas de manera que, a pesar de sus efectos mencionados de inhibición de la iniciación del nódulo, se puede demostrar la ventaja del agregado de pequeñas cantidades de N combinado en las primeras etapas del crecimiento de las semillas con el número de nódulos formados. Esta es una respuesta del crecimiento de la raíz de la plántula joven al N combinado antes de que desarrolle su capacidad simbiótica de asimilar N.

La fijación simbiótica de N depende íntimamente de los sustratos respiratorios suministrados por el proceso fotosintético en las hojas. Un considerable control ambiental de la fijación de N es ejercida indirectamente por los efectos ambientales de la fotosíntesis. La fijación de N por la planta fue baja al comienzo, incrementando luego marcadamente hasta alcanzar un máximo poco después de la floración a partir de cuando decayó abruptamente durante el período de comienzo de llenado de la semilla.

La presencia de N combinado (mineral) reduce el proceso de fijación simbiótica; se observó una reducción del 60% de la actividad de la nitrato reductasa en los nódulos como resultado de la aplicación de N (NEYNY PGLV y SLABICO, 1967), citado por DE MUOY et al, consideraron que cualquier cantidad de N absorbido del suelo o del fertilizante incorporado al suelo retira cierta cantidad de fotosintatos que estaban ligados a los nódulos para aumentar el crecimiento y para la síntesis de proteínas.

El efecto desfavorable del N del fertilizante sobre la simbiosis puede ser debido a que la fertilización nitrogenada induce a la síntesis de mayor cantidad de proteína para el crecimiento de la planta o que produce desvíos de fotosintatos que irían a alimentar las bacterias de los nódulos.

De acuerdo a HARPER y COOPER (1971) y otros autores citados por RABIE et al (1979), la respuesta de una leguminosa al N combinado se ve acompañada por un significativo efecto depresivo en su nodulación, en la fijación de N o en ambas. A este respecto, los autores encontraron que la actividad del nódulo y la nodulación radicular, no sólo están influenciados por la relación carbono/Nitrógeno interna, pero también está afectada por la concentración de N en el medio de crecimiento (CARTWRIGHT, 1967, citado por RABIE et al).

HARPER y COOPER (1971) citado por RABIE et al (1979) estudiaron el efecto del N combinado en la nodulación de la soja. Dichos autores encontraron que el efecto inhibitorio del fertilizante N en el peso fresco de los nódulos no fue mayor cuando el N se localizó por debajo de la zona de nodulación, que cuando el N se aplicó disperso. Ellos sugieren que un alto nivel interno de nitrato radicular no apareció como determinante en la nodulación,

como así lo hizo la localización del N en contacto con los nódulos.

Según ALLEN y BARTHOLOMEW (1955,1959) citado por DE MOOY et al (1973) afirman que en suelos con bajo contenido de nitrógeno mineral, las aplicaciones de este elemento provocan un aumento en la absorción del mismo por las raíces y no tanto una disminución en la fijación; por lo tanto cuando se trabaja con valores expresados en forma porcentual, los datos pueden llevar a estimaciones erróneas. En estos trabajos, dichos autores estimaron que cuando se aplicaba una dosis que cubría del 10 al 15% de los requerimientos totales, el proceso de fijación podía aportar hasta un 83% del N total. Este porcentaje descendía a 42% cuando las dosis eran mayores.

DE MOOY et al (1973) sostienen que el número de los nódulos y tamaño de estos, normalmente se reducen cuando el aporte de N tanto del suelo o por fertilizaciones se incrementa. Aparte del efecto de los iones NO_3 en la rizosfera, y disminución en la formación de nódulos, se ha notado un descenso en la operatividad de los ya formados.

TANNER y ANDERSON (1964) confirmaron que los NO_3 tienen un efecto inhibitor sobre la infección de la raíz por el rhizobium.

HAM et al (1975) realizaron un trabajo durante 2 años en tres localidades diferentes para evaluar el efecto de distintas fuentes de N sobre el proceso de fijación. Los datos se expresan en el Cuadro N° 6.

Cuadro N° 6. Efecto de la fertilización "N" en la nodulación y fijación (Ham et al, 1975)

Localidad	Tratamiento	N fijado		Peso Nódulos por planta	N° nódulos/planta	Peso de los nódulos (mg)
		kg/ha	% total			
MORDIS	Testigo	22	27	0,6	28	21
	NH ₄ NO ₃	5	4	0,2	19	11
	Urea	8	6	0,4	24	17
LAMBERTON	Testigo	53	36	1,0	30	33
	NH ₄ NO ₃	16	9	0,6	24	25
	Urea	7	5	0,4	16	25
WASECA	Testigo	80	40	1,4	83	16
	NH ₄ NO ₃	34	13	0,6	57	11
	Urea	12	5	0,7	60	12

Las fuentes de N fueron NH₄ NO₃ y urea, aplicándose 224 kg de N/ha al momento de la siembra. Como se puede observar, los datos en las 3 localidades muestran que las dos fuentes de N evaluadas, disminuyeron la cantidad de N fijado/ha, el peso y el número de nódulos por planta y el peso por nódulo.

PARKER y DOWLER (1971), citado por DE MOOY et al (1973), aplicando 45 kg de N por ha a la siembra encontraron una reducción en el peso de los nódulos del 42%, cosechados estos a las 7 semanas post-emergencia, aunque dicho fenómeno no provocó mermas en los rendimientos con respecto al testigo sin N.

CASSMAN et al (1980) estudiaron el efecto de la combinación de diferentes tenores de N en la solución nutritiva y la inoculación sobre el crecimiento y la nodulación de las plantas de soja a las 3 semanas de crecimiento, realizándose los trabajos

en invernáculos. Los tratamientos con N contenían milimoles de este nutriente en solución, mientras que los sin N contenían 0 milimol. A los 7 días post-emergencia en los tratamientos sin N e inoculados, fue posible observar la formación de numerosos nódulos no existiendo estos en los otros tratamientos.

A los 14 días, los tratamientos sin N aparecieron cloróticos evidenciando la falta de dicho nutriente. Las raíces del tratamiento sin N e inoculado presentaban una buena nodulación; a su vez los nódulos eran más grandes y estaban situados en la parte superior de la raíz. En los tratamientos con N e inoculados se observó un mayor número de nódulos, pero estos eran más pequeños y se encontraban diseminados por todo el sistema radicular. Estos tratamientos presentaron más nódulos pero el peso seco de estos por planta era menor que los que carecían de N en la solución. En cuanto a la longitud del sistema radicular, las plantas sin inocular presentaron un sistema más desarrollado que las inoculadas. Dichos autores concluyen que en este trabajo, las concentraciones de N usadas, no presentaron efectos inhibitorios sobre el proceso de nodulación, aunque los nódulos fueron más pequeños y se observó en muchos de ellos la ausencia de leg-hemoglobina. Esto indicaría que los mismos serían inefectivos.

Cuadro N° 7. Efecto de la aplicación de N y la inoculación sobre el crecimiento y nodulación a las 3 semanas post-siembra (Cassman et al, 1980)

Tratamiento		P.S. nódulos (gr)	P. raíz (g)	P.P. aérea (g)	N° nódulos	Long. raíz cm/pl
Sin N	inoculado	0,062	0,14	0,54	47	422
	sin inoculado	0,004	0,16	0,49	4	514
Con N	inoculado	0,015	0,19	1,06	61	646
	sin inoculado	0,002	0,22	1,14	5	807
Significación						
Inoculación		***	NS	NS	***	**
N		***	**	**	*	***
Interacción		**	NS	NS	*	NS
Nivel de significación:			*** : 0,001			
			** : 0,01			
			* : 0,05			

TRANG y GIDDENS (1980), trabajando con distintas dosis de N en soluciones, encontraron efectos marcados de este nutriente sobre el proceso de formación de nódulos y la actividad de estos.

Cuadro N° 8. Efecto del N sobre la nodulación y la actividad de los nódulos medida a través de la reducción del acetileno [Trang y Giddens, 1980]

N ppm	N°	P.S. (mg/pl)	Actividad nodular
			N moles C ₂ H ₄ /pl/h
0	14a	28,4 a	1,1 a
30	10b	15,4 b	0,7 b

Dichos autores encontraron un efecto inhibitorio significativo de la concentración de 30 ppm de N en la solución. Dicho efecto fue notorio en el peso seco de los nódulos y la actividad de los mismos.

RABIE, ARIMA y KUMAZAWA (1979) estudiando la relación de la fuente de N con respecto a la actividad de los nódulos encontraron que el Peso seco de los nódulos disminuía con aplicaciones de N; siendo el tratamiento en superficie con nitratos el más depresivo. También encontraron que si la aplicación de N se realizaba al estado de llenado de vainas el peso seco de los nódulos no disminuía sino que se incrementaba.

En cuanto a la actividad de los nódulos, estos entonces encontraron que al inicio de la floración, excepto para aplicaciones en superficie de urea, todos los tratamientos nitrogenados probaron ser depresores de la actividad nodular. Las actividades específicas del nódulo generalmente disminuyeron en presencia de N combinado.

Al inicio del llenado de vainas, estos autores encontraron que aplicaciones en superficie de nitratos mostraron ser menos perjudiciales en la totalidad de las actividades de nódulos, com

parando con los otros tratamientos que la perjudicaban drásticamente.

II.2.3. Períodos críticos en la nutrición nitrogenada

Según DE MOOY et al (1973) el período previo a la floración es frecuentemente considerado como el de mayor necesidad de N para la planta de soja. En este momento el cultivo de soja necesita más N de lo que lo provee la simbiosis y el suelo.

NEUNYLOV y SLABKO (1967) encontraron que el N suministrado previo a la floración resultó en un mayor crecimiento, mayor área foliar, floración más abundante y mayor rendimiento. Este efecto puede no ser compensado en aplicaciones más tardías. Es sabido desde hace tiempo que el número de vainas retenidas por la planta, es condicionado por el nivel de nitrógeno en la planta (LATWELL y EVANS, 1951; KONNO, 1967); citado por DE MOOY et al en 1973.

La conclusión de que el nitrógeno es más efectivo en aplicaciones tempranas confirman los hallazgos de HAWKES (1957), citado por DE MOOY et al (1973), quien aplicó nitrógeno antes de la floración, durante y después de ella encontró que todas las aplicaciones antes de la floración aumentaban los rendimientos significativamente y el máximo rendimiento fue obtenido cuando las aplicaciones de nitrógeno fueron detenidas por dos semanas durante la floración.

IWATA y UTADA, citados por los mismos autores llegaron a la misma conclusión al observar una reducción en el rendimiento cuando se restringía la fertilización nitrogenada en un período de 2 ó 3 semanas previo a la floración. No encontraron las mis

mas respuestas con un período de restricción en otros estadios de crecimiento.

OHLROGGE (1960) de resultados obtenidos tanto en experimentos de campo como en invernáculo concluyó que los períodos más importantes para la fertilización nitrogenada son la floración y el llenado de grano. Este autor manifiesta que no se han encontrado variaciones de importancia en las tasas diarias ni en las determinadas en los diferentes estadios del cultivo.

STREETER (1978) trabajando en hidroponia, estudió el efecto del déficit de N provocado en diferentes momentos del ciclo del cultivo, en plantas no noduladas.

El déficit de N al momento de formación de granos provocó una merma en el peso individual de los granos y su contenido de N, pero no afectó el proceso de senescencia de las hojas. Este déficit en la floración provocó una merma en todos los componentes del rendimiento y la senescencia de las hojas fue prematura.

Estudios japoneses sobre el efecto de la temperatura en la nutrición nitrogenada muestran que altas dosis en un período de bajas temperaturas (15°C) reducen la formación de vainas y la fertilización de óvulos.

Altas temperaturas (23°C) no provocan dicho efecto para un período de 10-15 días antes de la floración (HASCHIMOTO y YAMAMOTO, 1970) citados por DE MOOY et al, (1973).

Resultados similares fueron obtenidos por RATNER y SAMAJLOVA (1970) citados por los mismos autores quienes encontraron que con un tratamiento de 19 días de bajas temperaturas (12°C) antes del inicio de la floración se redujo el número de vainas por planta a no ser que se suministrara nitrógeno. El peso de las

vainas también disminuyó y el nitrógeno aplicado solamente compensó en algo dicha pérdida, mientras que la producción de materia seca no fue afectada.

A una temperatura de 22°C, el resultado de la aplicación de nitrógeno se transformó en un aumento del peso seco total y mayor número de vainas por planta.

SCOTT y ALDRICH (1975) encontraron resultados positivos cuando se aplicaban 30 kg de N/ha a la siembra en suelos muy desgastados y con escaso contenido de materia orgánica. Esto lo explicaron porque los nódulos, aunque puedan formarse a la semana siguiente a la germinación de la semilla, comienzan a fijar nitrógeno una o dos semanas después.

Por este motivo se observa una respuesta al aplicado cuando se trata de suelos pobres, pero cuando la fijación de se da plenamente por lo común las plantas parecen superar esta deficiencia temporaria.

Esto estaría de acuerdo con lo encontrado por NORMAN (1978) que destaca la importancia de aportar una pequeña cantidad de N como "STARTER".

Según observó el hecho de ser un aporte inmediatamente disponible para la planta, puede promover el desarrollo en el período previo a la puesta en marcha del mecanismo de fijación simbiótica. Esto se dará perfectamente si el suelo está caliente en el momento de la siembra.

AMENDOLA (1976) determinó que los nódulos recién comienzan a aportar N significativamente a los 20-30 días de nacida la planta. Este autor recomienda en praderas arenosas la aplicación básica de 20-30 unidades de N/ha.

Según SAUMELL (1975) la cantidad de N fijado por las bacterias no sería suficiente y aproximadamente entre el 30 y 50% del nutriente necesario para la planta es tomado de los nitratos o iones amónicos directamente del suelo, durante el último mes del período vegetativo cuando se están formando las semillas. El autor agrega que lo antedicho es perfectamente lógico si se considera que luego de plena floración la actividad nodular decrece paulatinamente por propio envejecimiento de la bacteria hasta hacerse nula a la caída de las hojas.

II.2.4. Posibilidad de respuesta al Nitrógeno y efecto de las diferentes fuentes

II.2.4.1. *Consideraciones generales.* Los resultados obtenidos en ensayos de campo con fertilizantes nitrogenados son extremadamente variables. Algunos ensayos muestran que es necesario N adicional (NORMAN, 1944; NEUNYLIOV y SLABKO, 1968b; DORNEANN et al, 1970) citados por DE MOOY et al (1973).

En la URSS, FILIMONOVA y POSYPANOV (1970) citados por los mismos autores obtuvieron mayor rendimiento y mayor contenido de proteína en el grano cuando se fertilizó con N que cuando la planta solamente utilizó N atmosférico.

El uso de fertilización nitrogenada fue utilizado en plantas noduladas y no-noduladas por distintos autores, para comprobar la posibilidad de que las plantas no-noduladas, con el ahorro de energía requerido para mantener el sistema nodular, fueran superiores en la utilización del N. De todas maneras las plantas no-noduladas no alcanzan los rendimientos obtenidos por las noduladas en ningún rango de aplicación del fertilizante nitrogenado (DE MOOY, PESEK y SPALDON, 1973).

Una explicación del porque las plantas noduladas con fertilización rindieron más que las no-noduladas se basa en que el proceso de fijación simbiótica puede ser altamente perjudicado por altas dosis de fertilizante pero siempre mantiene alguna actividad (WEBER, 1966), citado por DE MOOY (1966).

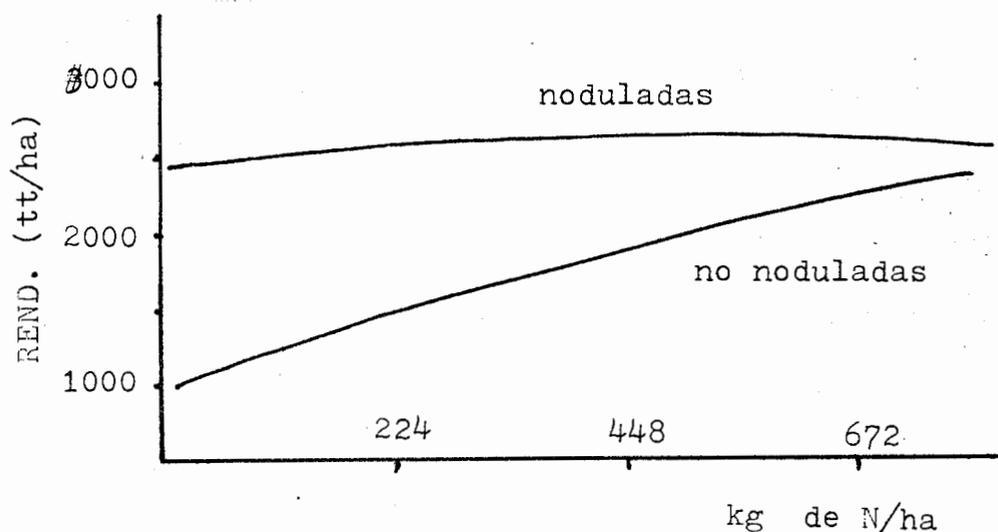


Figura N° 3. Respuesta de rendimiento de soja nodulada y no-nodulada en la aplicación de N (WEBER, 1966)

Esto fue confirmado por DIEBERT et al (1979) en sus trabajos con N marcado sobre isolíneas noduladas y no-noduladas.

Según DECHEN, OLIVEIRA y HAAG (1975) dosis de 0-105-210-420-840 y 1680 ppm de N sobre la variedad Santa Rosa, demostraron que en ausencia de N la nodulación fue mayor que en presencia del mismo y que la inoculación de la semilla producía mayores cantidades de materia seca que la que se obtenía con dosis creciente de N aplicado; estos autores agregan que para los tratamientos sin inocular, los mayores resultados en cuanto a producción de materia seca fueron obtenidos para las dosis de 420-840-1680 ppm de N.

Las condiciones ambientales son un factor importante en el control a la respuesta de N. Estudios anteriores reportan una buena respuesta en estación seca y caliente y una falta de respuesta con adecuadas lluvias (LYONS y EARLEY, 1952).

En el otro extremo, numerosas respuestas han ocurrido a raíz de fuertes lluvias caídas durante la primavera las cuales producen una lixiviación de los nitratos a profundidades mayores lo cual hace que la interferencia con la nodulación sea reducida y son asimilables para la planta cuando el sistema radicular se expande en profundidad (DE MOOY, PESEK y SPANDON, 1973).

HAMMOND et al, 1951; HENDERSON y KAMPRATH, 1970; y HANWAY-WEBER, 1971; observaron que la concentración de N en las partes vegetativas de la soja decrecen invariablemente durante la estación de crecimiento.

LATHWELL-EVANS (1951) y HANWAY-WEBER (1971), encontraron que el agregado de altos niveles de N a las plantas de soja incrementan la concentración de N en los tejidos vegetativos.

ALLOS y BARTHOLOMEW (1959) indicaron que el agregado de una pequeña cantidad de N inorgánico a la soja puede incrementar la cantidad de N fijado y que la fijación aporta de un 50 a 75% del N requerido para obtener los máximos rendimientos.

HARPER (1974) confirma que ambos, el N fijado y el N inorgánico son requeridos para obtener altos rendimientos.

SORENSEN y PENAS (1978) encontraron varios trabajos que midieron los incrementos de rendimiento con la fertilización entre ellos BHANGHOO y ALBRITTON (1972); JHONSON y HUME (1972); LYONS y EARLEY (1952), aunque estos aumentos fueron pequeños. Por otra

parte, varios investigadores observaron que no hay efecto de la fertilización "N" sobre el rendimiento de soja, entre ellos BEARD y HOOVER (1971); MEDERSKI, WILSON y WOLK (1958); WAGNER (1962) y WELCH, BOONE, CHAMBLISS, OLOHAM y PENDLETON (1973).

RUNGE y ODELL (1960) en un trabajo sobre el tema sugieren que los requerimientos de la planta de soja en condiciones de campo son aproximadamente a lo que la simbiosis le proporciona. Puede ocurrir una deficiencia cuando existe poco N disponible en el suelo o cuando las condiciones de humedad en las capas superiores del suelo se hacen limitantes. Ellos encontraron dos fechas picos en donde los requerimientos de humedad son importantes: durante el rápido crecimiento vegetativo y durante el llenado del grano. La liberación de N del suelo por parte de la lluvia estival, en el momento que más se precisa puede ser un factor fundamental para que haya o no una respuesta a la fertilización con N. Por lo tanto dicha respuesta puede variar con el año. Los resultados obtenidos sobre esta materia son extremadamente variables.

BUTTERY (1969) observó que la fertilización aumentó el peso final de la planta, debido principalmente a un retardo en la declinación de la tasa de asimilación neta y la tasa de crecimiento del cultivo hacia finales del ciclo.

Esto fue confirmado por estudios realizados por HENDERSON y KAMPRATH (1970) donde encontraron altos valores de tasa de crecimiento del cultivo y asimilación neta, los que tuvieron gran importancia en la determinación de los rendimientos.

AMENDOLA, L.A. (1976) estudió el efecto de la inoculación y la fertilización nitrogenada en las variedades BRAGG y HILL para dos suelos diferentes del NE del Uruguay.

Cuadro N° 9. Respuesta a la inoculación y fertilización de las variedades BRAGG y HILL, datos promedio de dos ensayos (AMENDOLA, 1976).

<u>Tratamiento</u>	<u>Pradera arenosa</u>		<u>Pradera negra</u>	
	<u>kg/ha</u>	<u>Rend.relat.</u>	<u>kg/ha</u>	<u>Rend.relat.</u>
Testigo (sin inocular) y sin N	1628	100%	1960	100%
Inoculado	2708	166%	3071	157%
80 kg N/ha	1952	120%	2380	127%
160 kg N/ha	2025	124%	2690	137%

Como se puede observar la dosis de fertilizante aplicado no logró alcanzar los rendimientos de los cultivos inoculados en ninguno de los suelos.

La eficiencia del proceso de fijación fue entre 30 y 40% mayor que la utilización del fertilizante. En los suelos arenosos la respuesta a la inoculación fue mayor que en la pradera negra.

SMITH et al (1981) estudiaron la influencia de los rangos de aplicación de *Rhizobium japonicum* y la fertilización nitrogenada sobre la nodulación y los rendimientos del cultivo de soja. Se encontraron relaciones lineales y positivas entre los rangos de aplicación de *Rhizobium* y el número y peso de nódulos por planta. Los rendimientos más altos fueron obtenidos con los mayores rangos de aplicación de *Rhizobium*, los que presentaban más de tres nódulos por centímetro de raíz a los 53 días post-emergencia.

Luego, en orden decreciente de rendimiento se ubicaron los tratamientos con 100 kg N/ha y finalmente aquellos que presentaban menos de 3 nódulos por cm en raíz a los 53 días.

BARNI, GONCALVES y GOMES (1976) estudiaron la respuesta de

la soja a la fertilización nitrogenada sobre los suelos con bajo contenido en materia orgánica. No encontraron efectos significativos para rendimiento en grano ni para número de granos por planta; peso de 100 granos, altura de la planta o altura de inserción de la primera vaina.

SCOTT y ALDRICH (1975) resumen que cuando la soja presenta una buena nodulación no se logra un aumento sustancial en el rendimiento, salvo el que se obtiene con el agregado de una pequeña dosis básica de dicho nutriente en el momento de la siembra.

II.2.4.2. *Efecto de la aplicación a la siembra.* SORENSEN y PENAS (1978) estudiaron la respuesta a la fertilización nitrogenada durante 3 años en 13 sitios diferentes de Nebraska. En 9 de los 13 sitios los rendimientos fueron incrementados por la aplicación de N. Las respuestas para dichos sitios fueron lineales entre las dosis de 0 y 224 kg N/ha. Los rangos de incremento de producción oscilaron entre 0,83 kg de semilla por kg de N y 2,5 kg de grano/kg de N. En los tratamientos en que las respuestas fueron significativas también se observó un incremento en el tamaño de los granos.

En cuanto al contenido de N en la planta cosechada hacia el final de la floración, no existió correlación entre dicho parámetro y la respuesta en rendimiento por lo que el porcentaje de N no es un buen estimador de los rendimientos en el cultivo de soja según estos autores.

HAM et al (1975) trabajaron durante 2 años con el fin de evaluar la respuesta al N aplicado en la siembra en variedades noduladas y no-noduladas. Estos autores encontraron que los rendimientos fueron incrementados en las dos isolíneas. Para las va

riedades no noduladas, estos fueron del orden del 40% cuando se aplicó urea. Este incremento se explica por un aumento en el peso de los granos del orden del 75% y en el número de granos por ha de 25%. En las variedades noduladas el incremento de rendimiento fue menor estimándose en el orden del 11%. En este caso se observó un incremento del número de granos por hectárea pero el peso de estos no varió. El contenido de N y proteína del grano aumentaron con la aplicación de urea para las dos isolíneas. Estos autores sugieren que aún en las variedades noduladas el N total obtenido por las plantas no es suficiente para la expresión potencial del rendimiento. Al comienzo del ciclo y cuando aún no son visibles los nódulos, las plantas tendrían a su disposición el N proveniente de las reservas de la semilla y una pequeña parte aportada por la absorción. En este lapso que dura entre 15-20 días, según HAM et al (1975) un adecuado nivel de N en el suelo sería fundamental para lograr un buen desarrollo y vigor inicial.

CAPURRO (1979) sostiene que la soja no obtiene todo el N del aire y que cuando los rendimientos son buenos entre el 30 y 50% del N que utiliza la soja es absorbido del suelo. Esto aparentemente explicaría porque la soja responde poco a la fertilización directa con N, y si responde a la fertilización de cultivos anteriores y a la fertilidad del suelo, ya que en un suelo de alta fertilidad suministra N durante todo el ciclo del cultivo y no perjudica la fijación simbiótica. En cambio, cantidades medias a altas de N sí perjudicarían la fijación de N del aire. El agregado de N como starter permite lograr un crecimiento inicial más rápido y uniforme del cultivo, lo que es fundamental para mejorar su pobre competencia con las malezas.

II.2.4.3. *Efecto de la aplicación al momento de la formación de vainas.* Las aplicaciones prefloración y al momento de formación de vainas pueden ser tanto foliares como en el suelo.

En cuanto a las aplicaciones foliares VASILAS et al (1980) realizaron trabajos con variedades Kent y Williams para analizar la respuesta en rendimiento de estos cultivares a la fertilización foliar con NPKS. En el año 1976 no se observaron respuestas significativas en ninguna de las variedades, mientras que en el año 1977 la variedad Kent aumentó su rendimiento en 1045 kg/ha con respecto al testigo.

También se evaluó el tratamiento con PKS para ese año (1977) sin haberse encontrado respuestas, lo que indicaría que la inclusión de N en la aplicación foliar sería imprescindible para lograr estos incrementos. Los autores agregan también que hubieron otros factores que influyeron en los resultados logrados en 1977, ya que se registraron abundantes lluvias que permitieron un aprovechamiento eficiente de los nutrientes aplicados y por ende un incremento en los rendimientos.

Un trabajo similar efectuado por PARKER y BOSWALL (1980), donde evaluaron la aplicación foliar de N y NPK y S entre floración y formación de vainas. Las aplicaciones se efectuaron con 7 días de separación entre una y otra, usándose 2,8; 2,9; 9,5 y 1,7 kg/ha de NPK y S respectivamente.

Los rendimientos fueron inferiores al testigo en un 10,9% cuando el tratamiento utilizado no incluía al N como nutriente y 17,6% cuando éste era incluido. Los tratamientos en general dañaron el follaje encontrándose una correlación negativa ($r^2 = -0,89$) entre los daños causados por el fertilizante y los rendimientos.

BOOTE et al (1978) estudiaron el efecto de la fertilización foliar con NPK y S sobre la concentración de nutrientes en las hojas, actividad fotosintética y los rendimientos.

Los fertilizantes elevaron la concentración de nutrientes en 0,5% en promedio. Con respecto a fotosíntesis ésta también aumentó-, pudiéndose explicar este aumento por el aumento en la concentración de los tejidos de N,P y K. Pero los aumentos, tanto de fotosíntesis como en concentración de nutrientes en los tejidos no se tradujeron en un incremento en los rendimientos, ya que según BOOTE (1978), este aumento en fotosíntesis se produce muy tarde en el ciclo del cultivo cuando muchas de las hojas inferiores del cultivo ya han caído.

TERMAN (1978), realizando estudios similares concluyó que la respuesta para los distintos nutrientes fue en orden decreciente: N,P,K,S, > N,P>P,K>N,K,S, >N>testigo. Las aplicaciones foliares presentaron una menor respuesta que las efectuadas al suelo, posiblemente por los daños que éstos provocaron sobre el follaje.

En cuanto a las aplicaciones en el suelo WELCH et al (1973), utilizando tres dosis de N aplicadas en diferentes momentos de la etapa reproductiva de la planta para evaluar la respuesta en rendimiento, y el contenido de N en el grano no encontró variaciones tanto en rendimiento como en contenido de N.

BREVEDAN et al (1977) realizaron trabajos en invernáculo y en el campo para estudiar la respuesta a la fertilización nitrogenada en floración y formación de vainas. La aplicación de 169 kg N/ha en forma de nitrato de amonio en floración y en la formación de vainas provocó un aumento en los rendimientos. Este incremento se debió fundamentalmente al mercado, aumento que se produjo en la cantidad de granos por ha y al aumento en el número de nódulos por planta.

Las aplicaciones de N también provocaron un incremento en la concentración de éste en las diferentes partes de las plantas siendo 13% superior en las hojas, 46% en los pecíolos y 21% en los tallos. Según estos autores, la mayor concentración de N en los tejidos de las plantas permitiría que este en el momento del llenado del grano, fuera removido hacia dicho sitio e incrementaron los rendimientos. Este autor señala que la aplicación tardía de N en el cultivo de soja, para condiciones normales de crecimiento, provoca un aumento de los sink o depósitos de carbohidratos, o sea se incrementaría el número de vainas por planta o de grano por ha.

Según DE MOOY et al (1973) muchos autores concuerdan en que un adecuado nivel de N en la floración provoca una mayor retención de vainas por la planta. Los máximos rendimientos logrados por dichos autores ocurrieron cuando las aplicaciones nitrogenadas se efectuaron inmediatamente antes de la floración.

RABIE et al (1981) mostraron que durante el desarrollo de las vainas, cuanto más temprano se aplique el fertilizante, mayor va a ser la absorción de N y la respuesta en rendimiento. El contenido de nitrógeno combinado, para todas las partes de la planta, es mayor cuando se agrega en la formación de vainas que cuando se agrega durante el llenado de las mismas. Esto se comprobó tanto cuando la fuente fue nitrato como cuando fue amonio.

RACCA y BORDRERO (1981) en un trabajo realizado en la provincia de Santa Fe (Argentina) evaluaron el efecto de la nutrición nitrogenada (urea en superficie) durante el estadio de botón floral, arribando a las siguientes conclusiones:

- las parcelas fertilizadas amarillearon más tardíamente sufriendo un retraso de aproximadamente 10 días con respecto al testigo.

- En todas las dosis utilizadas hubo respuesta a la fertilización.
- El aumento en producción de granos fue lineal respecto a la dosis de fertilizante aplicado, alcanzando diferencias significativas, sólo al nivel más elevado: 200 kg/ha de N.

Cuadro N° 10. Influencia de la fertilización nitrogenada sobre la producción de granos de soja (RACCA, 1981)

N (kg/ha)	Rendimiento (kg/día)
0	3379
50	3507
100	3666
200	3892+

+ = significativo (nivel 5%)

Se produjo un aumento en el contenido de proteínas/disminución de las sustancias grasas con el incremento de la dosis de N agregado.

Cuadro N° 11. Influencia de la dosis de N sobre el porcentaje de proteína y de materia grasa (RACCA, 1981)

N (kg/ha)	Proteínas (Kjeldahl)	Materia grasa (Sohxlet)
0	38,5	16,1
50	38,5	15,1
100	38,9	14,9
200	40,1	13,9

II.2.4.4. *Efecto del N residual.* Cuando se aplican dosis elevadas de N a la siembra y luego ocurren lluvias que lavan los nitratos y los depositan a mayor profundidad en el perfil del suelo, no se llevaría a cabo, según DE MOOY et al (1973), la acción inhibitoria de esta sobre el proceso de fijación. A su vez se mantendría una adecuada concentración de nitratos en profundidad que estarán a disposición de las raíces en etapas más avanzadas del crecimiento. Estos autores para comprobar su hipótesis realizaron aplicaciones de 224 kg N/ha a una profundidad de 30 a 60 cm y encontraron incrementos en los rendimientos del orden de 340 kg/ha mientras que la aplicación de dicha dosis en superficie no tuvo diferencia con el testigo.

WELCH et al (1973) observaron los resultados obtenidos durante 18 años de monocultivo de soja en la zona de Hartsburg, los cuales recibían fertilizaciones nitrogenadas incorporadas al suelo mediante disquera al momento de la siembra. Estos demostraron que dichas aplicaciones, no incrementaron los rendimientos del cultivo. Sin embargo, los rendimientos de los últimos 4 años del período considerado, manifestaron superioridad con respecto a los anteriores.

Dichos autores sostienen que dichos incrementos se explican debido a que la soja tendría acceso al N por dos vías: a) N residual orgánico proveniente de la incorporación al suelo de residuos ricos en este elemento; b) fertilizaciones anuales.

Los mismos autores estudiaron el efecto residual de diferentes dosis de nitrato de amonio aplicado sobre un cultivo de maíz sobre los rendimientos de la soja.

El nitrógeno aplicado sobre el maíz no afectó los rendimientos de la soja sembrada posteriormente, aún usando dosis de 360 kg N/ha. Estos autores señalan que el maíz en años favorables es capaz de extraer 180 kg N/ha por lo que quedaría una cantidad elevada en el suelo.

II.2.4.5. *Efecto de distintas fuentes de N combinado.* UZIAKOWA (1959) y UZIAK (1960) citados por DE MOOY et al (1973) muestran que las respuestas en crecimiento inicial por aplicaciones de N pueden desaparecer antes de la madurez. Comparadas 4 fuentes de N: NH_4NO_3 , HNO_3 , urea y NH_4OH . El N total acumulado aumentó en un 42% a la floración y 19% a la madurez cuando se utilizó urea mientras que las otras fuentes tuvieron efectos pequeños. La formación nodular fue reducida por la aplicación de altas dosis de NH_4OH , HNO_3 , NH_4NO_3 y urea en ese orden.

UZIAK (1960) observó otros efectos de las fuentes de N sobre el metabolismo general de las plantas. La urea y NH_4^+ aumentan los contenidos de amida, aspargina, arginina y lisina de las hojas y hubo diferencias significativas en el contenido de clorofila A dependiendo de la fuente usada. Este fue menos con N atmosférico y NH_4OH , intermedio con urea y alto con NO_3^- .

RABIE, ARIMA y KUMAZAWA (1979) realizaron un estudio sobre la influencia de la fuente; método de aplicación del fertilizante nitrogenado en el crecimiento, actividad nodular y en el rendimiento de la soja.

Las fuentes que utilizaron fueron: sulfato de amonio, nitrato de potasio y urea antes de plantar y estos se aplicaron en su superficie y profundidad.

En cuanto a la acumulación de materia seca, todos los trata

mientos con N aumentaron la materia seca acumulada en toda la planta, particularmente en la iniciación de la floración y en la iniciación del llenado de vainas.

En relación al rendimiento y sus componentes, el rendimiento en semilla y número de vainas por planta; salvo para aplicaciones en superficie de amonio, donde ambos aumentaron en un 12 y 21% con respecto al testigo; los demás tratamientos no incrementaron ni disminuyeron el rendimiento. Este fenómeno desfavorable, los autores lo relacionaron con el fenómeno de caída de vainas. El rango de caída de vainas fue para los tratamientos con N del 12 a 46% mientras que para el control fue un 0%. La menor caída de vainas la obtuvieron con aplicaciones superficiales de amonio, un 12% fue la que produjo un rendimiento en semilla mayor. En relación al número de semillas por vaina y peso de 1000 semillas, los autores observaron que excepto para aplicaciones profundas de amonio que fue significativamente favorable; los demás tratamientos con nitrógeno no fueron efectivos.

De todas maneras concluyeron RABIE et al (1980) este efecto favorable en el número y peso de las semillas por vaina se debió a que ese tratamiento tuvo un número pequeño de vainas por planta.

II.3. NUTRICION FOSFATADA

El P es indispensable para la vida por su rol genético en el ácido ribonucleico y su función en la transferencia de energía vía A.T.P. En el ecosistema natural, el P es el elemento limitante debido a su baja disponibilidad.

La prevalencia de Al, Fe y Ca que combina con el P formando compuestos altamente insolubles son las causas. Del P del sistema suelo-planta-animal, comúnmente más del 90% está en el suelo.

En el suelo se puede considerar que está en 3 fracciones; la Materia Orgánica puede contener más del 50% del P del suelo; la fracción in soluble y una muy pequeña y variable es la parte soluble que puede ser absorbida por las plantas.

II.3.1. Factores que afectan la disponibilidad del P en el suelo

Según Shapiro, Armiger y Fried (1960) hay factores tanto del suelo como de la planta que afectan la absorción de P; y lo hacen interfiriendo alguna de las siguientes etapas:

- a) transferencia del ión fosfato de la fase sólida a líquida,
- b) movimiento del ión fosfato a la interfase solución suelo/raíz,
- c) absorción del P de la solución del suelo a la solución de la planta.

II.3.1.1. Factores del suelo. Los principales factores que influyen en la retención de P en los suelos son:

II.3.1.1.1. Mineralogía de las arcillas

Según SAMPLE, SOPER y RACZ (1980) suelos con bajas cantidades de sesquióxidos libres y con predominancia de montmorillonitas y caolinitas fijan menos P que suelos que consisten principalmente en sesquióxidos bien cristalizados, gibbsita, goethita y hematita. Estos a su vez fijan menos P que suelos compuestos principalmente de coloides amorfos, gibbsita y goethita finamente divididas. Suelos con altos contenidos, cuanto menos cristalinos son, la mayor capacidad de fijación de P es debida a una mayor área de superficie.

II.3.1.1.2. *Contenido de arcillas.*

TISDALE y NEOSON (1975) señalan que entre suelos de similar mineralogía de arcillas, la fijación de P se incrementa con crecientes cantidades de arcilla.

II.3.1.1.3. *Contenido de coloides amorfos.* SAMPLE, SOPER y RACZ (1980) determinaron que la fijación de P está positivamente correlacionada con el contenido de coloides amorfos y con el área de superficie.

II.3.1.1.4. *Materia orgánica.*

Según SAMPLE, SOPER y RACZ (1980), en suelos con altos contenidos de sesquióxidos, los radicales orgánicos pueden bloquear los hidroxilos expuestos sobre la superficie de óxidos de Fe y Al; disminuyendo así la capacidad de fijación de P.

TISDALE y NELSON (1975) concluyeron que la adición de materia orgánica al suelo puede alimentar la disponibilidad del P del suelo.

II.3.1.1.5. *Tiempo de reacción.*

De acuerdo a TISDALE y NELSON (1975) cuanto mayor sea el tiempo en que el suelo y el P agregado están en contacto, mayor será la cantidad fijada de este elemento. Esto posiblemente resulte de la alteración subsiguiente de los productos en fijación, por deshidratación y reordenación de sus cristales. Es también importante la localización del P en el suelo. La aplicación en bandas disminuye la superficie de contacto suelo-fertilizante aumentando así el tiempo de reacción.

II.3.1.1.6. *Temperatura.*

Aunque las velocidades de las reacciones químicas aumenta generalmente con el aumento de temperatura - según TISDALE y NELSON (1970) el grado en que este factor afecta la fijación de P en el suelo bajo condiciones normales de campo no es bien conocida.

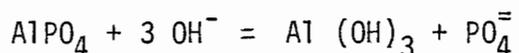
II.3.1.1.7. *Estado de P en el suelo.*

Según TISDALE y NELSON (1970) es importante en la fijación del fertilizante aplicado el grado de saturación en P en el suelo, o la cantidad de este elemento fijado previamente por el suelo.

La relación P_2O_3/P_2O_5 es una medida de la cantidad de P presente en relación al contenido de óxidos de Fe y Al del suelo. Una reacción alta indica una cantidad pequeña de P presente o un valor bajo de saturación en P. Bajo tales condiciones son fijadas mayores cantidades del P agregado que cuanto la relación es baja.

II.3.1.1.8. *pH.*

Según BLACK, C.A. (1975) el pH del suelo afecta la disponibilidad del P para las plantas de distintas maneras. La influencia del pH en el comportamiento de los fosfatos de Fe y Al y de los óxidos hidratados de Fe y Al, es, según el autor un efecto a una serie de efectos que pueden representarse por la ecuación:



que destaca el papel que desempeña la actividad del ión oxhidrilo, cuando el pH o la actividad del ión oxhidrilo aumentan, los fosfatos de Fe y Al, liberan fosfato en forma soluble y el Al y

el Fe permanecen en forma insoluble como hidróxidos.

El autor agrega, que a la inversa, cuando el pH o la actividad del ión disminuyen, o cuando la del ión fosfato aumenta, la tendencia de los hidróxidos de Fe y Al será de reaccionar con el fosfato para formar fosfatos de Fe y Al. Finalmente, BLACK(1975) explicó que la reacción depende mucho de la concentración en la escala de los valores de pH y de las concentraciones de fosfato comunes en los suelos, citando a su vez que en ocasiones a esto se le conoce como reacción de intercambio aniónico.

MAXIMOV, N.A. (1952) en un estudio sobre los factores que afectan la disponibilidad de nutrientes explica que la concentración de hidrogeniones en el suelo estaría afectando el grado de aprovechamiento de las sustancias insolubles. Según el autor, los cereales absorben mejor el fosfato rocoso en suelos con un rango de pH entre 5 y 8, a su vez verificó que los cereales en general absorbían mejor el fosfato en suelos podzólicos levemente ácidos que en suelos negros ligeramente alcalinos, pues la cantidad de bicarbonato cálcico es uno de los principales agentes reguladores de la disponibilidad de los principios insolubles. Agrega este autor que un exceso de sales cálcicas produce en el suelo reacciones alcalinas, ocasionando clorosis en muchas plantas, debido fundamentalmente a la insolubilización de los iones de Fe.

Según HANNA y HUTCHENSON (1968) una vez que los compuestos orgánicos o los fertilizantes químicos liberan los iones fósforo a la solución del suelo, el pH del medio tiene un marcado efecto sobre ellos. Por debajo de un pH de 5,5 los iones fosfato reaccionan formando compuestos con Fe y Al que no pueden ser absorbidos por las plantas. Lo mismo ocurre con pH mayores que 7.0, formando compuestos de esos iones fosfato con Ca, si este es abundante. Los fosfatos mono y dicálcicos pueden ser absorbidos, pe

ro el fosfato tricálcico que es el que se forma a pH mayor a 7 no lo puede ser.

Se han encontrado otros compuestos de fosfato que no pueden ser absorbidos por las plantas, pero los de Ca, Al y Fe son los más importantes. A pH mayores que 7.5 se han encontrado fosfatos de Na, lo que resultaría en una mayor disponibilidad de P a mayor pH.

Comúnmente la concentración de la solución del suelo es al rededor de 0,05 ppm de P (Barber et al, 1963) y raramente sobrepasa las 0,3 ppm del suelo sin influencias de los fertilizantes.

Hay que tener en cuenta también (OZANNE, 1976) que no sólo la concentración de P en la solución del suelo es generalmente baja, sino que el P se mueve muy despacio, en su mayoría por difusión. Olsen et al (1962) encontraron que el coeficiente de difusión del P en la solución del suelo era menor de 10^{-2} de lo que era en el H_2O . Barber et al (1963) encontraron valores de difusión de P en el suelo, tan bajos como $4 \times 10^{-11} \text{ cm}^2/\text{seg}$.

Como resultado de su escaso movimiento, el P tiende a acumularse cerca de la superficie. Según OZANNE (1976) el fósforo orgánico de los residuos vegetales y de las heces de los animales, es reciclado al suelo, pero generalmente queda en superficie salvo que el suelo sea roturado. También hay que tener en cuenta que el P que vuelve al suelo proveniente de plantas y animales está en forma orgánica (40% en las plantas) y 60-70% en los animales). Por lo que el P inorgánico de residuos orgánicos puede ser utilizado por las plantas pero debe ser incorporado al suelo (BROMFIELD, 1961; BARROW, 1975; citados por OZANNE, 1976).

OLSEN et al (1962) señalan que al principio la mayor parte del P absorbido proviene del suelo muy próximo a la raíz. Más ade

lante, el suelo a una distancia de hasta 5 mm puede contribuir a la absorción total. Fried et al (1956) señalan que sólo el suelo en la región inmediata a la raíz puede ser efectivo en mantener la concentración de fosfato en la solución del suelo.

II.3.1.2. Factores de la planta. II.3.1.2.1. Características de la raíz. Como se mencionó anteriormente el P se acumula cerca de la superficie cuando se aplican fertilizantes fosfatados; tanto solubles como insolubles. Esto trae como consecuencia que la densidad radicular en estos primeros centímetros del suelo sea mucho mayor, y que poca cantidad de raíces penetren al subsuelo donde es tá almacenada el agua disponible para las plantas.

Según OZANNE (1976) esta proliferación de raíces en la capa superficial del suelo, trae como consecuencia que ésta se seque rápidamente en períodos de stress hídrico por lo que el P del suelo se torna inasimilable. Este autor sostiene que con altos niveles de P aplicado, el grado de movimiento de P en el suelo es mayor (unas 1000 veces mayor) por lo que explicaría que la respuesta a altos niveles de P aplicado también estaría influenciada por un aumento de la cantidad de agua disponible para la planta al estar el P del perfil más homogéneamente distribuido; y por ende la densidad radicular.

OZANNE (1976) describe 4 maneras para hacer más adecuado el crecimiento radicular y por lo tanto aumentar el agua disponible: (1) grandes cantidades de P en superficie, (2) localización directa del P en el subsuelo; (3) aplicando algún compuesto químico que no reaccione tanto con el suelo y que permita al P más soluble descender en el perfil y (4) fertilizaciones foliares.

A pesar que la proliferación radicular es estimulada en una zona rica en P, la adición de este elemento lleva a una reducción en la cantidad de raíces por unidad de peso en la parte aérea (OZA

NNE et al, 1969; CHRISTIE y MOORBY, 1975). Aunque el peso total de las raíces pueda hasta descender; la parte aérea muestra una respuesta al P aplicado (ASHER y LONERAGAN, 1967).

Según OZANNE (1976) esto se puede deber a que los fotosintatos translocados hacia abajo desde las hojas, son atrapados y utilizados por las raíces para crecer en zonas donde el P es limitante. La mayor reducción relativa en crecimiento de la parte aérea respecto a la raíz en condiciones de deficiencia de P pueden deberse, según el autor, en parte al mejor nivel en P que tienen las raíces; las que tienen la primera oportunidad de metabolizar el P absorbido.

BAILEY (1970) destaca la importancia del largo de la raíz en la absorción de P. También ANDREWS y NEWMAN (1970) citados por OZANNE (1976) demostraron que podando las raíces se reducía la absorción de P, pero no así la de N. Según CHRISTIE (1975) el largo de la raíz es el mayor determinante de la superficie de absorción.

II.3.1.2.2. *Diferencia específica.*

Existen diferencias en los niveles de P suplementario que necesitan algunas plantas y especies. Esto se puede explicar por muchos factores; quizás el más simple es el caso de los árboles; que tienen una raíz muy profunda y por lo tanto responden a niveles muy altos de P y no a niveles moderados. Esto es porque la raíz se halla en una zona del suelo donde no penetra el P.

OZANNE et al (1969) utilizaron la relación parte aérea/raíz para determinar el nivel de P adicional necesario. A mayor relación mayor dosis de P se requería para un máximo rendimiento. Estos autores sostuvieron que medidas de peso de la raíz presente en la zona fertilizada no es una medida adecuada; una mejor medi

da sería el largo de la raíz. Con un aumento de la longitud de la raíz disminuyen los niveles de P adicional al aumentar la superficie de absorción. También es importante la longitud de los pelos radiculares.

11.3.1.2.3. *Características del sistema radicular de la soja.*

El sistema radicular de la soja descrito por CARLSON (1973) consiste en una raíz pivotante formada por la radícula; un gran número de raíces secundarias dispuestas en cuatro filas a lo largo de la raíz pivotante, varias clases de ramificaciones secundarias y muchas raíces adventicias ramificadas, originadas en la parte inferior del hipocótilo. Aunque la raíz pivotante es algo más grande en diámetro que las otras raíces, especialmente cerca de la región del hipocótilo, el sistema radicular con sus numerosas ramas de aproximadamente el mismo diámetro es probablemente mejor descrito como un sistema difuso o débilmente pivotante.

De acuerdo a RAPER y BARBER (1970) se ha investigado poco sobre las características de crecimiento de las raíces de soja en el suelo y su significación en la determinación del mayor crecimiento del cultivo. Las características radiculares de la soja están afectadas por la variedad y las condiciones ambientales. El conocimiento de estos factores es muy importante para el desarrollo de prácticas culturales y el uso de nuevas variedades que resultaran en altos rendimientos de semilla.

JUNK y BARBER (1974) y BORKERT y BARBER (1983) citados por estos últimos autores (1985) demostraron que gran parte del sistema radicular debe estar expuesto al P de manera de cubrir satisfactoriamente las necesidades de P de las plantas. De aquí que cuando el sistema radicular ocupa menos del 0,05% del volumen del suelo, no se obtiene suficiente fósforo para maximizar

los rendimientos.

II.3.2. Absorción

Según la clasificación de WILSON, A.T. y WATKINSON, J.H. (1968) el P entraría dentro de las especies químicas que tienen un potencial químico mayor dentro de las raíces de la planta que en la solución del suelo; que son esenciales para el crecimiento de la planta y son transferidos al interior de la planta con gasto de energía, son nutrientes donde el paso limitante de velocidad es la desorción a partir del suelo; son nutrientes que exhiben el Fenómeno de Fijación.

Friedy otros, citados por BLACK (1975) representaron la transferencia del fosfato desde el suelo al interior de las plantas como una serie de etapas que expresaron por las ecuaciones:

$$P \text{ suelo} + X \text{ solución} = P \text{ solución} + X \text{ suelo}$$

$$P \text{ solución} + R = RP$$

$$\text{y } RP = P \text{ interior de la planta} + R'$$

donde X es algún anión en solución, como silicato u oxhidrilo, que libera el fosfato a la solución. R es el transportador producido metabólicamente en la raíz y R' es el transportador regenerado, que puede ser igual a R. La primera etapa representa la liberación del fosfato del suelo, la segunda la combinación de aquel con un transportador; y la tercera, la liberación del fosfato dentro de la planta a partir de la combinación transportador-fosfato.

En términos de las ecuaciones propuestas por FRIED y otros; el curso lineal donde la concentración no afecta la velocidad de absorción de P se interpreta como aquel en que la concentración de P en la solución es lo bastante alta como para asegurar que todos

Los sitios de transporte específicos de P R se transformen en la forma RP. La velocidad de absorción de P se verá entonces controlada por la tercera reacción: la liberación del P desde la planta hacia los sitios de transporte. La disminución de la velocidad de absorción de P a concentraciones exteriores inferiores a 0,03 ug/ml se atribuye pues a una reducción en la velocidad de formación de P interior en la tercera reacción a causa de una disminución en la concentración de RP. A su vez, esta última es provocada por una concentración de P soluble demasiado baja para convertir todos los sitios específicos de transporte del PR en RP en la segunda reacción.

En condiciones naturales las raíces se extienden con lentitud a través del suelo y sólo una pequeña parte del mismo entra en contacto directo con ellas. El agua que sirve como vehículo para el movimiento, ocupa por lo general menos de una tercera parte del volumen del suelo y no cubre a las raíces en su totalidad (aunque sin duda las paredes celulares permanezcan saturadas de agua). El principal movimiento de agua, significativo en términos del transporte de P, es aquel que el agua absorbida por las plantas y pérdida por transpiración, realiza hacia las raíces. Sin embargo, aunque las plantas absorbieran todo el P que se desplaza hacia las raíces por este mecanismo, el P así suministrado alcanzaría para satisfacer sólo una pequeña parte de las necesidades a causa de la concentración extremadamente baja de aquel en la solución del suelo. Si se consideran las relaciones suelo-planta como realmente son, el P absorbido por las raíces de la solución del suelo adyacente debe ser reemplazado por P disuelto del suelo. A medida que la absorción continúa, la concentración de P en la solución adyacente a las raíces debe disminuir por el agotamiento de parte del suministro total de P lábil (aún si el P en la solución se halla en equilibrio casi constante con el de los sólidos del suelo) y parte del P absorbido debe reemplazarse por difusión desde suelos más distantes.

HELSEP y BLACK (1954) encontraron que cuando en ausencia de plantas se colocaban en forma localizada en el suelo altas concentraciones de fertilizantes fosfatados, el movimiento del P en el suelo aumentaba según el contenido de agua del mismo, por lo tanto se comprobó que el P se desplaza por medio de agua.

OLSEN y otros (1961) investigaron la importancia que el contenido de agua en el suelo tiene sobre el proceso de transferencia del P a las plantas cuando el suministro de aquel es uniforme en todo su volumen. Por ejemplo cuando un suelo se encuentra en una tensión de humedad de 9 bars, la concentración de P en la solución es mayor que 1/3 de bar, lo cual es favorable al proceso de difusión, no obstante, las raíces absorben P más rápidamente cuando la humedad del suelo está a 1/3 de bar. Esto puede deberse a la discontinuidad entre la raíz y la solución del suelo, que puede causar una toma de P más baja a tensiones de humedad más altas. Además, factores fisiológicos asociados a altas tensiones, pueden reducir la capacidad de las raíces de absorber fosfatos.

En cuanto a la capacidad de reabastecimiento de P a la solución, ésta es menor en suelos arenosos y la difusión puede volverse limitante antes en este tipo de suelo.

OLSEN et al (1977) señalan que la textura afecta la capacidad del suelo de suministrar P en 3 formas: (1) el coeficiente de difusión del sistema poroso aumenta al aumentar el contenido de arcilla; (2) la capacidad buffer de la fase sólida de P para remover la concentración en la solución aumenta a medida que el suelo tiene más arcilla; y (3) la misma dosis de fertilizante causa un aumento menor de P al aumentar la cantidad de arcilla.

MARAIS y WIERSMA (1975) estudiaron el efecto de la humedad en la absorción de P por las plantas y sostienen que el stress de

humedad actúa perjudicando a la difusión más que al flujo de masa ya que parecería existir una relación inversa entre el contenido de humedad del suelo y la absorción de P por unidad de agua absorbida. Esto evidencia que la absorción de P es independiente de la cantidad de agua extraída y que la difusión más que el flujo de masa llevó los iones a la raíz.

Según BARBER (1977) existe una relación entre la concentración de fosfatos en la solución del suelo y la tasa a la cual las raíces absorben fosfatos de la solución. El nivel de P en la solución del suelo fluctúa entre 0,02 y 0,08 ppm. Esta concentración, es inferior a la necesaria para maximizar la absorción. A su vez, la tasa de absorción máxima es superior a la necesaria para maximizar el rendimiento.

Las plantas absorben la mayoría de su P bajo la forma ión ortofosfato primario (H_2PO_4^-). Cantidades menores del ión ortofosfato secundario (HPO_4^{2-}) son absorbidas. En efecto, hay alrededor de 10 veces menos sitios de absorción en la raíz para HPO_4^{2-} que para H_2PO_4^- . La cantidad relativa de estos dos iones absorbidos por las plantas es afectada por el pH del medio alrededor de las raíces. Cuando el pH es bajo aumenta la absorción de H_2PO_4^- en cambio cuando es alto aumenta la absorción de las formas HPO_4^{2-} (TISDALE y NELSON, 1966). OZANNE (1976) señala que a diferencia del N y S en sus formas NO_3^- y SO_4^{2-} , el átomo de P en el PO_4^{3-} no es reducido por la planta a un estado de oxidación más bajo. La zona de entrada del ión fosfato a la raíz no está totalmente aclarada aún. BOWEN y ROVIRA (1971) citados por OZANNE utilizando P^{32} , encontraron que la punta de la raíz acumulaba una cantidad relativamente mayor de P. Esta zona es seguida por otra zona donde las células están en alargación con una menor concentración de P y seguido por otra zona de mayor concentración de P donde los pelos radiculares ya están desarrollados.

BURLEY et al (1970) trabajando con raíces de maíz concluyeron que todas las regiones eran efectivas en la absorción de P, pero que la translocación a la parte aérea estaba correlacionada con el desarrollo del sistema funcional. En la región dentro de 5 cm de la punta de la raíz casi no se vió ninguna translocación de P^{32} debido a la falta de xilema.

FERGUSON y CLARKSON (1975) citados por OZANNE (1976) encontraron que en todas las partes de la raíz, los inhibidores de la respiración o bajas temperaturas (4°C) reduce la absorción de P y su translocación en el xilema en un orden del 90%.

II.3.2.1. *Tasas de absorción.* En cuanto a la absorción de P por las plantas de soja puede decirse que el suelo será la principal fuente de este elemento, pocos días después de la emergencia.

De acuerdo a OHLROGGE (1960) parece lógico suponer que de 3 a 5 días luego de la emergencia las plantas ya son dependientes del P del suelo tal como se desprende de la baja transferencia de P desde los cotiledones.

OHLROGGE y KAMPRATH (1968) señalaron que la absorción diaria de P es baja durante el primer mes y luego llega a 0,45 kg/ha/día en el 2o. y 3er. mes.

Los datos de HAMMOND et al (1951) sugieren una tasa de absorción siempre creciente luego del retraso inicial de la plántula con un máximo de absorción diario de 0,448 kg/ha/día durante el llenado de vainas. En los tratamientos bajos de P, la curva de absorción fue errática y sin un patrón definido. Posiblemente la demanda de la semilla sea la responsable de las tasas siempre crecientes encontradas por HAMMOND et al (1951).

TOGARI et al, citado por OHLROGGE (1960) encontraron que la tasa total de absorción de P permaneció constante desde el establecimiento de las vainas hasta la madurez, en suelos medios en P disponible.

OHLROGGE (1960) afirma que al igual que para la acumulación de Materia Seca pueden haber muchas fluctuaciones diarias en la absorción de P dependientes de las condiciones ambientales, estado de la planta y disponibilidad de P.

Según OLSEN et al (1977) la tasa de absorción depende principalmente del poder de absorción de la raíz y de la concentración de la superficie. Esto depende de la tasa de remoción por la raíz y de la tasa de renovación por difusión. La tasa de absorción es proporcional a la concentración en la superficie radicular, pero esto, es despreciable, por lo que la raíz debe moverse hacia el Pó este difundir hacia ella siguiendo un gradiente de concentración, siendo este último el proceso responsable de la mayor parte del movimiento del P.

HAMMOND et al (1946) citado por HANWAY y WEBER (1971) comunicaron una tasa máxima de absorción diaria de 0,39 kg/ha/día ocurrida entre los 73 y 101 días luego de la siembra en soja. RICHLAND, HENDERSON y KAMPRATH (1970) reportaron resultados similares para la variedad Lee.

HARGER (1971) citado por DE MOOY et al (1973) reportó una tasa máxima de absorción de 0,39 kg/ha/día en un período de 3 semanas luego de la floración.

HENDERSON y KAMPRATH (1970) describen una tasa creciente de absorción en los estados de crecimiento temprano y formación de semillas con una tasa máxima de 0,41 kg/ha/día entre los 100 y 110

días luego de la siembra esto coincide con el inicio de la forma
ción de grano.

La soja no presenta una tasa constante de absorción a lo largo de su período de crecimiento, la cual tiene consecuencias agronómicas desde el punto de vista de una adecuada nutrición en el momento requerido. Según HENDERSON y KAMPRATH (1970), el hecho de que la planta de soja varíe en la tasa de absorción de nutrientes y en su composición química en diferentes etapas de crecimiento es muy importante con respecto al suministro adecuado de nu
trientes.

BARBER (1978) encontró un incremento en el flujo de P en
tre los días 50-80, lo cual indicaría la necesidad de un suminis
tro más alto de P a la raíz por el suelo en este período.

La extracción por m^3 de raíz por día es más alta cuando la planta es joven y disminuye al envejecer. En cambio la ex
tracción por ha aumentó con la edad de la planta. La extracción por m^2 de raíz refleja la tasa de suministro requerida hacia la raíz por flujo masal y difusión. La tasa de extracción por ha indica la capacidad de suministro del suelo. Por esto el incremento apa
rente en el flujo de P entre los 50 y 80 días indicaría que la so
ja necesitaría un suministro de P a la raíz más alta en este pe
ríodo.

Según BARBER (1979) la tasa de extracción de P por m^2 de raíz para raíces de soja fue menor que para maíz en crecimiento temprano y tardío. Esta diferencia puede explicarse por que la soja rara vez muestra una respuesta temprana al fertilizante, en con
traposición a lo que frecuentemente ocurre con el maíz, particular
mente para la aplicación de P. La tasa de extracción de nutrien
tes por m^2 de raíz característica en el cultivo de soja, tiene im

plicancia en la ubicación del fertilizante. El fertilizante en bandas cerca de la semilla, donde las primeras raíces están presentes, no debería tener mucha ventaja en estimular el crecimiento temprano. La mayor tasa de extracción de nutrientes por m^2 de raíz, tarde en la estación de crecimiento, sugiere la necesidad de que el volumen de raíces esté a un alto nivel de fertilidad. De esta forma el suelo puede aportar nutrientes a la raíz a una tasa suficientemente rápida como para permitir el flujo observado dentro de la raíz.

Las curvas acumulativas de HANWAY y WEBER (1971) muestran que aproximadamente el 40% del N, 45% del P y 40% del K fueron absorbidas luego del comienzo de la formación de las semillas cuando las partes vegetativas habían alcanzado cerca de su máximo contenido.

II.3.2.2. *Acumulación de P en la planta.* La acumulación de P realizada a lo largo de la estación de crecimiento para las distintas fracciones de la planta es función de la materia seca producida y de la concentración de P en cada fracción. De acuerdo a esto la cantidad total de P acumulado se vincula con las necesidades de nutrientes, las cuales varían según los niveles de rendimiento alcanzados sean mayores o menores.

BORST y THATCHER (1931) hicieron observaciones similares a las encontradas por HANWAY y WEBER (1971) y también a las de DE MOOY et al (1973) quienes llegaron a la conclusión que la acumulación total de P por la planta sigue modelos similares a la de acumulación de materia seca. Las tasas de acumulación fueron lentas al principio, luego aumentan y se estabilizan hacia las etapas de 10 hojas trifoliadas.

Henderson y Kamprath (1970) observaron un aumento en la acumulación total de P a medida que avanzaba la estación de crecimiento alcanzando el pico máximo alrededor de los 100 días post-siembra. La acumulación de P fue similar a la acumulación de materia seca, pero estuvo desplazada. La acumulación máxima se alcanzó antes en un año seco, dado que la falta de agua redujo los rendimientos, las necesidades de P se vieron disminuídas y la acumulación no continuó en la última etapa de crecimiento.

Henderson y Kamprath (1970) encontraron un rango de acumulación total de P de 15.7 kg de P/ha a 38 kg de P/ha con un promedio de 25.8 kg de P/ha.

Mascarenhas (1973) encontró un gradual y consistente aumento en la acumulación de P en la parte vegetativa hasta los 80 días post-emergencia donde alcanzó un máximo de 21.4 kg de P/ha para disminuir de ahí en adelante.

Hanway y Weber (1970d) estudiaron durante 2 años las cantidades de P acumuladas en la parte aérea de la planta de soja, en los sucesivos estadios de desarrollo y la influencia de la nodulación, fertilización y variedad sobre las mismas. El P en las hojas pecioladas y tallos se acumuló hasta el estadio 8 y en las vainas entre el estadio 6 y 8. Luego observaron una rápida remoción del P de estas partes de la planta para dirigirse hacia el grano. A partir del estadio 9 observaron una disminución mayor del P de las hojas. Las pérdidas de P por este motivo fueron aproximadamente de 3 kg/ha o el 19% del P total acumulado.

De acuerdo a Collman et al (1974) quienes llegan a conclusiones similares a las de Ohlrogge y Kamprath (1968) señalan que los tejidos vegetativos sirven como reservorios de nutrientes minerales durante el crecimiento vegetativo y los mismos son trans

locados a las semillas durante el llenado de las vainas. OHLROGGE (1960) señala que el proceso de translocación es responsable del 40-80% del presente en la semilla y que el mismo provenía de vainas, hojas y tallos.

JONES et al (1977) observaron coincidentemente que a medida que se aproxima la maduración la concentración de P en las hojas disminuye rápidamente, debido a la translocación. El valor encontrado para el último muestreo para el P en hojas, fue del 38% del correspondiente al primer ensayo.

HAMMOND et al (1951) encontraron que a partir de los 87 días luego de la siembra hasta la madurez el contenido de P de las semillas y vainas aumentó 13,37 kg/ha y el de la parte vegetativa disminuyó 7,65 kg/ha. También encontraron que las hojas caídas estaban casi desprovistas de P. Todos los investigadores citados concuerdan en asignar a la translocación del P una participación muy importante en el suministro de P al grano a partir de la porción vegetativa. Esta participación puede ser responsable de más del 50% del P en el grano.

Simultáneamente a la disminución en la acumulación de P en la porción vegetativa, HAMMOND et al (1951), HENDERSON y KAMPRATH (1970), HANWAY y WEBER (1971) y Mascarenhas (1973) describieron un incremento en la acumulación de P total que continuó hasta la madurez.

HAMMOND et al (1951) citados por HANWAY y WEBER (1971) encontraron que la absorción total de P alcanzó 19 kg/ha para una soja rindiendo aproximadamente 2900 kg/ha de grano.

Los datos presentados por HENDERSON y KAMPRATH (1970) muestran que para el año 1967 la acumulación máxima se produjo a los

140 días post-siembra y fue de 38 kg/ha de P.

HANWAY y WEBER (1971 b) obtuvieron el máximo de acumulación de P para los tratamientos nodulados y sin fertilización en el estadio 10 ascendiendo a 16 kg/ha de P.

TISDALE y NELSON (1975)• citan una acumulación promedio de P a la madurez con excepción de las raíces de 25 kg/ha.

Del total de P acumulado por la planta gran parte de éste se encuentra en el grano. Esto concuerda con lo citado por HAMMOND et al (1951), OHLROGGE y KAMPRATH (1968), HANWAY y WEBER (1971), TISDALE y NELSON (1975) y BATAGLIA et al (1978) quienes sitúan este porcentaje de P en el grano entre el 65 y 85%.

En cuanto al efecto de la fertilización fosfatada sobre la acumulación y absorción de P, BUREAU et al (1953) encontraron que el contenido de P era más alto en plantas fertilizadas que en plantas no fertilizadas. Sus resultados indican que la aplicación de P rápidamente disponible así como el nivel de P en el suelo influyen en el de P en la planta. El P del suelo influyó más que el P aplicado por lo que infirieron que existe una competencia entre ambas fuentes. Este autor expuso que entre los 65 y 110 días post-siembra la tasa de extracción de P del fertilizante alcanzó un máximo de 0,22 kg/ha/día además de aproximadamente el 80% del P recuperado del fertilizante por la planta fue absorbido en los 39 días entre floración tardía y justo antes de la caída de las hojas.

Coincidentemente WELCH (1950) reportó que con la aplicación de 112 kg/ha de P_2O_5 , 28% del P en la planta derivó del fertilizante, en un suelo bajo en P, mientras que sólo el 19% provino del fertilizante en un suelo rico en P.

WILKINSON (1957-1958) citado por OHLROGGE (1960) indica que una parte importante del P en la planta puede provenir del fertilizante, y aunque este pueda aumentar la absorción total, no hay seguridad de un incremento en el rendimiento. DE MOOY et al (1973) señalan que a pesar de un aumento en la concentración de P en el período vegetativo o de un incremento en la absorción total, puede no haber respuesta en el rendimiento. También puede suceder que exista un aumento en la absorción total de P debido a la fertilización, antes de la formación del grano, pero la absorción total puede no ser muy diferente al final de la estación cuando el fertilizante es o no aplicado.

HANWAY y WEBER (1971) encontraron que con aplicaciones de 49 kg/ha de fertilizante fosfatado, la acumulación total de P en la planta incrementó de 5 kg/ha o en un 10% del P aportado.

OHLROGGE y KAMPRATH (1969) establecieron que la máxima absorción del P del fertilizante ocurrió durante el llenado de vainas.

De acuerdo a lo visto, independientemente del P en el suelo, la fertilización incrementa la absorción de P por la planta. Los valores de recuperación oscilan entre 5 y 25%. Las recuperaciones mayores se dan en suelos con niveles bajos de P disponible. Las máximas tasas de absorción de P del fertilizante se producen entre el llenado de vainas y el llenado de granos.

Resumiendo, las tasas de acumulación de P por las plantas son lentas en las primeras etapas de crecimiento, incrementando rápidamente al comienzo de floración, alcanzando un máximo durante el llenado del grano, manteniéndose alta hasta el fin de dicho período. Este máximo oscila entre 0,39 y 0,83 kg/ha/día siendo el valor más frecuente 0,45. La máxima tasa de acumulación de P en la fracción vegetativa ocurre en la floración, alcanzando valo

res de 0,3/ kg/ha/día. La máxima acumulación en la etapa reproductiva ocurre en el llenado del grano, alcanzando valores tan altos como 1,91 kg/ha/día. Aproximadamente el 75% del P total y el 70% del P del grano se acumula durante la plena floración y la madurez mientras que el llenado del grano se acumula el 45% del P total.

También hay que tener en cuenta que puede haber una importante variación anual en cuanto a la absorción total de P y ésta puede atribuirse en parte a variaciones en humedad, a la fertilización, y en general a todo aquello que afecta el crecimiento, lo cual afectará los requerimientos de nutrientes y por ende la acumulación de P.

II.3.3. Rol metabólico del P en la planta

Más del 75% del fosfato que se mueve en el xilema es inorgánico; mientras que el fosfato que ha sido retranslocado en el floema es muy similar al de otros tejidos, el que se presenta en enzimas, proteínas y ácidos nucleicos a pesar de que la concentración de adenosín trifosfato (ATP) es anormalmente alta (OZANNE, 1976).

Datos de BIELESKI (1973) citado por OZANNE (1976) indica que un "modelo" de tejido de una planta puede contener 0,004% de P como ácido desoxirribonucleico (DNA); 0,04% de P como ácido ribonucleico (RNA); 0,02% de P como éster de fósforo y 0,13% como P inorgánico; todo esto con base de peso seco.

Según OZANNE; el P tiene una función vital en el ciclo de vida de las plantas por los ácidos nucleicos de los genes y cromosomas, transfiriendo el material genético de célula en célula y semilla a semilla. Esta función no es fácilmente influenciada por el fósforo nutricional pero DURRANT (1974) citado por el mismo autor, encontró que altos niveles de P adicional perjudican característi

cas que se trasmitían por más de 10 generaciones.

BERNARD y HOWELL (1964) citados por OZANNE (1976) mostraron que en la soja la resistencia a la toxicidad del P cuando éste se aplicaba en altas dosis, podía ser gobernada por un simple par de genes.

Otra función importante del P es la relacionada con la fotosíntesis.

BOUMA (1975) citado por OZANNE (1976) encontró que con niveles deficientes de P las leguminosas tienen un bajo nivel de fotosíntesis. Esta reducción en la fotosíntesis por una deficiencia en P puede ser parcialmente explicada por una acumulación de polisacáridos.

El P también es importante, según DE MOOY et al (1973) para la transferencia de energía de las células vivas por medio del enlace altamente energético del ATP. Este maneja el mecanismo para la síntesis de los constituyentes celulares, por lo tanto el P es de primera importancia en la formación y translocación de carbohidratos, ácidos grasos, glicéridos y productos esenciales intermedios.

También se ha observado que excesos de P han ocasionado daños en las hojas y reducción en el rendimiento. ALLEN (1943) descubrió una reducción en el rendimiento de materia seca aérea a partir de la aplicación de altas dosis de P en soluciones nutritivas.

HOWELL (1954) citado por DE MOOY, PESEK y SPALDOM (1973) observó que algunas variedades de soja fueron adversamente perjudicadas por una alta concentración de P. Encontró que los síntomas de toxicidad aparecieron en variedades tolerantes y sensibles al

P, cuando el contenido de los cotiledones alcanzó el 1,2%. La tolerancia fue asociada con la habilidad de restringir la acumulación de P y ciertas variedades podían resistir una concentración de P 10 veces superior en la solución que otras. Las raíces fueron el lugar de esta propiedad, porque un brote de una variedad tolerante injertado en un sistema radicular susceptible apareció sensible al exceso.

PAULSEN y ROTINI (1968) mostraron que a altos niveles de nutrición fosfatada las plantas acusaron toxicidad, así como indujeron síntomas de deficiencia de Zn.

De varios experimentos, DE MOOY et al (1973) concluyeron que los síntomas de toxicidad de P eran menos severos cuando se aplicaba K o Ca juntamente con el P.

FLETCHER (1961) citado por los mismos autores encontró síntomas de toxicidad de P en plantas de soja, creciendo en condiciones de campo, a un contenido de P en las hojas de 1,57% durante la floración.

II.3.4. Períodos Críticos

SCOTT y ALDRICH (1975) explican que la soja absorbe P durante todo su ciclo de crecimiento y que el período de mayor demanda se inicia poco antes de que las vainas comiencen a formarse hasta aproximadamente unos 10 días antes de que las semillas se hayan desarrollado completamente. Agregaron además que la carencia de P en la mayoría de las plantas se produce cuando aflora la plántula, principalmente debido a que el tamaño y capacidad de absorción del sistema radicular aún no están equilibrados con las necesidades de P.

BAGAEV (1953) citado por DE MOOY et al (1973) encontró que la soja responde favorablemente a una interrupción en la aplicación de P en la floración. Aplicó P en una solución nutritiva a 2 niveles y en 3 estados de desarrollo:

1. desde emergencia - comienzo de floración.
2. período de floración.
3. desde formación de vainas a madurez.

El crecimiento de todas las partes de las plantas, incluidas las raíces, fue incrementado, y el cambio hacia el crecimiento reproductivo fue acelerado cuando el P fue aplicado a alto nivel, pero omitido durante la floración. Ocurrió lo contrario a bajas tasas de aplicación de P. A su vez explica que retomando altos suministros de P luego de finalizada la floración resultó en una nueva ventaja en el crecimiento, logrando así un incremento del 50% en el rendimiento y un aumento en el contenido de aceite y proteína en el grano.

La interrupción en el suministro de P durante la floración incrementaba el porcentaje de P en hojas, vainas y granos. Prolongando dicha interrupción más allá de la floración, se reducían los contenidos de P a niveles deficientes.

GRITSUN (1958) citado por los mismos autores indicó que la aplicación de P debía ser uniformemente distribuida a lo largo de la estación de crecimiento para lograr máximos rendimientos. Señaló que el N y el K se acumulaban más rápido que la materia seca, por lo tanto su demanda fue muy alta en los estadios tempranos de crecimiento, pero esto no se vió para la absorción de P la cual necesitó mantenerse continua hasta la madurez.

OHLROGGE y KAMPRATH (1968) estudiaron el nivel nutritivo en que se halla la planta de soja a través de las concentraciones de nutrientes en la última hoja desarrollado durante el estadio de

floración tardía. Para P el nivel considerado deficitario era aquel en que la concentración de dicho nutriente era menor a 0,15%; cuando estaba entre 0,16 y 0,25% el nivel era considerado bajo, y era suficiente cuando se hallaba entre 0,26 y 0,50%. Cuando la concentración estaba entre 0,51 y 0,80 se consideraba alta, y si era mayor se consideraba excesiva.

KONNO (1969) citado por DE MOOY et al (1973) observó que la deficiencia de P durante el llenado de vainas causó pérdidas en el rendimiento reduciendo a su vez el contenido de P de las partes vegetativas de las plantas en mayor grado que en el grano.

MURAYAMA et al (1957) reportaron que se lograba un máximo número de vainas y granos y un mínimo tamaño de grano cuando el P fue suministrado hasta 2 semanas después de la floración, mientras que la aplicación de P 2 a 4 semanas después de la floración, maximizó el tamaño del grano.

MEDERSKI (1950) citado por DE MOOY et al (1973) aplicó 135 ppm de P hasta la floración y 3 dosis entre floración y madurez (0 - 45 - 135 ppm). Encontró que hubo un efecto muy pequeño sobre el rendimiento, lo cual sugiere que la absorción de P anterior a la floración fue suficiente para durar hasta la madurez. Según DE MOOY et al (1973) esto es contrario al concepto general de que la soja absorbe el máximo de P requerido entre la floración completa y la madurez (70% del total según HAMMOND y 80% según HANWAY y WEAVER). Una posible explicación de los resultados obtenidos por MEDESKI es que bajo las condiciones del experimento había sido absorbido más P del que es compatible con el máximo rendimiento.

Según SINGH y SAXENA (1977) la absorción de P en la hoja, pecíolo y tallo aumentó con la edad y alcanzó el máximo a los 65 - 85 días después de la siembra. A partir de este momento se

observó una reducción. La reducción en la absorción en estas partes de la planta podría ser atribuido a la translocación desde estas partes hacia las reproductivas. La absorción de P en el grano aumentó, mientras que la absorción de P por la vaina disminuyó con la edad. La máxima absorción de P en la planta entera fue observada entre los 80 y 95 días post-siembra. Una disminución a la madurez fue atribuible a la caída de la hoja lo cual es un comportamiento natural de la planta de soja.

El concepto general establecido por la investigación es que la soja absorbe la mayor parte del P requerido entre plena floración y madurez.

II.3.5. Efecto de la nutrición fosfatada sobre la nodulación

Con respecto al efecto de la fertilización fosfatada sobre la nodulación hay diversas opiniones. HELTZ y WHITING (1928) en un experimento de campo encontraron que el agregado de 60 kg/ha de P incrementaba el número de nódulos por planta de 37.8 a 49.6. Asimismo FELLERS (1918) también en experimentos de campo concluyó que el P mejoró la nodulación sólo si era aplicado con Ca. El número de nódulos/planta a los 107 días aumentó de 18.6 a 26.4 con la aplicación de 66 kg de P/ha cuando también se agregaron 4.48 toneladas métricas de Ca/ha. Por otro lado PERKINS, A.T. (1924) reportó que la adición de P no fue esencial para la nodulación.

PETERSON (1965) en ensayos de campo encontró que el número de nódulos por planta se incrementó en un 38% por la aplicación de una dosis de 150 ppm de P, pero el peso promedio de los nódulos permaneció relativamente constante. La reinoculación del suelo con *Rhizobium* no incrementó el número de nódulos cuando no se

agregó P. Los incrementos en los rendimientos, cuando los hubo, no estuvieron correlacionados con la respuesta de la nodulación.

DE MOOY y PESEK (1966) observaron una importante respuesta en número, peso y contenido de leg - hemoglobina de los nódulos. Investigaron además, que las altas tasas de aplicación de P, aumentó el número de nódulos entre 2 y 22 veces dependiendo de la variedad, clima y estado del cultivo. A su vez observaron que la actividad de fijación del *Rhizobium* medida hacia el final de la floración se incrementó dos veces y media con altas aplicaciones de P y K, aunque el Ca redujo su actividad.

GRONEMAN (1974) reportó que la nodulación y el contenido de leg - hemoglobina en los nódulos fue marcadamente disminuida por el N aplicado, incrementado por la aplicación de P y no afectado por el K. El P incrementa la acumulación de N. La aplicación profunda de P y K tuvo muy poco efecto sobre la nodulación.

HELTZ y WHITING (1928) encontraron un efecto beneficioso en el número de nódulos aunque a dosis extremas de este nutriente se observó muerte de bacterias a causa probablemente de la naturaleza ácida del medio.

DE MOOY y PESEK (1969) observaron un gran crecimiento como respuesta a la aplicación de P, atribuyendo dicha respuesta a una poderosa estimulación de la nodulación y de la fijación de N por las bacterias nodulares. Los autores observaron que en presencia de 150 ppm de P se duplicaba el peso fresco de los nódulos en el estadio de 7 hojas; encontraron a su vez que con el agregado de 300 ppm se lograba el máximo de actividad nodular. Concluyeron que el óptimo de nodulación se lograba con dosis de P entre 200 y 250 ppm de P aplicado.

En ensayos de campo JIMENEZ y VILLALOBOS (1980) trataron soja cultivar Júpiter con 0 ó 4,4 grs. de inóculo por kg de semilla y 0-60-120 kg de N con 0-150-300 kg de P_2O_5 /ha. El número de nódulos por planta fue mayor con inoculación que sin ella y con el aumento de la dosis de N el número de nódulos por planta y el rendimiento de semillas por m^2 disminuyó. Con el aumento de las dosis de P_2O_5 el número de nódulos por planta y el rendimiento en semilla/ m^2 aumentó.

FLETCHER (1961) citado por DE MOOY, PESEK y SPALDOM(1973), afirmó que el óptimo crecimiento de las raíces requería un menor nivel de P que la parte superior de la planta. La estimulación del crecimiento, y de la actividad de la bacteria nodular, debido a un muy alto suministro de P, con un aumento asociado en la translocación de N fijado hacia la parte superior de la planta, puede haber determinado que se llegue a los requerimientos óptimos del nutriente para crecimiento y rendimiento de la planta entera. A su vez agrega que la planta y la bacteria nodular pueden tener diferentes requerimientos de P, siendo deseable una interpretación sobre razas de bacterias nodulares con óptima performance a niveles bajos de P.

En cuanto a la eficiencia en fijación de N por los nódulos, ANDREWS y ROBINS (1969) citados por OZANNE (1976) encontraron que el máximo de N fijado por los nódulos requería un nivel muy superior de P, comparado con el que se precisaba para obtener el máximo rendimiento en materia seca.

II.3.6. Respuesta a la fertilización fosfatada

II.3.6.1. *Efecto sobre el crecimiento.* WILKINSON, citado por OHL ROGGE (1960) mostró que la fertilización fosfatada produjo res

puestas tempranas significativas en la acumulación de materia seca.

BUTTERY, B.R. (1969) observó que la fertilización fosfatada aumentó el peso final de la planta, debido fundamentalmente a la demora en el descenso de la tasa de asimilación neta (T.A.N.) y de la tasa de crecimiento del cultivo (T.C.C.). A los 90 días de la siembra la T.C.C. era nula cuando no se fertilizó y fue de 3.4 gr/m²/día al aplicar fertilizante. Por otra parte la T.A.N. se multiplicó por 9 veces cuando se aplicó fertilizante en esta etapa del crecimiento.

Contrariamente HANWAY y WEBER (1971b) encontraron que aplicaciones moderadas de fertilizante fosfatado tuvieron un pequeño efecto no significativo en los pesos de diferentes partes de la planta, en todos los estadios de desarrollo.

Con respecto al nivel de P en el suelo BUREAU et al (1953) citados por DE MOOY et al (1973) encontraron un aumento en la producción de materia seca con un aumento del nivel de P en el suelo, lo cual no se vió reflejado en un mayor rendimiento. Los niveles de materia seca fueron de 8.600 y 11.857 kg/ha para los niveles bajo y alto respectivamente. El agregado de superfosfato produjo una disminución en la producción de materia seca en todos los niveles de P del suelo.

KAMPRATH y MILLER (1958) observaron en sus estudios de campo que la materia seca producida en la floración, incrementó al aumentar el nivel de P en el suelo. Para los niveles bajo, medio, medio-alto y alto; los niveles de acumulación de materia seca fueron 1.565, 3.246, 3.917 y 4.232 kg/ha respectivamente.

A modo de síntesis fue visto que la materia seca aumenta al aumentar el I.A.F. (=índice de área foliar) y que la soja no presenta un I.A.F. óptimo. La producción de materia seca es función de la intercepción de radiación solar, no existiendo correlación entre la producción de materia seca y el rendimiento en grano. No obstante, en el período próximo a los 100 días luego de la siembra se dan altas tasas de crecimiento que coinciden con un acelerado crecimiento de las semillas por lo que esta etapa es de suma importancia en la determinación del rendimiento.

La acumulación total de materia seca puede situarse alrededor de 10.000 kg/ha y la T.C.C. entre 150 y 180 kg/ha/día para la planta entera hacia el fin de la floración y principio de llenado del grano.

Respecto al efecto de la fertilización sobre el crecimiento existen datos contradictorios; WILKINSON (1957-1958); DE MOOY y PESEK (1969), BUTTERY (1969) y ASUAGA (1981) encontraron un incremento significativo en la producción de materia seca en distintos estadios de crecimiento. HANWAY y WEBER (1971b), BOSWELL y ANDERSON (1976) informaron de incrementos no significativos, mientras que BUREAU et al (1953) encontraron una disminución en la producción de materia seca.

II.3.6.2. *Efecto sobre el rendimiento.* En la literatura consultada no se encuentran resultados concluyentes respecto a la aplicación de fertilizantes, su localización, ni tampoco respecto a la fertilización directa o residual.

BUREAU et al (1953) indican que a pesar del número y extensión de los trabajos de campo sobre la fertilización del cultivo de soja, se ha progresado poco respecto a obtener resultados positivos (incrementos sustanciales y consistentes de rendimiento), gra

cias a la fertilización mineral directa. Estos autores trabajando en un suelo franco-limoso al que le aplicaron 3 dosis de fertilizantes fosfatados (59-34-13 kg de P/ha), llegaron a la conclusión de que aparentemente el nivel de P no fue limitante de la producción de semilla y por el contrario la aplicación de fertilizantes deprimió los rendimientos. Encontraron aumentos sustanciales en la absorción de P por la aplicación de fertilizante a pesar de lo cual el rendimiento en grano disminuyó.

CAVINESS y HARDY (1970) señalan como posible causa de la carencia de respuesta de la soja a la fertilización, al hecho de que este cultivo fue sembrado durante siglos en Oriente en suelos de baja fertilidad. Estos investigadores señalan que se obtuvo un aumento sustancial de rendimiento con una fertilización moderada mientras que con la aplicación de dosis elevadas de fertilizante no encontraron ninguna ventaja. Por ejemplo, en la variedad de soja Harksoy, el rendimiento se aumentó un 11% con fertilización moderada y un 12% con una fertilización elevada. Resultados similares obtuvieron con las variedades Lee, Hood y Ogden.

WILKINSON, citado por OHLROGGE (1960) mostró que la fertilización fosfatada no produjo aumentos significativos en el rendimiento de grano.

KRANTZ et al (1960) indican que la utilización del fertilizante resultó sólo en débiles incrementos en el rendimiento de grano.

MAPLES y KOEGH, citados por BHANGOO y ALBRITTON (1972) encontraron que tanto el P como los demás nutrientes son necesarios en todos los períodos de crecimiento, sin embargo no hubo seguridad de obtener incrementos en los rendimientos con aplicaciones de P, pues reportaron un muy pequeño incremento de rendimiento con aplicaciones del nutriente.

Por su parte HANWAY y WEBER (1971) señalan que aplicaciones moderadas de P tuvieron poco efecto en el rendimiento de grano. Las respuestas obtenidas por dichos autores a la aplicación de P fueron generalmente pequeñas y no significativas aún cuando los análisis de suelo indicaron niveles bajos de P disponible.

Esto está de acuerdo a lo encontrado por JONES et al (1977) quienes no hallan respuesta a aplicaciones mayores de 15 kg/ha de P en un suelo deficiente en este elemento.

JONES et al (1977) y MILLER et al (1961) señalan que en un suelo de pH 6,6 deficiente en P y K, se observó una depresión del rendimiento por la aplicación de P sin K y por el contrario, obtuvieron el rendimiento más alto con fuertes aplicaciones de ambos elementos.

KAMPRATH y MILLER (1958) encontraron dos suelos con características comunes que respondieron muy poco al agregado de P a pesar del bajo nivel de este elemento en dichos suelos. Estos suelos tenían altos porcentajes de materia orgánica y arcilla, y es posible que otros factores hayan limitado la respuesta.

Por su parte DE MOOY, PESEK y SPALDOM (1970) encontraron una pequeña respuesta aunque consistente al agregado de P en suelos deficientes en dicho elemento. Los incrementos en rendimiento en el período de 3 años estudiados estuvieron en un rango de 114 a 191 kg/ha lo cual significó aumentos del 4,5 a 8,2%. La respuesta fue aún menor cuando el suelo fue llevado a un nivel medio de fertilidad.

De acuerdo a KAMPRATH y MILLER (1958); OHLROGGE y KAMPRATH (1969); DE MOOY, PESEK y SPALDOM (1970) y TISDALE y NELSON (1975)

respuestas consistentes a la fertilización directa con P solamente se han obtenido en suelos con bajo nivel de P disponible. En sue los con fertilidad media y alta el P del fertilizante sustituye al P del suelo por lo que sólo se logran débiles incrementos de rendi miento.

SINGH y SAXENA (1973) determinaron que sobre suelos con alto nivel de P disponible, la aplicación de 70 kg/ha tuvo poco efecto sobre el rendimiento mientras que en suelos con bajo contenido de P disponible los rendimientos fueron significativamente aumentados. El nivel óptimo estuvo alrededor de 52 kg de P/ha y la recupera ción del fertilizante estuvo dentro del rango de 6,6 a 23,5%.

DE MOOY et al (1973) y CAVINESS y HARDY (1970) señalan que la respuesta a la fertilización también está condicionada a carac terísticas fisiológicas de la planta de soja, la cual tiene una de manda de P relativamente tardía y alta, lo que limita el efecto de la fertilización directa. También es posible que la soja tenga re querimientos nutricionales limitados, lo que explicaría su poca ca pacidad de respuesta al agregado de nutrientes, aún bajo condicio nes de deficiencia.

Otra razón que explica la carencia de respuesta a la fertili zación, es el balance de nutrientes. No cabe esperar respuesta al agregado de P en condiciones de limitada disponibilidad de N y K como lo demuestran los trabajos de JONES et al (1977) y BHANGOO y ALBRITTON(1972).

JONES et al (1977) expresaron que el P y el K deben tener una proporción relativa para lograr máximos rendimientos. Cuando el K no fue limitante la respuesta de soja fue mayor con dosis de P al tas.

Por su parte BHANGOO y ALBRITTON (1972) observaron que ningún tratamiento individual de fertilización fosfatada resultó en un aumento significativo del rendimiento en dos años consecutivos. Aunque el suelo era bajo en P, su aplicación provocó aumentos pequeños de rendimiento pero no significativos en relación a los logrados con la fertilización conjunta de N y P.

ALDRICH y col. (1970) citados por PENDLETON y HARTWIG (1973) sugieren que las respuestas en rendimiento de la soja son aquellas de otros cultivos cuando el P o el K es aplicado a suelos cuyo valor de análisis de suelo es bajo en estos elementos. Las recomendaciones actuales para la dosis de aplicación de P y K basadas en los niveles de análisis de suelos, son similares para maíz y soja.

HAMMOND et al (1951) citados por KAMPRATH y MILLER (1958) afirmaron que la soja responde más a niveles altos de fertilidad en el suelo que a altas tasas de fertilización. Por lo tanto supusieron lógico que el nivel de P en el suelo sería importante en la determinación del rendimiento.

OHLROGGE y KAMPRATH (1969) indicaron que numerosos estudios han demostrado que la soja responde a un nivel alto de P en el suelo. Informaron que en suelos con bajos niveles de P disponible los rendimientos fueron sólo el 59% de aquellos obtenidos en suelos con nivel medio.

BRAY citado por BHANGOO y ALBRITTON (1972) reportó que cuando hay 11-22 kg/ha de P disponible en el suelo, el rendimiento fue el 75% del máximo esperados y cuando el nivel de P disponible era 33-50 kg/ha el rendimiento resultó ser un 98% del máximo.

En diferentes ensayos realizados en Brasil, fueron estudiados los efectos de 8 dosis crecientes de fosfato, (0-30-60-90-120-150-180 y 210 kg/ha) aplicados en forma de superfosfato simple, sobre la producción de granos por SOUZA et al (1978). Estos autores usaron la variedad Santa Rosa con una fertilización constante de N y K, y también de micronutrientes. Concluyeron que existían correlaciones altas y positivas entre la producción de grano y las dosis de fosfato aplicadas; la dosis que proporcionó la producción máxima fue de 152 kg de P_2O_5 /ha para la fertilización realizada al voleo y 177 kg de P_2O_5 /ha cuando se fertilizó en bandas.

PEEUY et al (1969) estudiaron la respuesta al P con un agregado de 750 kg/ha de superfosfato (20% P_2O_5) en cuatro suelos con distintos valores de pH luego de haber sido encalados. Los valores de pH variaban entre 5 y 7. La mayor respuesta se encontró en un suelo de pH 5,6, lográndose un 20% de incremento en los rendimientos. El suelo de menor pH mostró menor respuesta porque, según los autores, la deficiencia de otros elementos como Ca, pueden haber impedido el uso eficiente del P; también consideran que podía deberse a cantidades tóxicas de Mn soluble y Al disponible presente a tan bajo pH. Los suelos de menor acidez fueron los que lograron mayores rendimientos, pero a su vez menores respuestas al agregado de P. Los autores opinan que esto se debería a que dichos suelos normalmente contienen algo de P adsorbido y el encalado, al elevar en exceso el pH libera gran parte de dicho nutriente del suelo no encontrándose por esta causa respuesta positiva.

MILANEZ et al (1978) estudió la respuesta de soja a la fertilización fosfatada y potásica con niveles de encalado, en suelos con un nivel inicial de 1.5 ppm de P y un pH en agua de 5.6. Estos autores aplicaron dosis crecientes de fosfato de 0 - 180 kg

P_2O_5 /ha, obteniendo en el análisis conjunto de los resultados de 3 ensayos realizados, una respuesta significativa al agregado de P, al nivel del 1%, para rendimiento, altura de planta y altura de inserción de primera vaina. Como resumen de este trabajo, concluyen que la producción de grano fue incrementada por la fertilización fosfatada en relación al testigo, habiendo aumentado 270% con aplicaciones de 60 kg de P_2O_5 /ha y 367% con aplicaciones de 120 kg de P_2O_5 /ha.

Estos datos concuerdan con los encontrados por ISLAM (1964), MATRONE (1954) citados por DE MOOY et al (1973) quienes reportaron que la respuesta al P en rendimiento de grano para la soja, era acompañada por un incremento en el peso seco de las hojas, tallos y vainas y en el contenido de P de las hojas.

GONCALVES DUTRA et al (1975) en ensayos de respuesta de soja al agregado de P encontraron que para las dosis de 0-25-50-100 kg de P_2O_5 /ha la producción aumentaba significativamente, logrando un máximo físico a 177 kg de P_2O_5 , valor éste situado por encima del límite superior de la amplitud testada.

AMENDOLA, L.A. (1976) en suelos arenosos y suelos negros vertisólicos estudió la respuesta al agregado de fosfato sobre la producción de grano en soja. Este autor encontró en suelos arenosos respuesta para el agregado de P en todos los ensayos realizados, obteniendo la mayor respuesta en chacras viejas, aunque también obtuvo un importante incremento en la producción en chacras nuevas, siendo la menor respuesta en suelos recién roturados. Determinó que la mayor parte del incremento en los rendimientos se lograba con 80 unidades de fosfato por hectárea y que en general esa respuesta se mantenía hasta las 160 unidades agregadas.

Para suelos vertisólicos encontró que en general la respuesta era menor, dediéndose esto fundamentalmente a altos niveles en suelos, citando que los mayores incrementos en rendimientos eran obtenidos, al igual que en suelos arenosos, con 80 unidades de fosfato/ha.

En la zona de Dragón, departamento de Cerro Largo, sobre suelos livianos de la cuenca de la Laguna Merin, con valores de pH bajos, niveles de materia orgánica muy bajos, limitada capacidad de intercambio, y con deficientes niveles iniciales de P y K, CHEBATAROFF; N. (1979) evaluó la respuesta de soja en rendimiento al agregado de P y K. Este autor obtuvo, en un año con marcadas deficiencias hídricas, incrementos de algo más de 1000 kg/ha sobre el testigo, con el agregado de 40 unidades de P_2O_5 e incrementos de más de 1200 kg/ha sobre el testigo, con la aplicación de 80 unidades de P_2O_5 /ha.

Sobre praderas arenosas de Tacuarembó y Rivera, AMENDOLA; L. A. (1970) obtuvo respuesta en rendimiento de grano para el cultivo de soja al agregado de P_2O_5 , partiendo de un nivel inicial del orden de 4 ppm de P_2O_5 . Encontró para esos tenores de P_2O_5 en el suelo una respuesta del orden de 157% de aumento con el agregado de 118 unidades de P_2O_5 , siendo el peso de 100 semillas el componente del rendimiento que más fue afectado por el agregado de P.

Concluyendo, la respuesta de la soja a la fertilización directa está condicionada al nivel de P disponible en el suelo. Así, las respuestas obtenidas en suelo de bajo nivel, oscilan entre 330 y 1000 kg/ha; para suelos de nivel medio entre 130 y 200 kg/ha y para suelos de nivel alto entre 67 y 134 kg/ha. Si bien es-

to es cierto los mayores rendimientos están asociados a niveles altos de P en el suelo.

Una característica muy señalada para la soja es su respuesta a la fertilidad residual. DE MOOY y PESEK (1971) indican que la soja es eficiente en el uso de la fertilidad residual, e incluso este efecto puede superar al efecto de la fertilización directa. Un caso donde el efecto residual fue mayor que el efecto directo fue reportado por PETERSON (1967) citado por estos autores, quien obtuvo respuesta de 340 y 570 kg/ha con aplicaciones de 101 kg/ha de P el primer año y respuestas de 440 y 740 kg/ha al año siguiente. Condiciones atmosféricas desfavorables el primer año redujeron la eficiencia de la fertilización. DE MOOY et al (1973) señalan que hay poca diferencia entre el efecto de la fertilización residual y la directa. Estos autores observaron que la respuesta a la fertilización residual fueron uniformes a través de los años y no difieren significativamente de las respuestas al fertilizante en su año de aplicación.

FINK et al (1974) tampoco observaron diferencias entre ambas formas de fertilización. Puede decirse en resumen, que quizás debido a la absorción tardía de nutrientes por la planta de soja, estas puedan ser eficientes recuperadoras del fertilizante residual, y este efecto puede ser igual o superior a la fertilización directa.

En un ensayo de fertilización durante 3 años sucesivos, sobre suelos de nivel bajo de P; BHANGOO y ALBRITTON (1972); encontraron que con el agregado de 40 unidades de P/ha, los incrementos en el rendimiento de grano con respecto al testigo fueron de 380, 110 y 0 kg/ha, para el primer, segundo y tercer año respectivamente. La respuesta fue significativa únicamente el primer año. Atribuyeron que la falta de respuesta podría ser debida al incremento del nivel de P en el suelo y posiblemente al déficit

de agua ocurrido.

Los trabajos antes citados presentan resultados alentadores respecto a la fertilización fosfatada del cultivo de soja. La misma puede resultar en aumentos considerables y consistentes en el rendimiento de grano, dependiendo de características del año (humedad), adecuada localización del fertilizante, población de plantas, distancia entre líneas, nivel de P en el suelo, variedad, tipo de suelo; etc.

En cuanto a la influencia de la humedad varios autores concuerdan en que la respuesta a la aplicación de P en años secos o con períodos de stress hídrico en la estación de crecimiento es menor que la observada en años con balance hídrico adecuado (DUNPHY et al, 1966; BHANGOO y ALBRITTON, 1972; FINK et al, 1974; y OHLROGGE y KAMPRATH, 1968).

KAMPRATH y MILLER (1958) demostraron que el rendimiento de la soja está relacionado al nivel de P en el suelo; dando un coeficiente de correlación. Estos mismos autores realizan un trabajo donde estudiaron la correlación de ciertos factores del suelo y la población con el rendimiento de la soja.

Cuadro N° 12. Correlación de ciertos factores del suelo y la población con el rendimiento de soja, en un ensayo de campo (Kamprath y Miller, 1958).

Factor	Correlación (coeficiente r)
Población	0.236 **
pH	0.316 **
Calcio	0.120
Fósforo	0.358 **
Potasio	0.226 *
Materia Orgánica	-0.100

Este cuadro muestra que de los factores del suelo estudiados el contenido de P en el suelo y el pH fueron los más importantes, en determinar los rendimientos de soja en tanto la población y el nivel de potasio en el suelo, lo fueron en menor grado, aunque también significativos.

DUNPHY et al (1966) reportaron que algunas variedades de soja poseen en un mayor grado que otros, la habilidad de responder a altos niveles de fertilidad. Otras variedades son insensibles a variaciones en la fertilidad, y miden aproximadamente igual a niveles de fertilidad medios así como en suelos altamente fertilizados.

En ensayos realizados en Rio Grande del Sur, VIDOR (1978) investigó la respuesta diferencial de 15 variedades de soja a la fertilización fosfatada. Dichos ensayos se realizaron en suelos ácidos y deficientes en P, presentando concentraciones tóxicas de Al y Mn intercambiable. Concluyó que los cultivares que respondían más a la fertilización fosfatada fueron Hood, IAS-1, Bragg y Bienville, presentando rendimientos de más de 4.000 kg/ha, argumentando que esta respuesta diferencial entre variedades se debía principalmente a una mayor capacidad de absorción de P del suelo y a una mejor adaptación de estas variedades a las condiciones químicas de los suelos en estudio.

Este autor en otro ensayo estudiando la respuesta de 3 variedades; Bragg, Hardee y Planalto; al agregado de 0-100 y 200 kg de P_2O_5 /ha con 3 niveles de K y cal, observó que la variedad Bragg presentó la mayor respuesta al P y al encalado seguida por Planalto y por último la variedad Hardee. A su vez explicó que la respuesta de Bragg al agregado de P fue lineal, en cambio para las otras se encontró un máximo para el nivel de 100 kg de fosfato agregado. Concluye que la elevada respuesta (superior al 50%) fue

debida al papel que juega el P incrementando la síntesis de proteína, el desarrollo radicular y aéreo, beneficiando la nodulación, lo que produce un aumento del contenido de N de la planta, incrementando así el rendimiento en grano.

II.3.6.3. *Efecto de la localización del fertilizante.* De acuerdo a TISDALE y NELSON (1970) un aspecto importante de la localización del fertilizante es el de la colocación con respecto a la planta. La determinación de la zona apropiada del suelo en que la aplicación del fertilizante debe hacerse tiene casi el mismo grado de importancia que escoger la cantidad correcta del nutriente para la planta. La colocación del fertilizante es importante porque éste le va a permitir a la planta hacer un uso eficiente de los nutrientes desde la emergencia hasta la madurez. Es importante la colocación de parte del fertilizante donde pueda ser interceptado por las raíces al inicio del desarrollo y otra parte mayor del fertilizante profundamente donde esté con mayor probabilidad en una zona húmeda durante la mayor parte del año. También es importante para prevenir los posibles daños por concentraciones salinas cerca de la semilla a causa del fertilizante.

Un aumento en la eficiencia de utilización del fertilizante fosfatado, puede ser obtenida mediante la localización del P, en vez de mezclarlo con el suelo, especialmente en suelos con poder medio a alto de adsorción (ANGHIONONI y BARBER, 1980; citados por BORKERT y BARBER, 1985). Estos autores basan su opinión en los siguientes conceptos: (1) el P localizado está en cierto grado protegido contra reacciones de adsorción o precipitación con el suelo, (2) este P es más rápidamente accesible para la planta que el distribuido uniformemente por el suelo y (3) las plantas pueden tomar todo el P necesario para ellas con un menor número de raíces desarrolladas en la banda.

Además encontraron que durante los primeros 24 días de crecimiento el máximo crecimiento se obtiene localizando el fertilizante en $1/8$ a $1/6$ del volumen del suelo. Resultados similares fueron encontrados por ANGHIONONI y BARBER (1980) y resultados de campo por BARBER (1974) indican que localizando el P en un 10 a 15% del volumen del suelo se obtenían mayores rendimientos que fertilizando en bandas o al voleo con las mismas dosis. También encontraron ventajas en la localización del P debido a una menor adsorción de este por la solución del suelo y a una estimulación del crecimiento de las raíces creciendo en la banda.

ROBINSON, SPRAGUE y GROSS (1959), citados por HAM et al (1973) concluyeron que la aplicación del fertilizante en bandas es particularmente importante en:

- cuando crecimiento y desarrollo del cultivo se da en climas fríos.
- períodos de germinación donde temperaturas son aún bajas.
- en suelos con bajos contenidos de P asimilable, particularmente aquellos suelos con alta capacidad de fijación del P.

Según CLAPP y SMALL (1970) citados por el mismo autor, la germinación de la soja puede ser inhibida si altas dosis de fertilizantes son localizadas cerca de la semilla. Reportaron que todas las dosis de fertilizantes usados como starter junto a la semilla reducían la emergencia y el rendimiento en grano. Concluyeron que no es conveniente localizar fertilizantes que contengan NPK junto a la semilla en la siembra.

HAM et al (1973) estudiaron los efectos de tres localizaciones distintas (voleo, bandas con la semilla y bandas 5 cm por

debajo y al costado de la semilla) concluyendo que en años secos y en suelo con bajos niveles de P, las mayores respuestas se obtenían aplicando el fertilizante al voleo. Los rendimientos obtenidos con fertilizaciones en bandas eran menores. Se encontraron incrementos de 749 y 941 kg/ha para tratamientos en bandas y voleo respectivamente.

En años lluviosos y suelos pobres en P; estos investigadores encontraron que los mejores resultados se obtenían con combinaciones de fertilizantes al voleo y en bandas, dependiendo de las variedades utilizadas. Por su parte, no encontraron cambios significativos en el contenido de proteína y aceite del grano cuando se combinaba la forma de fertilización. El contenido de N permanecía constante para todos los tratamientos.

De acuerdo a PARKE, SCARSETH y ENFIELD, citados por DE MOOY, PESEK y SPALDOM (1973) la incorporación de los fertilizantes secos en el suelo por medio de aplicación al voleo seguido por una arada a 18-20 cm de profundidad es usualmente considerado que da mejores resultados que incorporar el material con una disqueada superficial.

DE MOOY et al (1973) compararon la aplicación al voleo e incorporada con un arado con una aplicación fraccionada en superficie y a 30 cm de profundidad, o partes iguales en la superficie, 30 y 60 cm. La respuesta del P aplicado a 30 cm de profundidad fue 120 kg/ha mayor que la forma convencional de incorporarlo con el arado y 150 kg/ha más que cuando fue distribuido a 60 cm. Las diferencias fueron pequeñas y no hubo stress de humedad durante la estación de crecimiento.

Según HANWAY citado por LABELLA (1981) la incorporación es el método más eficiente de proveer nutrientes a la planta en los estadios tardíos de crecimiento.

HANSON, R.G. (1979) realizó un ensayo de 2 años sucesivos con la variedad Bragg en suelos de alto nivel de P disponible, para estudiar el efecto de la localización del fertilizante fosfatado y su efecto residual. En este ensayo se observó que la fertilización al voleo incrementó el rendimiento en grano, presentando una correlación altamente significativa de 0,41 con el mismo. La fertilización directa en bandas; si bien incrementó el rendimiento no estuvo correlacionada, significativamente con el mismo.

En un ensayo realizado por AMENDOLA L.A. (1976) sobre una pradera negra vertisólica, en el verano 75/76 se probaron tres diferentes localizaciones a 5 niveles de P. Las localizaciones fueron:

- voleo incorporado con arado.
- voleo incorporado con disquera.
- en bandas al costado y por debajo de la semilla.

Los mejores resultados se obtuvieron con la fertilización al voleo incorporado con disquera. A 80 unidades de P/ha esta localización rindió un 15% más que la última y un 10% más que la primera. Con localizaciones en bandas el máximo rendimiento se logró con 68 unidades, observándose una disminución del rendimiento por encima de dicho nivel. Con fertilizaciones al voleo los máximos rendimientos se obtuvieron con niveles más altos de P; 130 unidades de P/ha para la incorporación con arado y 115 unidades para la disquera.

Según DE MOOY, PESEK y SPALDOM (1973) la localización del fertilizante en bandas 5 cm al costado y 5 cm por debajo de la semilla, generalmente ha tenido buenas respuestas. La localización en bandas puede afectar a la semilla y mucho depende de la distancia entre el fertilizante y la semilla y la cantidad de fertilizante.

GHELFI y EZCURRA URIBURU (1980) realizaron trabajos en la provincia de Buenos Aires entre 1972 y 1979, aplicando siempre 30 kg de P/ha bajo forma de superfosfato triple. La aplicación del superfosfato en la parte inferior del surco, separado de las semillas por una capa de tierra, promovió el mayor porcentaje de absorción de P del fertilizante que correspondió a plantas de 34 días, disminuyendo luego al profundizarse el sistema radicular. La colocación del fertilizante a ambos costados de los surcos de siembra resultó de similar eficiencia luego que hubo transcurrido un período inicial que pudo estimarse entre 45 y 55 días desde la siembra.

De acuerdo a lo visto se puede concluir que el efecto de la localización también depende del nivel de P en el suelo. En suelos de bajo nivel de P disponible, la localización en bandas difícilmente produzca rendimientos máximos aunque sí se obtengan buenos incrementos en el rendimiento. En suelos de nivel medio a alto de P disponible y donde la fijación no es importante, la localización no representaría ventajas adicionales.

II.4. NUTRICION POTASICA

II.4.1. Introducción

El K es el tercero de los elementos llamados mayores, requeridos para el crecimiento de las plantas. Es absorbido como ión K^+ y se encuentra en los suelos en cantidades variables, puede oscilar desde unos pocos cientos de kg/ha en la capa arable en suelo de textura gruesa formado sobre arenisca o cuarcita, hasta 40.000 kg o más/ha en suelos de texturas finas formados sobre rocas con alto contenido de minerales potásicos. Esto explica porque a pesar de la absorción relativamente alta de K por los vegetales, la deficiencia de K en los suelos no es tan frecuente como la de N y P. A partir de

estas reservas de K las plantas la van utilizando con una velocidad que es controlada por el crecimiento de esta.

El K tiene acción directa en la formación de azúcares y almidón, esenciales para todas las actividades de la planta siendo también fundamental en la síntesis de proteína.

La carencia de este elemento restringe el desarrollo y crecimiento, traduciéndose esto, en una deficiente fructificación y pequeño tamaño de semilla, por escasez de sustancias básicas para una suficiente nutrición celular y óptima capacidad de asimilación y elaboración, dificultándose la fotosíntesis.

Este elemento es el segundo nutriente más absorbido y más translocado por la soja, siendo sólo superado por el N. Este nutriente activa un número grande de enzimas, razón por la cual, es muy importante para el metabolismo y crecimiento de la planta.

También influye mucho en el balance nutricional y tiene estrecha relación en la absorción de Ca y Mg.

El porcentaje de estos 2 elementos es muchas veces reducido por la aplicación de K (NELSON et al, 1946 y DE MOOY y PESEK, 1970).

11.4.2. Absorción

Del total del K presente en el suelo solamente una parte puede ser utilizada inmediatamente por las plantas.

El K del suelo existe bajo tres formas:

1. relativamente inasimilable,
2. lentamente asimilable.
3. rápidamente asimilable.

Se considera que estas formas se encuentran en equilibrio como se ilustra en el siguiente esquema:

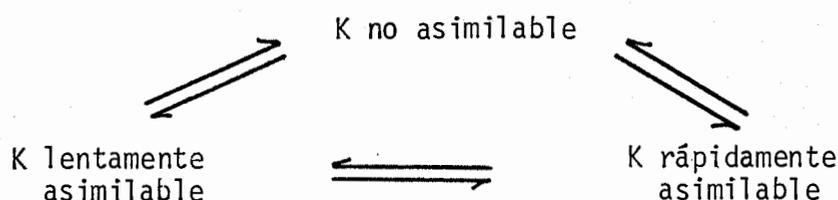


Figura N° 4.

El K no asimilable, se encuentra formando parte de las estructuras cristalinas, de los minerales primarios y secundarios micáceos no meteorizados. Al K lentamente asimilable las plantas lo toman gradualmente a través de reacciones minerales; tales como la illita que pueden fijarlo o liberarlo alternativamente, dependiendo de varios factores. Uno es la concentración de K asimilable en la solución del suelo y en forma intercambiable; que componen el K rápidamente asimilable, están presentes tanto en la solución como retenido por el complejo de intercambio del suelo.

Debido a la continua remoción del K por la absorción de los cultivos y por el lavado en algunos suelos arenosos es muy proba

ble que nunca exista un equilibrio estático.

Hay una continua pero lenta transferencia de K de los minerales primarios a formas enteramente asimilables e intercambiables. En algunas condiciones de suelo incluidas aplicaciones de grandes cantidades de fertilizantes potásicos, puede darse la reversión a formas lentamente asimilables. La forma no asimilable oscila de un 90% a un 98% del K total del suelo, la que es lentamente asimilable de un 1 a un 10% y lo que es rápidamente asimilable de un 0,1% a un 0,2%.

En la agricultura intensiva del presente, cuando se hace énfasis en altos rendimientos, hay una gran demanda diaria de K. En muchos suelos se deben agregar grandes cantidades de fertilizantes potásicos para cubrir estas necesidades. Bajo tales condiciones la liberación de K a partir de formas lentamente asimilables será mucho menor así como el movimiento por gradiente de concentración desde formas no intercambiables a intercambiables.

La absorción de K mantiene las mismas características que la de P y otros nutrientes en cuanto a que, si bien es pequeño al principio de la estación, va en aumento en los diferentes estadios hasta que se hace máximo entre floración completa y llenado de grano.

HAMMOND et al (1951) describieron las cantidades de nutrientes absorbidos por el cultivar Richland, que producía 2890 kg/ha la absorción de K fue de 62,8 kg/ha.

Las tasas máximas de acumulación fueron de 1,9 kg/ha/día durante intervalos semanales en el período comprendido entre 73 y 101 días post-siembra (crecimiento vegetativo y floración). Duran

te la formación de grano el K así como el N y el P fueron translocados hacia este.

Sin embargo HENDERSON y KAMPRATH (1970) encontraron absorciones, mucho mayores, del orden de los 4,6 kg/ha/día medidas en el período de 100 a 110 días post-siembra. Es necesario destacar que estos resultados corresponden a un cultivo de excelente rendimiento (aproximadamente 5.000 kg/ha). Por otra parte se aplicó una alta fertilización potásica, siendo además las condiciones climáticas para ese año muy buenas.

HANWAY y WEBER (1971b) procuraron obtener mayor información sobre la nutrición mineral de soja y la influencia del cultivar, nodulación y aplicación de fertilizantes sobre las cantidades de N, P y K acumuladas en las partes aéreas de las plantas en esta^{dos} sucesivos de su crecimiento. Las tasas de acumulación fueron lentas al inicio del ciclo y luego aumentaron rápidamente y la acumulación llegó a una tasa diaria constante de 1,5 kg de K/ha/día entre los estadios 5 (9 a 10 hojas trifoliadas, completamente abiertas y plantas en plena floración) y 9 (hojas inferiores comenzando a amarillear y vainas superiores completamente desarrolladas con granos aproximándose a su tamaño máximo). Aproximadamente el 79% de la acumulación ocurrió entre esos dos estadios.

Cerca del 50% del K y del N y P de las semillas maduras fue translocado de los órganos vegetativos y el 50% restante fueron absorbidos del suelo durante el desarrollo del grano. El grano de soja contiene grandes cantidades de K.

HANWAY citado por DE MOOY et al (1973) señalan que del total de K absorbido el 40% lo es después del comienzo de formación del grano.

HAMMOND et al (1946) citados por HANWAY y WEBER (1971) reportan una absorción total a lo largo del ciclo de 117 kg/ha mientras que HENDERSON y KAMPRATH indican que la absorción total en los diferentes años variaban entre 114 y 189 kg/ha obteniendo una media de 159 kg/ha.

En general la acumulación de K tiene similares características que la de las otras macronutrientes. Aunque según HENDERSON y KAMPRATH la acumulación de K no fue tan uniforme como la de los otros nutrientes. Ellos señalan que la acumulación en las partes vegetativas fue en aumento hasta los 110 días post-siembra, comenzando luego a disminuir debido a la translocación hacia las semillas. Esta disminución no se observa si se analiza la totalidad de la planta (parte vegetativa, semilla y vainas), por el contrario continúa aumentando hasta los 30 días post-siembra.

OHLROGGE (1960) citado por PESEK (1972) encontró para la soja creciendo en condiciones de campo, niveles de K de 0,5% y 4,2% siendo este último valor encontrado en hojas.

DE MOOY et al (1973) señalaron una concentración en hojas, tallos y raíces ligeramente superior al 1% durante el crecimiento temprano. Este porcentaje disminuye gradualmente con el desarrollo de la planta, y se observa una disminución marcada en el período de llenado de grano. Los porcentajes de K en la madurez eran muy bajos, 0,4% en hojas caídas, 0,3% en pecíolos caídos, 0,2% en tallos maduros y 0,1% en raíces. La disminución de K en las chauchas se da posteriormente a la disminución del mismo elemento en otras partes de la planta. Según estos autores la disminución de K en la planta no es tan marcada como lo es con respecto a N y P.

En cambio, al igual que estos su contenido porcentual va en aumento desde las partes inferiores más viejas hacia las partes superiores más jóvenes.

TISDALE y NELSON (1966) y también BLACK (1965) analizaron los factores que afectaron el equilibrio de K en el suelo. Entre los más importantes citaron: textura, tipo de coloide, temperatura, pH.

La textura al ser un índice de la composición mineralógica del suelo afecta la disponibilidad de K en la solución.

El suelo arcilloso muestra un incremento de K^+ en la solución cuando aumenta la cantidad de K intercambiable. Esto es debido a las distintas intensidades de unión del K con los minerales 2:1 tales como illita, vermiculita y clorita. Las arcillas 1:1 no fijan iones K de la misma manera que los minerales 2:1 y la materia orgánica (humus) aunque posee una gran capacidad para retener K y otros cationes en forma intercambiable, no está capacitada para fijar este elemento. Por lo tanto, cuando mayor es el contenido de illita o similares 2:1 de un suelo, mayor es la fijación de K presente en forma soluble o intercambiable. Como en el caso de P grandes agregados de K en el transcurso del tiempo, redundarían en la reducción de la fijación de este elemento y en un aumento de K intercambiable, el que es frecuentemente usado como un indicador de la disponibilidad de este elemento para la planta.

En cuanto a la temperatura, encontraron que con un aumento de la misma, aumentaba el K intercambiable aunque las temperaturas usadas fueron muy superiores a las que se dan normalmente en el campo.

Estos autores también encontraron que el secado y mojado alternado del suelo se traduce en un aumento del K intercambiable.

Esto es particularmente cierto cuando los niveles de K son medios a bajos, pero con niveles altos puede ocurrir lo contrario.

En cuanto al efecto del pH en la disponibilidad de K, HANNA y HUTCHESON (1968) resumen el tema en dos puntos:

- a) el pH del suelo cuando se aplica K,
- b) el agregado o no de otros fertilizantes o productos a la vez o luego del K.

Estos autores sostienen que los iones K^+ permanecen disponibles para la planta en los complejos de intercambio salvo que sean sustituidos por otros iones o lixiviados en capas más profundas. Esto quiere decir que un encalado debería aplicarse previo a la fertilización potásica. Así se pondría a los iones Ca, que son más fácilmente sustituidos por el K que por el Al y H, en los coloides. Por lo tanto el K quedaría disponible para la planta. Estos autores agregan que los suelos naturalmente alcalinos, rara vez presentan problemas de deficiencia de K, ya que su nivel es alto por lo general. Estos investigadores mencionan que los suelos con mayor grado de saturación en bases pierden menos su K intercambiable por percolación que suelos cuya saturación en bases es menor.

También hay que tener en cuenta que el nivel de absorción de K tiene una íntima relación con el balance nutricional, con la planta y también con la absorción de Ca y Mg. Comúnmente ocurre que los porcentajes de estos dos últimos elementos disminuye por la aplicación de K (NELSON et al (1946), DE MOOY y PESEK (1970).

BARBER (1968) señala que varios autores miden la disponibilidad de K para las raíces de las plantas en términos de su relación con el Ca y con la suma de Ca + Mg.

Esto indicaría que la absorción de K se reduciría a medida que aumentaba la concentración de Ca + Mg, lo mismo sucedía a la inversa aunque este autor encontró que había una mayor influencia de K sobre el Ca, Mg, Na que la que había de estos iones sobre el K. El contenido del ión Ca y Mg en la planta puede aumentar sin ocurrir una disminución paralela del K. A su vez la disponibilidad del K parecería estar más relacionada a su cantidad total presente, que a su relación con las concentraciones de Ca y Mg.

PEARSON (1958) encontró que altas concentraciones de Ca en la solución del suelo, inhiben la extracción de K, aunque esta se encuentra en cantidades adecuadas. Este hecho está referido a un antagonismo Ca-K y es el resultado de un desbalance entre el Ca y otros cationes. El desbalance Ca-K es aparentemente una de las causas de hechos muy comunes observados en deficiencias severas de K que siguen al uso de dosis moderadas de Cal en suelos ácidos con bajos niveles de K nativo y donde bajas tasas de K han sido aplicadas.

SOARES (1978) estudió los efectos del K y demostró que dosis pequeñas de K, presentan un efecto sinérgico con el Ca y Mg, promoviendo mayor absorción de estos nutrientes y mayor producción, pero también encontró que dosis muy altas de este elemento hacen que disminuya la absorción de Ca y Mg.

KHAN y HANSON (1957) citados por DE MOOY et al encontraron que aplicaciones de Ca reducen la acumulación de K en las raíces, pero los cambios no eran tan grandes como los cambios ocurridos en los . Estos mismos autores variaron la relación Ca/K de 1/3 a 7, lo que aumentó el contenido de Ca y reduce el de K en la planta. Cuando la relación es extremadamente alta 60:1 causó síntomas de deficiencia.

CRALLEY y BEECHER (1951), DE MOOY y PESEK (1970) encontraron que el Ca era el factor más importante, después del K, en afectar el nivel de K en las hojas.

DE MOOY y PESEK (1970) observan que el efecto del K aparece muchas veces relacionado al P. La interacción P-K tiene un efecto significativo en el contenido de K en las hojas. La aplicación de K también afecta el contenido de P de las hojas a través de un efecto de interacción P-K.

Según COLWELL (1944) WEBER y CALDWELL (1962), las interrelaciones en P y K en la producción de grano se manifiestan claramente bajo la deficiencia de K. La deficiencia inducida de K aparece cuando se hacen aplicaciones de P que tienen bajos contenidos de P y K disponible. Los requerimientos de K pueden ser tan altos que una respuesta a P puede ser obtenida sólo después de aplicaciones muy altas y antieconómicas de K (DE MOOY, 1965).

ADAMS et al (1937) encontraron que N y K eran requeridos en combinación para obtener los máximos contenidos de aceite.

SHUSTER y GRAHAM (1927) observaron que tanto P como N en combinación con K eran necesarios para incrementar el porcentaje de aceite.

II.4.3. Períodos críticos para la nutrición "K"

El K interviene en el metabolismo de las plantas pero no forma parte de ningún compuesto estructural permanente. El K actúa en procesos enzimáticos y tiene mucha importancia en procesos bioquímicos y fisiológicos del metabolismo de las plantas.

El K no se encuentra distribuido uniformemente dentro de las plantas. Estudios inorgánicos de la célula indican que el K se halla en el citoplasma y vacuolas pero no en el núcleo. Bajo condiciones de deficiencia el K se encuentra en las partes de crecimiento activo a expensas de las porciones de tejidos viejos. Esto es así por su movilidad y su relación directa en el metabolismo. Bajo estas condiciones la migración del K puede apresurar la senectud de las hojas viejas, ya que sin él la actividad fotosintética baja rápidamente.

Los síntomas más comunes de deficiencia de este elemento según BLACK (1975) son:

1. acortamiento de tallos, lo que da un aspecto achaparrado.
2. aparición de un color tostado y muerte del tejido foliar.

SCOTT y ALDRICH (1975) señalan que los primeros síntomas de deficiencia específicos para soja son:

1. en caso de una deficiencia no muy aguda se presenta un moteado amarillo irregular alrededor de los bordes de las hojas pequeñas. Estas áreas cloróticas pronto forman un borde amarillo e irregular, pudiendo llegar a producir incluso la muerte del tejido.
2. en caso de deficiencia muy aguda solamente el centro se mantiene verde.

Generalmente los síntomas de deficiencia aparecen en las hojas basales para ir luego avanzando hacia las hojas más jóvenes. La deficiencia de K tiene un grave efecto sobre los procesos fisiológicos de la planta.

Los contenidos de N de los aminoácidos en las hojas y tallos aumentan y los carbohidratos disminuyen en plantas deficientes de K (STEINBERGER, 1951).

HENDERSON y KAMPRATH (1970) al analizar la acumulación de K a lo largo del cultivo llegaron a un promedio de 126 kg/ha. Al analizar el contenido porcentual de nutrientes en la planta observaron una disminución continua desde los 60 días del ciclo salvo un ligero incremento al comienzo de la caída de las hojas. Esto según los autores, sugieren que en los primeros 60 días la acumulación de K fue mayor que la de materia seca, atribuyen la rápida caída luego de los 130 días, a que la absorción en ese estadio es muy pequeña. Ellos concluyen que en general la soja absorbe más rápidamente en los primeros estadios enlenteciéndose hacia la madurez.

Esto concuerda con lo encontrado con SCOTT y ALDRICH (1975) quienes encontraron el máximo ritmo de absorción de K se da durante el período de máximo crecimiento vegetativo, luego decrece hasta el momento en que empiezan a formarse los granos.

SAUMEL, H. (1975) indica que el déficit parcial o total de K en el período de rápido crecimiento de la parte aérea, limita el desarrollo de la soja en proporción semejante al nivel de deficiencia. El K normalmente es tomado del suelo desde la emergencia hasta los 15-20 días antes del amarillamiento de las hojas en forma progresiva y constante..

OHLROGGE y KAMPRATH (1968) señalaron la importancia de las concentraciones de nutrientes en la última hoja desarrollada en el estadio de floración tardío, como indicadores del nivel nutritivo en que se halla la planta. El nivel de K era considerado suficiente si su concentración era mayor a 1,7% y era menor que 2,5%, el

nivel era deficiente cuando la concentración era menor a 1,25%.

En Brasil MASCARENHAS, HIROCE y BRAGA (1978) encontraron que la presencia de K era fundamental desde el estadio R-3 (comienzo de desarrollo de vainas), en adelante ya que este nutriente favoreció la retención de vainas en las plantas, reduce la deficiencia de las mismas, mejoró la calidad de las semillas e inclusive aumentó la resistencia de la planta frente al ataque de hongos.

11.4.4. Efecto sobre la nodulación

Los resultados encontrados para K como un factor influyente sobre la nodulación son tan variables como los encontrados para P.

FERGUSON y ALBRECHT (1941) observaron que la presencia de K promovía la fijación nitrogenada.

Según POSCHEMRIEDER et al (1940) citados por DE MOOY et al observaron efectos positivos de K sobre la nodulación cuando la dosis de aplicación de P era superior a un valor dado y efectos negativos cuando la dosis de aplicación de P era inferior a ese valor. DE MOOY y PESEK (1966) verificaron que la nodulación máxima era obtenida con la aplicación de 600-800 ppm de K en ensayo de campo.

HELTZ y WHITING (1928) citados por JONES, LUTX y SMITH (1969) reportaron que con 140 kg/ha se incrementó el número de nódulos de 37,88 a 55,3. Doblando la dosis de fertilización, los autores encontraron en sus experimentos de campo que la nodulación decreció.

PERKINS (1924) citado por JONES, LUZT y SMITH (1967) reportó que el K no era esencial para la nodulación, mientras que FELLERS (1918) encontró algún efecto positivo del K en la nodulación.

JONES, LUTZ y SMITH (1969) trabajando sobre el efecto del P y K sobre la nodulación en soja, encontraron que los tratamientos con PK incrementaban significativamente el número de nódulos por planta y metro de área; peso total de nódulos y promedio de peso por nódulo. Estos autores encontraron que el efecto de PK era mayor que el de K solo, a su vez, este era mayor que el del P solo.

11.4.5. Respuesta a la fertilización potásica

Como ya se mencionó, el K tiene una importante función tanto en los procesos enzimáticos como en el metabolismo de las plantas. Por estas mismas funciones el agregado de K a los cultivos tiene influencia sobre varios componentes del rendimiento. Aparte de esto existen numerosas observaciones en en sentido de que la fertilización potásica mejora las relaciones hídricas de las plantas. El aumento en el suministro de K resulta en un aumento del contenido de H₂O y de la turgencia de la planta.

El K es esencial en la acción de ciertas enzimas que catalizan reacciones de transfosforilación y acoplamiento de aminoácidos; por esto es esencial en el metabolismo de las proteínas. La producción total de carbohidratos en plantas deficientes en K es tá limitada, por que produce en los cultivos cañas débiles y fibras pobres. Al suministrar K se produce un aumento en el esclerénquima de las paredes celulares así como en el grosor de las mismas.

En los cultivos se observa que la máxima cosecha de grano se da con la misma dosis de K necesario para la máxima cosecha de soja, en contraposición a lo observado para N. Donde el nivel de N requerido para máxima cosecha de soja, es mayor que el requerido para producir máxima cosecha de grano.

En cuanto al efecto en el tamaño del grano individual, hay una diferencia sustancial entre el efecto del K por un lado y el del N y P por el otro. En general el tamaño de los granos no se reduce mucho bajo condiciones de deficiencia de N y/o P. Pero bajo la deficiencia de K los granos se forman y no llegan a "llenarse" por lo que el peso resulta muy disminuido (NELLNGEL et al, 1934).

También se ha demostrado que la carencia de potasio aumenta la susceptibilidad de los cultivos a enfermedades y ello se debe al estado en que se encuentran las plantas deficientes en dicho nutriente: bajo contenido de carbohidratos y altos contenidos de N.

También se han realizado observaciones (FRANCK, 1931) donde la deficiencia de K produce retardo en la madurez, esto se vió para soja, maíz, etc.

OHLROGGE y KAMPRATH (1968) encontraron que la soja requiere anualmente de 100 a 150 kg K/ha por lo que no sorprende que los mayores rendimientos estén acompañados por niveles altos a medios en K. Estos autores encontraron que en suelos de Estados Unidos con niveles de K de 45, 90 y 130 kg/ha los rendimientos obtenidos como porcentaje del rendimiento máximo fueron de 60, 85 y 90% respectivamente. En otros suelos los rendimientos de soja disminuyen cuando el nivel de K en el suelo fue menor a 70 kg/ha. En estos casos encontraron relativamente importantes a la fertilización directa.

Según estos investigadores un programa de fertilización con K debe dirigirse a mantener el nivel del K en el suelo de medio a alto. Con el análisis de suelo se puede determinar que el programa de fertilización con K mantiene este nutriente en niveles adecuados.

Según NELSON (1946) encontró grandes incrementos en rendimientos en prácticamente todos los suelos deficientes en este elemento del sureste de Estados Unidos.

Este investigador agregó además que una adecuada nutrición con K duplicaba el número de vainas por planta, redujo el porcentaje de granos arrugados (de 35 a 3), muchos, descoloridos y atacados por los hongos, produjo aumento en el tamaño, peso de 100 semillas y aumentó el contenido de aceite del grano en aproximadamente un 1%.

MASCARENHAS, HIROCE y BRAGA (1976) concluyeron que a pesar de la fertilización potásica no resulta en general en un aumento de producción, es importante por otras razones como ser la retención de vainas en las plantas, reducción de dehiscencia de vainas, mejor calidad de semilla, e incluso evitando ataques de algunos hongos. Estos autores no encontraron respuesta al agregado de K cuando los suelos tenían más de 0,12 miliequivalentes/100 gr de suelo ó 48 ppm de K. Asimismo sostienen que un exceso en la fertilización con KCl puede llevar a salinizar los suelos con una posterior quema de hojas.

OHLROGGE (1960) trabajando en suelos con deficiencia de K encontró altas y consistentes respuestas a la fertilización potásica. En otros tipos de suelos no halló respuesta de ningún tipo, aún frente a síntomas de deficiencia de K. Aunque la fertilización potásica aumenta la concentración del nutriente en la planta no siempre aumenta los rendimientos según este autor.

WELCH citado por CARTTER y HARTWING (1962) trabajando en suelos de Carolina del Norte sugiere que la respuesta a las aplicaciones de K es más visible cuando el K disponible en el suelo es menor a 0,09 meq/100 gr.

Por otro lado las curvas de BRAY (1961) sugieren que cuando el suelo contiene aproximadamente 0,6 meq/100 gr (56 kg/ha) de K el rendimiento en soja estará próximo al 50% del máximo obtenible mientras que en un suelo de 0,23 meq/100 gr (234 kg/ha) de K el rendimiento será el 97% del máximo.

MAPLES y KOGH (1969) instalaron 19 ensayos en distintas regiones de Arkansas. En estas encontraron que el K incrementaba significativamente los rendimientos en 7 ensayos en los cuales el análisis del suelo daba valores bajos de K disponible del orden de 67 a 90 kg/ha. Estos investigadores concluyeron que existe una correlación significativa entre el análisis del suelo y la respuesta al agregado de K, obteniendo el mayor incremento en rendimiento en grano para la aplicación de 53 kg/ha de K_2O .

MILANEZ (1978) en ensayos realizados en Espíritu Santo al norte de Brasil experimentaron la respuesta en soja al agregado de dosis crecientes de K_2O sobre suelos con un contenido inicial de 26,5 ppm de K_2O . Estos autores no hallaron respuesta significativa para el agregado de este nutriente a pesar de los bajos niveles existentes en el suelo.

Por su parte SOUZA et al en trabajos realizados sobre un latosol amarillo con un contenido de K de 28 ppm obtuvieron por aplicación de 60 y 120 kg de K_2O /ha un aumento de 90 a 55 kg/ha correspondiente a 14 y 9% respectivamente. Los investigadores señalan que los datos son coincidentes con los de MASCARENHAS et al (1960).

AMENDOLA, L.A. (1976) estudió la respuesta al agregado de 80 unidades de K/ha con un nivel de 80 unidades de P/ha, en praderas arenosas, sobre areniscas de Tacuarembó y en suelos negros, vertisólicos sobre Fraile Muerto. Concluyó que en los 2 tipos de sue

Los durante 3 años y con diferente manejo anterior de la chacra, no existía respuesta en rendimiento de grano para el agregado de esas unidades en estudio.

AMENDOLA, L.A. (1980) estudió la respuesta al agregado de K con una dosis básica de 100 unidades por ha de P en suelos arenosos de la unidad Tacuarembó. El contenido de K en los suelos era 0,19 y 0,25 meq/100 gr de suelo. No encontró una respuesta significativa para el agregado de K en el campo de 0 a 150 unidades de K_2O /ha.

CHEBATAROFF (1979) estudió la respuesta de este elemento sobre los suelos de Dragon, livianos, en la Cuenca de la Laguna Merín. Los pH de los suelos en estudio eran bajos, con niveles de materia orgánica muy bajos y con niveles de P de 2,4 ppm de P medidos por BRAY 1 y con 0,15 meq de K/100 gr de suelo. Los niveles de K utilizados fueron 0 - 60 y 120 kg de K_2O por ha bajo forma de KCl. Concluyó que las respuestas al K no fueron significativas observando una leve tendencia negativa de los rendimientos con los incrementos de la fertilización potásica. Este autor señala que los resultados sólo se pueden tomar como preliminares, puesto que la sequía perjudicó la expresión de los rendimientos, lo mismo que la falla en la nodulación.

III. MATERIALES Y METODOS

III.1. LOCALIZACION

Se realizaron cuatro ensayos en la región este del país, tres de los cuales correspondieron a análisis de fertilización regional en la unidad Alférez y el restante se instaló en la unidad Vergara en el cual se determinó la respuesta a la fuente, tiempo y método de aplicación del fertilizante.

El ensayo I fue instalado en el departamento de Rocha sobre la ruta 15 a 22 km de Lascano, en un cultivo de sola propiedad de los Ings. Rovella.

El ensayo número II también fue instalado en dicho departamento, sobre ruta 14 paraje "Los Indios", en un cultivo de soja del establecimiento "El Sauce" perteneciente a la señora Stella Ferreira de Pérez del Castillo.

El ensayo III se instaló muy cerca del ensayo II en el cultivo de soja del establecimiento "Santa Teresita" perteneciente al Ing. Alfredo Rodríguez Seré. Hay que destacar que este ensayo tuvo problemas de emergencia ya que hubo un encostramiento del suelo a causa de fuertes lluvias caídas la noche siguiente a la siembra. Posteriormente se resembró a mano, no lográndose una adecuada población de plantas, por lo que se desechó.

El ensayo número IV se instaló en el departamento de Treinta y Tres en los campos de la E.E.A.E. (Paso de la Laguna).

III.2. REGIMEN PLUVIOMETRICO

Los datos de lluvia para el ensayo número I fueron extraídos de la Estación Agrometeorológica Represa India Muerta - COMISACO S.A.

Cuadro N° 13. Registros de lluvia para el período
noviembre 1985 - abril 1986 (mm)

<i>Período</i>	<i>Nov.</i>	<i>Dic.</i>	<i>Ene.</i>	<i>Feb.</i>	<i>Mar.</i>	<i>Abr.</i>	<i>Total</i>
1985 - 1986	87,7	12,3	101,2	98,6	72,4	32,0	404,2

Como se nota en el cuadro anterior, no hubo déficit hídrico durante el ciclo del cultivo.

Los datos para el ensayo número II se extrajeron de la casilla agrometeorológica ubicada en el establecimiento Santa Teresita.

Cuadro N° 14a. Registros de lluvia para el período
noviembre 1985 - abril 1986 (mm)

<i>Período</i>	<i>Nov.</i>	<i>Dic.</i>	<i>Ene.</i>	<i>Feb.</i>	<i>Mar.</i>	<i>Abr.</i>	<i>Total</i>
1985 - 1986	52	8	120,5	68	54	29	331,5

En este ensayo existieron deficiencias hídricas en períodos críticos para el desarrollo del cultivo, según se desprende de los valores del cuadro anterior.

Los datos de lluvia del ensayo IV fueron obtenidos en la Estación Experimental Paso de la Laguna.

Cuadro N° 146. Registros de lluvia para el período
noviembre 1985 - abril 1986 (mm)

<i>Período</i>	<i>Nov.</i>	<i>Dic.</i>	<i>Ene.</i>	<i>Feb.</i>	<i>Mar.</i>	<i>Abr.</i>	<i>Total</i>
1985 - 1986	95	15,8	148,3	151	93	70,1	573,2

III.3. SUELO

III.3.1. Clasificación y ubicación

Ensayos I, II y III. Según la clasificación desarrollada por la Dirección de Suelos y Fertilizantes del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (1976) este suelo se clasifica como un Brunosol Subéutrico Lúvico de textura limosa.

Ensayo IV: Este suelo se clasifica como un Argisol de la unidad Vergara de textura franco limosa.

III.3.2. Análisis químico del suelo

Después de determinar la ubicación de los distintos ensayos, se procedió a extraer una muestra del suelo previo a la fertilización. Los análisis del suelo fueron realizados por la Dirección de Suelos y Fertilizantes del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Los resultados se observan en el Cuadro N° 15 de la página siguiente.

Cuadro N° 15. Análisis químico de suelos

Ensayo	pH	% Mat. Org.	P (ppm Bray 1)	K (meq/100 grs)
I	5,7	4	7	0,30
II	5,4	3,6	13	0,34
IV	5,4	3,0	6	0,31

III.4. HISTORIA DE LA CHACRA

El ensayo número I fue instalado sobre un campo virgen. El ensayo número II se instaló en un rastrojo de soja de primer año, siendo la fertilización del cultivo anterior de 80 unidades de P_2O_5 /ha. Se había sembrado la variedad PARANA y se obtuvo un rendimiento promedio para la chacra de 1.400 kg/ha.

El ensayo número III se sembró sobre un campo virgen, al igual que el ensayo número IV.

III.5. VARIEDAD

La variedad utilizada fue Bragg en todos los ensayos, por que además de presentar un buen comportamiento es una de las que ocupa mayor área en la zona en estudio, permitiendo la comparación de los resultados obtenidos entre sí y con otros datos de la bibliografía nacional y extranjera.

III.6. EPOCA DE SIEMBRA

Los ensayos de fertilización regional se sembraron en la primera quincena de noviembre, por considerarse esta época como la óptima para la variedad y zona en estudio. El ensayo número IV se sembró los primeros días de diciembre porque las lluvias caídas no permitieron sembrar antes.

Cuadro N° 16. Localidad, fecha de fertilización y fecha de siembra. Ensayos I, II, III y IV.

<i>Ensayo</i>	<i>Localidad</i>	<i>Fecha de fertilización</i>	<i>Fecha de siembra</i>
I	Lascano	4.11.85	7.11.85
II	Los Indios	19.11.85	19.11.85
III	Los Indios	9.11.85	9.11.85
IV	Paso de la Laguna	6.12.85	6.12.85

III.7. PRACTICAS CULTURALES

III.7.1. Laboreo

Se intentó que el laboreo para todos los ensayos fuera similar. Se realizó una arada profunda entre julio-agosto y luego se realizaron distintas pasadas de disqueras y rastras de dientes hasta obtener una preparación óptima de la sementera. Es de destacar que en el ensayo I se realizó una pasada de rastra vibratoria para lograr un mejor afinamiento de la tierra.

III.7.2. Inoculación

La inoculación se realizó en la chacra momentos previos a la siembra. Se utilizó un inoculante nacional, a razón de 2 paquetes cada 50 kg de semilla para asegurar una buena nodulación.

III.7.3. Fertilización y siembra

En los ensayos de fertilización regional, ésta se realizó al voleo y luego se incorporó con una pasada de disquera. Las fuentes usadas en estos ensayos fueron urea, superfosfato y cloruro de potasio (KCl).

En el ensayo número IV una parte del fertilizante se aplicó al voleo e incorporó con disquera 30 días antes de la siembra. Previo a la siembra se realizó una segunda fertilización en aquellas parcelas que no se habían fertilizado un mes atrás. Finalmente, junto a la siembra, que se realizó a mano, se fertilizó en bandas, también a mano, aquellas parcelas que así indicaba el ensayo.

Los ensayos regionales se sembraron con una máquina de 5 surcos a una distancia entre hileras de 50 cm y una densidad de 38,5 plantas/metro lineal.

El ensayo número IV, como ya dijimos, se sembró a mano a igual distancia entre hileras y a la misma densidad, que los ensayos I, II y III.

III.7.4. Control de malezas

En el ensayo I y III que eran campo virgen no se realizó ningún tipo de práctica cultural ni química para el control de malezas. En cambio en el ensayo II que era un rastrojo de primer año se aplicó previo a la siembra 1 lt/ha de Trifluralina y luego se incorporó con disquera. Es de destacar que en ningún ensayo hubo problemas de enmalezamiento.

III.7.5. Tratamientos sanitarios

En el período comprendido entre enero y fines de marzo se realizaron aplicaciones de insecticidas cuando las poblaciones de insectos así lo indicaban. Hay que destacar que en todos los ensayos analizados no se constató ataques importantes de lagartas (*Anticarsia gemmatilis*, *Plusia nu*, *Epinotia*) y chinches (*Nezara viridula* y otras).

III.8. DISEÑO EXPERIMENTAL

III.8.1. Ensayos de fertilización regional

El diseño estadístico aplicado fue bloques al azar con 3 repeticiones. Se analizaron 5 niveles de fósforo: 0, 40, 80, 120 y 160 kgs de P_2O_5 por hectárea; 3 niveles de nitrógeno: 0, 15 y 30 kgs de N por hectárea y 2 niveles de potasio: 0 y 40 kgs de K_2O por hectárea.

Cuadro N° 17. Tratamientos realizados en los Ensayos I, II y III

Tratamiento		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	N ₀ P ₀ K ₀	0	0	0
2	N ₀ P ₁ K ₀	0	40	0
3	N ₀ P ₂ K ₀	0	80	0
4	N ₀ P ₃ K ₀	0	120	0
5	N ₀ P ₄ K ₀	0	160	0
6	N ₁ P ₂ K ₀	15	80	0
7	N ₂ P ₂ K ₀	30	80	0
8	N ₂ P ₂ K ₁	30	80	40
9	N ₁ P ₃ K ₀	15	120	0
10	N ₂ P ₃ K ₀	30	120	0

Las dimensiones de las parcelas fue de 3,60 mts. de ancho por 6,0 mts. de largo, lo que produce un área total de 21,6 mts² por parcela.

Se ubicaron 5 tratamientos por subbloque, dejándose una separación de 1 metro entre cada subbloque y también 1 metro entre cada bloque.

Como ejemplo, se muestra en el Cuadro N° 18, la forma de distribución de los distintos tratamientos en el ensayo I.

Cuadro N° 18. Diseño usado en el Ensayo 1

	0	15	0	15	30
	80	120	0	80	80
	0	0	0	0	40
BLOQUE I					
	30	0	0	0	30
	80	160	40	120	120
	0	0	0	0	0
	0	0	30	0	15
	0	120	80	80	120
	0	0	40	0	0
BLOQUE II					
	30	15	30	0	0
	80	80	120	40	160
	0	0	0	0	0
	15	0	0	30	0
	120	40	80	80	120
	0	0	0	40	0
BLOQUE III					
	15	30	0	30	0
	80	120	160	80	0
	0	0	0	0	0

Cada parcela tenía 7 hileras, dejándose las 2 hileras exteriores como borde, las 2 interiores contiguas se utilizaron para extracción de muestras y las 3 centrales se cosecharon.

En cuanto al análisis estadístico a todas las variables se les realizó un análisis de varianza. En aquellas en que el ANAVA mostró diferencias significativas entre los tratamientos se proce

dió a efectuar contrastes de tendencias para visualizar la o las funciones que mejor se ajustan a las respuestas obtenidas.

Para las funciones que mostraron un ajuste significativo se efectuó el análisis de varianza de dicha regresión.

Los modelos que se utilizaron para todas las variables fueron: lineal, cuadrático, cúbico y cuártico para fósforo. Para nitrógeno se usaron los modelos lineal y cuadrático. Además se analizaron las interacciones lineal nitrógeno - lineal fósforo y cuadrático nitrógeno - lineal fósforo. En el caso del potasio se realizó un contraste simple.

A las funciones que mostraron un ajuste significativo se les efectuó el análisis de varianza de la regresión, calculándose las ecuaciones de ajuste correspondientes, los coeficientes de determinación r^2 y su significación.

III.8.2. Ensayo de evaluación del tiempo, fuente y método de aplicación del fertilizante

El diseño estadístico aplicado fue bloques al azar con tres repeticiones. Se estudiaron 3 niveles de fósforo: 0,50 y 100 kg. de P_2O_5 por hectárea, y 2 niveles de nitrógeno: 0 y 18 kg de N por hectárea.

En este ensayo, además, se compararon los efectos de aplicar el fertilizante fosfatado en 2 tiempos distintos: 30 días antes de la siembra y al momento de la misma. También se comparó la localización del fertilizante ya sea al voleo e incorporado con disquera con la aplicación en bandas al costado de la semilla.

Por último se compararon distintas fuentes de fósforo y nítrógeno: superfosfato versus supertriple y fosfato de amonio versus urea.

Cuadro N° 19. Tratamientos realizados en el Ensayo IV

<i>Tratamiento</i>	<i>Método de aplicación</i>	<i>Dosis N</i>	<i>Fuente N</i>	<i>Momento de aplic. fósforo/dosis 30 días siembra</i>		<i>Fuente de P</i>
1	N ₀ P ₅₀	0		50		Superfosf.
2	N ₀ P ₁₀₀	0		100		Superfosf.
3	N ₀ P ₅₀	0		50		Supertriple
4	N ₀ P ₁₀₀	0		100		Supertriple
5	N ₀ P ₅₀	0		-	50	Superfosf.
6	N ₀ P ₁₀₀	0		-	100	Superfosf.
7	N ₀ P ₅₀	0		-	50	Supertriple
8	N ₀ P ₁₀₀	0		-	100	Supertriple
9	N ₁₈ P ₁₀₀	18	Urea	-	100	Supertriple
10	N ₁₈ P ₁₀₀	18	Urea	-	100	Supertriple
11	N ₁₈ P ₁₀₀	18	Urea	-	100	Superfosf.
12	N ₁₈ P ₁₀₀	18	Urea	-	100	Superfosf.
13	N ₁₈ P ₁₀₀	18	F. de A.	-	46	F. de A.
				-	54	Superfosf.
14	N ₁₈ P ₁₀₀	18	F. de A.	-	46	F. de A.
				54	-	Superfosf.
15	N ₀ P ₀	0		0	0	

Superfosf. = Superfosfato

Las variables analizadas fueron: rendimiento, peso de 1000 granos, número de granos por metro cuadrado, número de plantas por metro lineal, inserción de primera vaina, altura de planta, número de vainas por planta, porcentaje de proteína, kg. de proteína por hectárea, porcentaje de aceite y kg. de aceite por hectárea.

Se realizó un análisis estadístico para cada variable. Primero se realizó el análisis de varianza. Luego por considerarse que los contrastes estaban preestablecidos al realizar el ensayo; se hicieron los contrastes ortogonales por la prueba F, para detectar las posibles diferencias entre tratamientos para cada variable.

Los contrastes establecidos a priori para cada una de las variables analizadas en este ensayo fueron:

III.8.2.1. *Para momento de aplicación.* Se realiza un primer contraste general entre todos los tratamientos con fertilización 30 días antes de la siembra (tratamientos 1,2,3 y 4) contra los tratamientos cuya fertilización se realizó al momento de sembrar (tratamientos 5, 6,7 y 8). A este primer contraste se lo denominó $L_{(1234)(5678)}$. Luego se realizaron los contrastes ortogonales individuales, llamándole L_{1-5} al contraste que comparó los tratamientos 1 contra 5, L_{2-6} al que comparó tratamientos 2 contra 6, L_{3-7} al que comparó tratamiento 3 contra 7 y L_{4-8} al que comparó al tratamiento 4 contra el 8.

III.8.2.2. *Para fuente del fertilizante fosforado.* En este caso se hicieron 2 contrastes generales, uno cuando se comparó la fuente de fósforo, sin nitrógeno y otro cuando además del fósforo se incluyó nitrógeno.

$L_{(1256)(3478)}$ = superfosfato contra supertriple sin nitrógeno

$L_{(9,10)(11,12)}$ = superfosfato contra supertriple con 18 unidades de N/ha

Después se realizaron contrastes individuales:

- L_{1-3} = tratamiento 1 versus tratamiento 3
- L_{2-4} = tratamiento 2 versus tratamiento 4
- L_{5-7} = tratamiento 5 versus tratamiento 7
- L_{6-8} = tratamiento 6 versus tratamiento 8
- L_{9-11} = tratamiento 9 versus tratamiento 11
- L_{10-12} = tratamiento 10 versus tratamiento 12

III.8.2.3. *Para dosis de fósforo.* Se realizó un primer contraste general entre los tratamientos que incluían 50 unidades de P_{205} /ha contra el testigo sin fertilizar. Se le denominó $L_{(15-1,3,5,7)}$.

También se realizó un contraste general llamado $L_{(1,3,5,7)}$ (2,4,6,8) que comparó los tratamientos con 50 unidades versus tratamientos con 100 unidades de P_{205} /ha. Para este caso se realizaron 4 contrastes individuales, a saber:

- L_{1-2} = tratamiento 1 versus tratamiento 2
- L_{3-4} = tratamiento 3 versus tratamiento 4
- L_{5-6} = tratamiento 5 versus tratamiento 6
- L_{7-8} = tratamiento 7 versus tratamiento 8

III.8.2.4 *Para método de aplicación.* Se realizó un contraste general denominado $L_{(9,11)(10,12)}$ que comparó los tratamientos 9 y 11 (fertilización al voleo) contra los tratamientos 10 y 12 (fer

tilización en el surco). También se realizaron 2 contrastes individuales:

L_{9-10} = tratamiento 9 versus tratamiento 10

L_{11-12} = tratamiento 11 versus tratamiento 12

III.8.2.5. *Para efecto del nitrógeno.* En este caso se realizó un único contraste general entre todos los tratamientos sin nitrógeno y los tratamientos con nitrógeno para una dosis fija de 100 unidades de P_2O_5 /ha.

Este contraste se llamó $L(9,10,11,12,13,14)(2,4,6,8)$

III.8.2.6. *Para fuente del fertilizante nitrogenado.* Se hizo un solo contraste $L(9,10,11,12)(13,14)$ que comparó aquellos tratamientos cuyas fuentes de nitrógeno era urea versus la que era fosfato de amonio.

III.9. MUESTREOS

III.9.1. Muestras foliares

Se extrajeron 20 muestras de folíolos por parcela, encontrando se el cultivo algunos días pasada la plena floración. El folíolo elegido para la muestra fue el desarrollado completamente más joven, coincidiendo generalmente con el segundo o tercero del ápice del tallo principal hacia abajo, lo que está de acuerdo a las normas del Soil Testing and Plant Analysis.

Las muestras fueron lavadas primero con agua y luego con agua destilada. Posteriormente se secaron a estufa a $65^{\circ}C$ durante 48 horas. Después se molieron para realizar el análisis foliar en el laboratorio de la Dirección de Suelos perteneciente al Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca.

III.9.2. Muestras de plantas

Se sacaron 2 muestras de 5 plantas por parcela en las filas contiguas a las exteriores. La parte vegetativa se estufó a 100° C durante 48 horas para posteriormente medir la materia seca/planta.

De la parte radicular se extrajeron los nódulos, se lavaron y luego se secaron a 60°C durante 48 horas. Posteriormente se determinó peso seco de nódulos/planta. Hay que destacar que todos estos muestreos se realizaron únicamente para los ensayos número I y II. También se determinó el diámetro de la corona una vez que los nódulos se habían sacado y la raíz lavada.

III.10 COSECHA Y TRILLA

La cosecha se realizó en forma manual los días 22.4.86; 6.5.86 y 7.5.86 para los ensayos I, II y IV; respectivamente. Se cosecharon las 3 hileras centrales, dejándose un borde de 50 cms sin cosechar en cada extremo de la hilera. En el ensayo IV se cosecharon solamente las 2 hileras centrales.

Las plantas cosechadas de cada parcela se embolsaron separadamente.

Posteriormente se realizó la trilla con una trilladora estacionaria de ensayos.