

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

FACULTAD DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE
DOCUMENTACIÓN Y
BIBLIOTECA

**I) ENSAYOS REGIONALES PARA LA
EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA A LA
FERTILIZACIÓN DE LA SOJA (GLYCINE MAX (L)
MERRIL) SOBRE LAS UNIDADES DE SUELO
VERGARA Y RIO BRANCO (DIRECCIÓN DE
SUELOS)**

**II) RESPUESTA A DOSIS Y LOCALIZACIÓN DEL
FERTILIZANTE FOSFATADO DE LA SOJA
(GLYCINE MAX (L) MERRIL)**

por

Julio César Alvarez Olascuaga
Ulises Amaro Echebengúa
Eduardo Amaral Irigoyen

TOMO I

TESIS presentada como uno de los
requisitos para obtener el título de Ingeniero
Agrónomo (orientación agrícola-ganadera)

MONTEVIDEO
URUGUAY
1999

Tesis aprobada por:

Director: Inj. Agr. Nicolás Chebataroff.
Nombre completo y firma

Inj. Agr. Enrique Castiglioni
Nombre completo y firma

Inj. Agr. Esteban Hoffmann
Nombre completo y firma

Fecha: _____

Autores: Julio César Alvarez Olascuaga
Nombre completo y firma

Ulises Amaro Echebengúa
Nombre completo y firma

Eduardo Amaral Irigoyen
Nombre completo y firma

AGRADECIMIENTOS

- Al Ing. Agr. Nicolás Chebataroff por la dirección del presente trabajo.
- A los Ings. Agrs. Nestor Saldain, Enrique Deambrosi y Pedro Blanco.
- A la Ing. Agr. Carmen Goñi y colaboradores de la Dirección General de Suelos y Fertilizantes del MAP por su ayuda en los trabajos de laboratorio.
- A la Ing. Agr. Elena Descalzi
- Al personal de INIA Treinta y Tres.
- Al personal encargado de la Biblioteca de la Facultad de Agronomía.
- Al Ing. Agr. Hugo Firpo.
- A todos aquellos que de distintas maneras contribuyeron a la realización de este trabajo.

Tabla de contenido

| | Pag. |
|---|------|
| Página de aprobación | II |
| Agradecimientos | III |
| Lista de cuadros y gráficos | IX |
| I- Introducción | I |
| | |
| II- Revisión bibliográfica | 2 |
| | 2 |
| II.1.1- Absorción de Nutrientes | 4 |
| II.1.1.1- Factores que afectan la disponibilidad de nutrientes | 4 |
| II.1.1.2- Mecanismo de absorción | 10 |
| II.1.2- Análisis foliar como diagnóstico de la nutrición | 18 |
| II.2- Nutrición Nitrogenada | 23 |
| II.2.1- Absorción | 23 |
| II.2.2- Fijación de Nitrógeno | 24 |
| II.2.3- Períodos críticos en la nutrición nitrogenada y posibilidades de respuesta a la fertilización nitrogenada | 32 |
| II.3- Nutrición Fosfatada | 34 |
| II.3.1- Factores que afectan la disponibilidad de P en el suelo | 34 |
| II.3.2- Absorción | 38 |
| II.3.3- Rol en el metabolismo | 45 |
| II.3.4- Efectos sobre la nodulación | 46 |
| II.3.5- Períodos críticos | 47 |
| II.3.6- Respuesta a la fertilización Fosfatada | 48 |
| II.4- Nutrición Potásica | 52 |
| II.4.1- Absorción | 53 |
| II.4.2- Períodos críticos para la absorción de K | 55 |
| II.4.3- Efectos sobre la nodulación | 56 |
| II.4.4- Respuesta a la fertilización K | 57 |

| | |
|---|----|
| III- Materiales y métodos | 60 |
| III.1- Localización | 60 |
| III.2- Régimen pluviométrico | 60 |
| III.3- Clasificación y ubicación | 61 |
| III.4- Análisis químicos de suelos | 61 |
| III.5- Historia de la chacra | 62 |
| III.6- Variedad | 62 |
| III.7- Época de siembra | 62 |
| III.8- Prácticas culturales | 63 |
| III.8.1- Laboreo | 63 |
| III.8.2- Inoculación | 63 |
| III.8.3- Fertilización y siembra | 63 |
| III.8.4- Control de malezas | 64 |
| III.8.5- Tratamientos sanitarios | 64 |
| III.9- Diseño experimental | 65 |
| III.9.1- Ensayo de fertilización regional | 65 |
| III.9.2- Ensayo de localización | 67 |
| III.10- Muestreos | 67 |
| III.10.1- Muestreo foliar | 67 |
| III.10.2- Muestreo de plantas | 68 |
| III.10.3- Cosecha y trilla | 68 |
| III.11- Determinaciones de campo | 68 |
| III.12- Determinación a nivel de laboratorio | 69 |
| | |
| IV- Resultados y discusión | 71 |
| IV.1- Ensayo 1 | 71 |
| IV.1.1- Respuesta al Fósforo | 73 |
| IV.1.1.1- Altura de la planta | 73 |
| IV.1.1.2- Inserción de la primera | 76 |
| IV.1.1.3- Materia seca por planta | 78 |
| IV.1.1.4- Peso seco de nódulos | 80 |
| IV.1.1.5- Rendimiento | 82 |
| IV.1.1.6- Número de vainas por planta | 84 |
| IV.1.1.7- Peso de 1000 semillas | 86 |
| IV.1.1.8- Porcentaje de Nitrógeno en el grano | 88 |
| IV.1.1.9- Porcentaje de Aceite en el grano | 90 |

| | | |
|--------------|--|------------|
| IV.1.2- | Respuesta al Nitrógeno | 92 |
| | IV.1.2.1- Número de plantas por metro de surco | 92 |
| IV.1.3- | Respuesta al K | 94 |
| IV.1.4- | Discusión | 94 |
| | IV.1.4.1-Rendimiento y sus componentes | 94 |
| | IV.1.4.2- Características agronómicas | 96 |
| | IV.1.4.3- Composición del grano | 97 |
| | IV.1.4.4- Análisis foliar | 98 |
| IV.2- | Ensayo 2 | 99 |
| IV.2.1- | Respuesta al Fósforo | 101 |
| | IV.2.1.1- Rendimiento | 101 |
| | IV.2.1.2- Altura de la planta | 103 |
| | IV.2.1.3- Peso de 1000 semillas | 105 |
| | IV.2.1.4- Peso de nódulos | 107 |
| | IV.2.1.5- Materia seca por planta | 109 |
| | IV.2.1.6- Diámetro del tallo | 111 |
| | IV.2.1.7- Porcentaje de Nitrógeno en el grano | 113 |
| IV.2.2- | Respuesta al Nitrógeno | 115 |
| | IV.2.2.1- Número de vainas por planta | 115 |
| | IV.2.2.2- Peso de nódulos | 117 |
| | IV.2.2.3- Materia seca por planta | 119 |
| | IV.2.2.4- Diámetro del tallo | 121 |
| IV.2.3- | Discusión | 123 |
| | IV.2.3.1-Rendimiento y sus componentes | 123 |
| | IV.2.3.2- Características agronómicas | 124 |
| | IV.2.3.3- Composición del grano | 125 |
| | IV.2.3.4- Análisis foliar | 126 |
| IV.3- | Ensayo 3 | 126 |
| IV.3.1- | Respuesta al Fósforo | 128 |
| | IV.3.1.1- Rendimiento | 128 |
| | IV.3.1.2- Peso de 1000 semillas | 130 |
| | IV.3.1.3- Porcentaje de Nitrógeno | 132 |
| | IV.3.1.4- Porcentaje de Fósforo foliar | 134 |
| | IV.3.1.5- Porcentaje de Potasio foliar | 136 |
| IV.3.2- | Respuesta al Nitrógeno | 138 |
| | IV.3.2.1- Rendimiento | 138 |
| IV.3.3- | Discusión | 140 |
| | IV.3.3.1-Rendimiento y sus componentes | 140 |

| | | |
|--------------|--|------------|
| IV.3.3.2- | Características agronómicas | 141 |
| IV.3.3.3- | Composición de grano | 141 |
| IV.3.3.4- | Análisis foliar | 141 |
| IV.4- | Ensayo 4 | 143 |
| IV.4.1- | Respuesta al Fósforo | 145 |
| IV.4.1.1- | Rendimiento | 145 |
| IV.4.1.2- | Altura de la planta | 147 |
| IV.4.1.3- | Inserción de la primera | 149 |
| IV.4.1.4- | Número de vainas por planta | 151 |
| IV.4.1.5- | Peso de nódulos | 153 |
| IV.4.1.6- | Materia seca por planta | 155 |
| IV.4.1.7- | Porcentaje de fósforo foliar | 157 |
| IV.4.1.8- | Porcentaje de nitrógeno en el grano | 159 |
| IV.4.1.9- | Porcentaje de aceite en el grano | 161 |
| IV.4.2- | Respuesta al Nitrógeno | 163 |
| IV.4.3- | Discusión | 163 |
| IV.4.3.1- | Rendimiento y sus componentes | 163 |
| IV.4.3.2- | Características agronómicas | 164 |
| IV.4.3.3- | Composición del grano | 165 |
| IV.4.3.4- | Análisis foliar | 165 |
| IV.5- | Ensayo 5 | 166 |
| V- | Discusión comparativa de ensayos I y II | 167 |
| VI- | Discusión comparativa de ensayos III y IV | 172 |
| VII- | Conclusiones | 177 |
| VII.1- | Ensayos de fertilización regional | 177 |
| VII.1.1- | Ensayo 1 | 177 |
| VII.1.2- | Ensayo 2 | 178 |
| VII.1.3- | Ensayo 3 | 179 |
| VII.1.4- | Ensayo 4 | 180 |
| VIII- | Resumen | 182 |

| | |
|-------------------------|-----|
| IX- Bibliografia | 184 |
| X- Apendice | 189 |
| Ensayo 1 | 189 |
| Ensayo 2 | 201 |
| Ensayo 3 | 212 |
| Ensayo 4 | 221 |

LISTA DE CUADROS Y GRÁFICOS

| Cuadro | | |
|--------|--|-----|
| 1 | Porcentaje de nitrógeno en las distintas partes de la planta (Burton et al, 1979) | 14 |
| 2 | Concentración de NPK en las distintas partes de la planta (Bataglia et al, 1976) | 15 |
| 3 | Concentración de nutrientes en el foliolo superior maduro de la hoja excluido el peciolo (Jones, 1966) | 20 |
| 4 | Efecto del nivel de P del suelo sobre el porcentaje de P en la planta | 21 |
| 5 | Rendimiento y fijación de N por el cultivo de soja, para dos años (Bezdicek et al, 1975) | 29 |
| 6 | Efecto de la fertilización nitrogenada en la nodulación y fijación (Ham et al, 1975) | 31 |
| 7 | Efecto del N sobre la nodulación y la actividad de los nódulos (Trang y Giddens 1980) | 32 |
| 8 | Correlación de ciertos factores del suelo y la población con el rendimiento de soja, en un ensayo de campo (Kamprath y Miller 1958) | 52 |
| 9 | Registros de lluvia para el periodo diciembre /85- mayo 1986 | 60 |
| 10 | Promedio del porcentaje de humedad de los primeros 20 cm. de suelo | 61 |
| 11 | Análisis químico de los suelos | 62 |
| 12 | Tratamientos de los ensayos I, II, III y IV | 65 |
| 13 | Fecha de cosechas de ensayos I, II, III y IV | 68 |
| 14 | Resultados obtenidos de todas las variables en los diferentes tratamientos. Ensayo I | 71 |
| 15 | Medias de los resultados de las tres repeticiones para todas las variables | 73 |
| 16 | Resultados de todas las variables en los diferentes tratamientos. Ensayo II | 99 |
| 17 | Medias de los resultados de las tres repeticiones para todas las variables | 101 |
| 18 | Resultados de todas las variables en los diferentes tratamientos. Ensayo III | 126 |
| 19 | Medias de los resultados de las tres repeticiones para todas las variables | 128 |
| 20 | Resultados de todas las variables en los diferentes tratamientos. Ensayo IV | 143 |
| 21 | Medias de los resultados de las tres repeticiones para todas las variables | 145 |
| 22 | Correlaciones de diferentes variables entre sí para el Ensayo IV | 164 |
| 23 | Cuadro comparativo de los análisis de suelo de los Ensayos I y II | 167 |
| 24 | Medias de resultados de Ensayo I | 168 |
| 25 | Medias de resultados de Ensayo II | 168 |
| 26 | Cuadro comparativo de los análisis de suelo de los Ensayos III y IV | 172 |
| 27 | Medias de resultados de Ensayo III | 173 |
| 28 | Medias de resultados de Ensayo IV | 173 |

| Figura | | |
|--------|---|-----|
| 1 | Acumulación de N en las distintas partes de la planta hacia el final del ciclo del cultivo | 14 |
| 2 | Acumulación relativa de NPK en las distintas partes de la planta durante la estación de crecimiento | 16 |
| 3 | Respuesta de rendimiento de soja nodulada y no nodulada en la aplicación de N (Weber 1966) | 33 |
| 4 | Formas del K en el suelo | 54 |
| 5 | Diseño usado en los ensayos de fertilización regional | 66 |
| 6 | Respuesta de la altura de la planta al agregado de dosis crecientes de P. Ensayo I | 75 |
| 7 | Respuesta de la altura de inserción de la primera vaina al agregado de dosis crecientes de P | 77 |
| 8 | Respuesta de la materia seca por planta al agregado de dosis crecientes de P | 79 |
| 9 | Respuestas del peso seco de nódulos al agregado de dosis crecientes de P | 81 |
| 10 | Respuesta del rendimiento en grano al agregado de dosis crecientes de P | 83 |
| 11 | Número de vainas | 85 |
| 12 | Peso de 1000 semillas | 87 |
| 13 | Porcentaje de N en el grano | 89 |
| 14 | Porcentaje de aceite en el grano | 91 |
| 15 | Respuesta de número de plantas por metro de surco al agregado de dosis crecientes de N | 93 |
| 16 | Respuesta del rendimiento en grano al agregado de dosis crecientes de P. Ensayo II | 102 |
| 17 | Altura de la planta | 104 |
| 18 | Peso de 1000 granos | 106 |
| 19 | Peso de nódulos | 108 |
| 20 | Materia Seca por planta | 110 |
| 21 | Diámetro del tallo | 112 |
| 22 | Porcentaje de N en el grano | 114 |
| 23 | Respuesta del número de vainas por planta a dosis crecientes de N con 80 m de P2O5 | 116 |
| 24 | Respuesta del peso de nódulos a dosis crecientes de N | 118 |
| 25 | Materia seca por planta- dosis de N | 120 |
| 26 | Diámetro del tallo - dosis de N | 122 |
| 27 | Respuesta del rendimiento en grano al agregado de dosis crecientes de P- Ensayo III | 129 |
| 28 | Peso de 1000 granos- dosis de P | 131 |
| 29 | Porcentaje de N foliar- dosis de P | 133 |
| 30 | Porcentaje de P foliar - dosis de P | 135 |
| 31 | Porcentaje de K foliar - dosis de P | 137 |
| 32 | Respuesta del rendimiento en grano al agregado de dosis crecientes de N con 80 m de P2O5 | 139 |
| 33 | Rendimiento - dosis de P | 146 |
| 34 | Altura de la planta - dosis de P | 148 |
| 35 | Inserción de la primera vaina- dosis de P | 150 |
| 36 | Número de vainas - dosis de P | 152 |
| 37 | Peso de nódulos - dosis de P | 154 |
| 38 | Materia seca por planta -dosis de P | 156 |
| 39 | Porcentaje de P foliar - dosis de P | 158 |
| 40 | Porcentaje de N en el grano - dosis de P | 160 |
| 41 | Porcentaje de aceite en el grano - dosis de P | 162 |
| 42 | Respuesta del rendimiento en grano al agregado de P para dos suelos similares de la unidad Rio | 171 |
| 43 | Respuesta de rendimiento en grano al agregado de P para dos suelos similares de la unidad Vergara | 176 |

I

INTRODUCCIÓN

Los departamentos de Treinta y Tres, Cerro Largo, Lavalleja y Rocha son los mas importantes en cuanto al área de siembra de soja en el país, dado que el 60 % del área nacional se ubican en los anteriores Departamentos del este del país.

Dado la expansión que ha tenido el cultivo en los últimos años en la zona, se han incorporado nuevas tierras creándose nuevas situaciones en la variedad de suelos que ocupan la zona este del país.

Estas particularidades han provocado que las respuestas a la fertilización sean complejas y variadas.

En consecuencia es necesario disponer de información sobre las respuestas del cultivo a la fertilización y su manejo para determinar las recomendaciones necesarias a la producción permitiendo un uso racional de este insumo. Paralelamente se comenzaron a calibrar métodos de análisis de suelo y foliar para la predicción de la fertilización necesaria.

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 diferentes nutrientes en el crecimiento y desarrollo son los factores que inciden, entre otros, en el rendimiento final.

En el área de la cuenca de la Laguna Merín es necesario evaluar la respuesta y manejo en el cultivo, dado que es insuficiente la información acumulada por la E.E.A.E.

Por todo lo anterior este trabajo tiene por objetivos:

- 1) Determinar la respuesta de la soja a la fertilización en las unidades de suelo Río Branco y Vergara tomando en cuenta su uso anterior, campo nuevo o rastrojo.
- 2) Evaluar la respuesta a dosis y localización del fertilizante.

II

REVISION BIBLIOGRAFICA

II.1. Nutrición mineral

Tisdale y Nelson (1966) expresaron que la absorción de elementos minerales por parte de las plantas se hace de manera indiscriminada.

Por otra parte afirman que la presencia de algún elemento en particular en la planta no indica que ese elemento sea esencial para su desarrollo.

Arnon citado por Tisdale y Nelson(1966) define de esta manera el criterio de 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 solo mediante el suministro del elemento.

3°- el elemento está directamente involucrado en el metabolismo de la planta.

Existen tres elementos que se destacan dentro de los que cumplen con estos criterios de esencialidad. Ellos son el nitrógeno el fósforo y el potasio.

El nitrógeno cumple funciones de suma importancia para el desarrollo de las plantas como parte fundamental de su nutrición. El suministro de este elemento puede ser controlado por el hombre.

Exepto las leguminosas, la mayoría de las plantas absorben este elemento bajo formas diferentes al nitrógeno elemental. Generalmente asimilan el nitrógeno bajo forma de NO_3^- y NH_4^+ , iones nitrato y amonio respectivamente.

En el interior de la planta independientemente de la forma de absorción el nitrógeno es reducido y elaborado a compuestos más complejos y finalmente transformado en proteína.

Otra función de real importancia del nitrógeno en la planta, es que es parte integral de la molécula de clorofila.

El nitrógeno está asociado al crecimiento vegetativo, le da vigor y un intenso color verde. El exeso de nitrógeno bajo ciertas condiciones retrasa la madurez, prolongando la etapa de crecimiento.

Cuando la planta soporta deficiencias de N se vuelven raquíticas y amarillas.

El fósforo es absorbido por la mayoría de las plantas en forma de ión primario ortofosfato, $H_2PO_4^-$.

Es un elemento nutritivo mayor junto con el nitrógeno y el potasio, pero a pesar de esto se le encuentra en menor proporción que los otros dos elementos.

El P forma parte de los ácidos nucleicos, fitinas y fosfolípidos.

En la primera etapa del ciclo de las plantas es importante un adecuado suministro de P que retrasa el crecimiento de las partes reproductivas.

También se asocia con la pronta madurez de los cultivos y su carencia es acompañada de reducción de crecimiento.

Este elemento se concentra en grandes cantidades en frutos y semillas siendo fundamental en la formación de estas últimas. Los compuestos fosforados AMP, ADP, ATP son los responsables de los cambios de energía en las plantas y animales. Estos compuestos son esenciales para la fotosíntesis, metabolismo de los hidratos de carbono, aminoácidos, grasas y otros procesos de los seres vivos.

Es el fósforo por todo esto un elemento esencial para la vida y el crecimiento.

El potasio es el 3° de los elementos mayores en cuanto a su criterio de esencialidad.

Es absorbido como ión K^+ y se encuentra en los suelos en concentraciones variables. Las necesidades de la planta son

mas bien altas con respecto a este elemento. Es un elemento muy móvil en la planta, donde se traslada a los tejidos meristemáticamente jóvenes.

La función del potasio es de naturaleza catalítica, a diferencia de los otros dos elementos mayores no forma parte integral de los componentes de la planta, protoplasma, grasa y celulosa, pero sí es imprescindible en ciertas funciones fisiológicas como:

- Metabolismo de hidratos de carbono y transformación del almidón.
- Metabolismo del nitrógeno y síntesis de proteínas.
- Activación de varias enzimas.
- Promoción de crecimiento de los tejidos meristemáticos.
- Ajuste de apertura de estomas y relaciones con el agua.

II. 1.1. Absorción de nutrientes

II.1.1.1. Factores que afectan la disponibilidad de nutrientes-

Los principales factores que afectan la disponibilidad de nutrientes son:

- 1-Composición granulométrica o textura.
- 2-Aereación.
- 3-Temperatura.
- 4-Humedad.
- 5-Capacidad de intercambio.
- 6-PH.

Black (1967) afirma que los minerales del suelo se dan como partículas separadas y no se le conoce mas efecto directo que el de la textura y esta está relacionada con la disponibilidad de nutrientes para la planta. Las partículas de gran tamaño constituyen un impedimento mecánico para el desarrollo radicular, esto es una acción directa en la textura.

Whitney (1896) citado por Black (1967) continúa diciendo que los cultivos se adaptan a suelos de diferentes texturas. El suministro de agua es mayor en los suelos de textura moderadamente fina que en las más gruesas porque la capacidad de retener agua en los primeros es mayor.

La disponibilidad de N es afectada también por la textura. En los suelos de textura mas finas (a iguales condiciones ambientales) el suministro de N es mayor.

Black observó el crecimiento de la soja en suelos de diferentes texturas en época de abundantes lluvias. La soja como es independiente del N del suelo, no tuvo variaciones en el rendimiento a diferencia de otros cultivos que aumentaron significativamente el rendimiento cuanto mas fina era la textura.

Según el autor, la capacidad mas importante del suelo es la de retener agua y N porque por su intermedio la textura influye en forma indirecta sobre la planta.

La conclusión que se obtiene de todo esto es que la textura solamente no permite predecir el crecimiento de la planta, porque a pesar que regula el suministro de agua y nutrientes, estos, están condicionados a diferentes factores ambientales variables.

Con respecto a la aereación, afirma Black (1967) que afecta la absorción de nutrientes de dos formas diferentes: la primera estaría relacionada con la disponibilidad de nutrientes en el suelo en respuesta a la aereación y la 2^a con los cambios en la situación metabólica de la planta.

La mineralización del N no manifiesta mayor variación si cambia el nivel aerobico del suelo. Pero en aerobiosis se pierde un poco de N gaseoso porque en estas condiciones el acceptor de N es el N nítrico en vez del O₂.

Con respecto al P existe mayor disponibilidad para el cultivo en anaerobiosis (suelo inundado).

Esto a sido asociado con la disolución de fosfatos férricos por concecuencia de la reducción microbiologica de Fe férrico.

Los efectos de distintas aereaciones sobre la absorción de nutrientes en plantas adaptadas que cuentan con O₂ parecen ser una consecuencia del efecto de la aereación en la fisiología de la planta y solo en forma secundaria consecuencia de cambios físicos en el suelo.

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

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

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

Temperatura. Numerosos experimentos han demostrado que en algunas especies de plantas la absorción de solutos por las raíces es retardado a bajas temperaturas del suelo. Esto puede ser producido por la actividad respiratoria o por la disminuida permeabilidad de la membrana de las células.

Por otra parte la temperatura altera la composición del aire en suelo a consecuencia de la variación de la actividad de los microorganismos. A más alta población de microorganismos, más alta será la presión parcial del CO₂ en el suelo y más disminuirá el O₂. Una baja en la presión de O₂ influye la proporción de la respiración de las raíces y en consecuencia el poder de absorción del nutriente.

El 4to factor que afecta la disponibilidad de nutrientes es la humedad. (Black).

Según Tisdale y Nelson (1966) la absorción de nutrientes es afectada directamente por nivel de humedad del suelo. Cuando la tensión de humedad del suelo disminuye hay incremento de cationes y aniones como consecuencia de bajar la relación tensión de humedad-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 acimilación de nutrientes. Las raíces cuando crecen en suelos

húmedos, interceptan más iones que cuando crecen en suelos secos por tener un mayor desarrollo. Esto es particularmente importante para el Ca y el Mg. La mayor parte de nitratos, sulfatos, calcio y magnesio son transportados por la masa fluida del agua edáfica al producirse las corrientes de transpiración.

La difusión es un tercer método de absorción por el cual la planta absorbe los nutrientes adyacentes a la raíces y así se establece un gradiente.

Los nutrientes se difunden lentamente desde las áreas de mayor concentración a las de menor. Esto ocurre a través de películas de agua, de aquí que la proporción de difusión depende del contenido de agua del suelo.

Según Tisdale y Nelson (1966) son dos los procesos que forman parte del intercambio iónico y por su orden de importancia serían el intercambio catiónico y aniónico.

Las fracciones del suelo orgánico y mineral con diámetro menor a 20 micras son en las que se producen los intercambios. Esto incluye la materia orgánica mineral, la arcilla y una parte de la fracción limosa.

Black (1967) afirma que el intercambio catiónico es de vital importancia en el crecimiento de las plantas ya que los iones de los suelos que actúan como bases intercambiables son elementos nutritivos. Los cationes en solución están en equilibrio con las formas intercambiables, siendo estos últimos una fuente de reabastecimiento para la solución.

Según el mismo autor la naturaleza de los minerales arcillosos es un factor de gran importancia, clasificándolos en dos grupos, arcillas 2:1 y 1:1, en donde el primer número es el número de capas tetraédricas y el segundo el número de capas octaédricas.

Tisdale y Nelson (1966) afirman que los suelos con predominio de coloides 2:1 tendrán mayor capacidad de intercambio que los suelos con mayoría de coloides 1:1.

Esto expresado en meq/100 gr. sería:

coloides minerales 1:1 10 a 20 meq/100grs.

coloides minerales 2:1 40 a 80 meq/100grs.

coloides organicos 100 a 200 meq/100grs.

Los cationes Ca, Mg, K, Na, NH₄⁺, Al, Fe, H, son mayormente absorbidos por los coloides en diferentes grados de intensidad según sus cargas y su capacidad de hidratarse y deshidratarse.

Según Black (1967) la materia orgánica tiene relativamente una alta C.I.C. como puede inferirse de las determinaciones de la C.I.C. del suelo antes y después de un tratamiento con agua oxigenada.

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 la C.I.C. total del suelo el tratamiento con agua oxigenada y por medio de métodos estadísticos observaron que los valores de C.I.C de la materia orgánica se asocia bastante bien con los materiales madres y los contenidos de materia orgánica. En suelos sobre materiales madres de textura gruesa o que contienen óxidos de Fe y Al, que actuarían como bloqueadores, la C.I.C de la materia orgánica es considerablemente baja.

Broaduent y Bradford (1952) citado por Black (1967) estimaron sobre varios suelos que el 54 % de las posiciones de intercambio eran atribuibles a grupos carboxilos (-COOH), 36% a grupos fenólicos 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 C.C.C. ocupada por cationes básicos tales como Ca.,Mg,Na,K. Afirman también que la facilidad con que los cationes son absorbidos 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.

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 haga relevante este intercambio. Este fenómeno adquiere importancia a ph menores a 4,5.

Segun Tisdale y Nelson (1967) los fosfatos no son lavados por el agua en los suelos sino que son retenidos en forma que solo pueden ser extraidos con soluciones de varias sales ácidas y alcalinas. Una parte del P. se encuentra en formas que son casi completamente insolubles.

El intercambio anionico es mucho mayor en suelos con alto contenido de arcillas 1:1 e hidroxidos de hierro y aluminio que en suelos donde predominan las arcillas 2:1.

El intercambio anionico es una función dependiente del ph, cuanto más ácido el suelo mayor es la absorción de iones.

El último factor de real importancia que afecta la disponibilidad de nutrientes es el ph.

Black (1975) afirma que los efectos del ph pueden clasificarse como especificos y no especificos .

Los no especificos más importantes estan relacionados con la inhibición del crecimiento radicular. Una penetración radicular limitada por la acidez del subsuelo limitara a su vez la absorción de nutrientes (incluso agua) y aumentará la dependencia de las plantas del contenido de nutrientes del suelo superficial y de las precipitaciones .El crecimiento radicular puede inhibirse casi completamente o puede darse el caso de una pequeña inhibición por el efecto de la acidez.

Dentro de los efectos especificos de la acidéz está la disminución de absorción de cationes por las plantas.

Si el ph de las soluciones nutritivas es bastante bajo no habría absorción y los cationes absorbidos con anterioridad tenderan a regresar desde las plantas a las soluciones.

Una teoría que explica los efectos de la acidez indica que si hay mucha actividad de los iones hidrogeno en la solución externa habrá mucha competencia de éstos iones a cada una de las bases por separado en los respectivos sitios de transporte.

Según otra teoría los iones H deterioran los mecanismos de absorción a causa de procesos irreversibles o reversibles solo en parte.

Ahora se ha comprobado que ambas se complementan hasta cierto punto y que una parte importante del daño a que la segunda hace referencia incluye el comportamiento del ion Ca. Un aumento de la concentración de este ion puede paliar hasta cierto punto el efecto perjudicial de la acidez.

El Ca 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 marcada acidez es uno de los factores que más limita nutricionalmente al cultivo ya que insolubiliza la mayoría de los nutrientes y reduce la acción de las bacterias fijadoras de nitrógeno.

Según Black (1975) de los distintos nutrientes 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 encalcan. Por el contrario la disponibilidad de B, Zn, y Mn, disminuyen cuando los suelos ácidos se encalcan.

II.1.1.2. Mecanismos de absorción.

Moodie (1976) consideró la absorción de nutrientes como un proceso de tres etapas :

1. movimientos de iones desde el suelo hasta la raíz
2. movimientos de nutrientes 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 1ª etapa constan trabajos de Moodie (1976), Oliver y Barber (1966) y Marais y Wiersma (1975) que la

consideran integrada por tres procesos mediante los cuales los nutrientes del suelo pueden alcanzar la superficie de una raíz en crecimiento:

- intersección radicular a zonas no exploradas
- conducción o transporte pasivo de iones por la interfase suelo / raíz ocasionado por la absorción de agua por la planta (flujo de agua)
- 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 mecanismos de transferencia de iones hasta la superficie radicular.

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 potadores 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, que se requiere gasto de energía por parte de las células de la raíz, siendo este mecanismo irreversible.

Black (1967) denominó " espacio libre " a un cierto volumen de la raíz donde el soluto se difunde, 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.

Black (1967) determinó que el proceso activo de absorción se realiza mediante transportadores. De acuerdo a esto toda absorción radicular 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 desarrollaron la noción de un compuesto ión-ligamento transportador que implica la combinación de 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 membranas y otras barreras no permeables para liberar iones. después que la transferencia se ha realizado, el complejo ión-transportador se rompe, el ión es liberado en el espacio interior de la célula y el portador en algunos casos es reconstruido de nuevo

Finalmente Tisdale y Nelson (1966) 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 agua y de la concentración en el medio.

El componente pasivo es mas 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. Esta absorción de nutrientes lleva a una acumulación de los mismos dentro de la planta.

De Mooy et al (1973) dice que la cantidad de nutrientes acumulados presenta una relación directa con las necesidades

nutritivas, las cuales varían de acuerdo a los rendimientos alcanzados por el cultivo.

Hanway y Weber (1971) aplicaron N P K en líneas noduladas y no noduladas.

Sin fertilización las noduladas acumularon 247 kg. N / ha y las no noduladas 64 kg./ ha .

Fertilizando con 224 y 672 kg /ha absorbieron 198 y 263 kg / ha de N respectivamente.

En el grano se encontró un 60% del nitrógeno adicional absorbido.

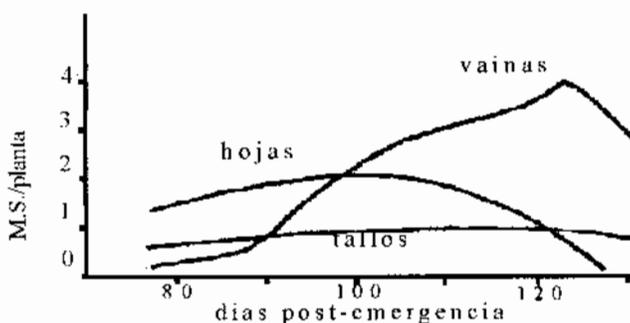
Borst y Teacher (1931) citados por De Mooy et al (1973), y Hanway y Weber (1971) afirman que el P sigue los mismos patrones de acumulación que la materia seca; a principio de ciclo lentas, para aumentar luego y estabilizarse a partir de las 10 hojas trifoliadas. Este proceso es dependiente del grado de humedad y varía con los años.

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 de grano son de 4,5; 0,4; y 1,5 kg /ha / día para N P K respectivamente. La materia seca aumenta 176 kg / ha / día durante el mismo período. A las mismas conclusiones llegaron Legget y Frere (1970) citados por De Mooy et al (1973).

Harper (1971) citado por De Mooy et al (1973) observó un pico en la tasa de NO₃ durante la formación de vainas y el llenado de grano.

Henderson y Kamprath (1970) descubrieron un progresivo aumento de nutrientes desde estadios tempranos de crecimiento hasta la formación temprana del grano.

Gráficamente expresado la acumulación de N de las diferentes partes de la planta hacia el final del ciclo del cultivo es lo presentado en la siguiente figura, Burton et al (1979).



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

Cuadro n° 1

Porcentaje de N en las distintas partes de la planta (Burton et al. 1979).

| Días post-siembra (% de N) | Tallos y pecíolos | Hojas | Vainas |
|-------------------------------|-------------------|-------|--------|
| 80 | 1.55 | 4.37 | |
| 90 | 1.5 | 4.06 | 3.54 |
| 100 | 1.31 | 3.8 | 3.63 |
| 120 | 0.98 | 2.99 | 3.78 |
| 130 | 0.76 | 2.41 | 3.82 |
| 140 | 0.73 | | 3.12 |
| min. dif. sig. | 0.2 | 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, el N es removido hacia las vainas y luego hacia el grano.

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

Cuadro n° 2.

Concentraciones de N P K en las diferentes partes de la planta (Bataglia et al 1976)

| Elemento | Tallos | Hojas | Vaina + grano |
|----------|--------|-------|---------------|
| N | 13.8 | 20.4 | |
| P | 20.6 | 14.4 | |
| K | 34.6 | 12.2 | |

Henderson y Kamprath (1970) citados por De Mooy et al (1973) encontraron que el N, P y Mg se acumulaban considerablemente mas despacio que la materia seca, el Ca se acumulaba en forma similar a la materia seca, mientras que el K se acumulaba mas rápido que estos durante el crecimiento vegetativo.

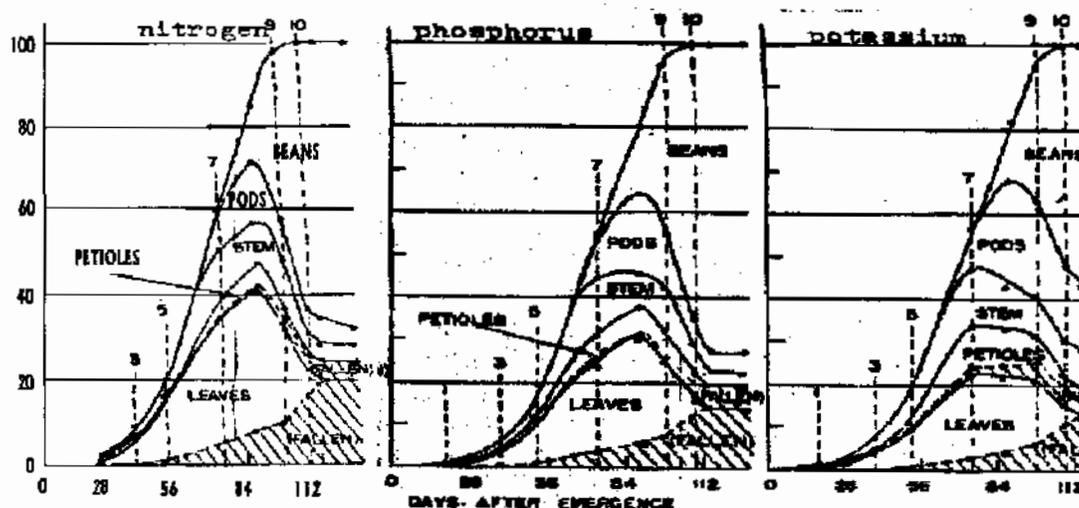
Bajo condiciones de riego trabajando con sojas inoculadas y no inoculadas Hunt et al (1981), con una población de 26 plantas por metro de la variedad Bragg, encontraron que a los 100 días luego de la siembra se habían acumulado 450 y 320 kg de N / ha.

En condiciones de secano la acumulación fué de 220-270 kg de N por ha para plantas inoculadas y no inoculadas respectivamente. 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*. 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. Hanway y Weber (1971) afirman que los órganos vegetativos de la planta de soja constituyen verdaderos reservorios para los nutrientes minerales durante la etapa de crecimiento, de ahí que estos nutrientes son traslocados hacia la semilla durante el período de llenado de grano.

Hammond et al (1951) estimaron que de 53 a 64 % del N, de 56 a 71% del P y de 59 a 97 % del K presentes en el grano provenían de hojas, tallos y vainas.

Hanway y Weber (1971) obtuvieron resultados similares. Estos autores afirman que la acumulación de N P K siguió padrones similares a la de acumulación de materia seca. Acumulación relativa de N, P y K en las diferentes partes de la planta durante la estación de crecimiento.

Figura N° 2



Según Nelson y Weber (1979) la acumulación de N era similar a la de la materia seca exepcto al final del ciclo del cultivo. Finalmente la investigación actual en soja concentra sus esfuerzos en la identificación de los límites fisiológicos del potencial de rendimiento. Entre las numerosas especulaciones surgen hipótesis:

Shilbler et al (1975) sostienen que al aumentar la disponibilidad de fotosintatos se mejoraría la eficiencia en la formación de granos.

Ohloogge (1963), Hardy, Havelthy (1975), Harper y Vigue (1975) y Law y Brum (1974) observaron con base experimental que la caída de la tasa de acumulación de N, durante la formación de granos, es causada por una insuficiencia de fotosintatos para alimentar la formación de granos y fijación de N simultáneamente.

Por otra parte como 2ª hipótesis Sinclair y De Witt (1975) proponen que la planta de soja es ineficiente para acumular N

a tasas similares a la demanda generada por la formación de granos, por lo tanto la actividad fotosintética y en consecuencia el rendimiento en grano son restringidos. Si la tasa de acumulación de N alcanzase su máximo durante este periodo, la exigencia de los granos será dos veces mayor que la tasa de acumulación de N que se verifica en una planta típica de soja (Hammon et al, 1951; Hanway y Weber, 1971; 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 hasta 4% durante la floración a 0,5% durante maduración.

No todo el fertilizante que se aplica en un cultivo es utilizado por las plantas, Krantz (1949) demostró que el 45% del P en la planta provenía del fertilizante aplicado, cuando la planta era joven; pero solo el 7,6% del P provenía del fertilizante durante la formación de vainas.

Webb (1954) citado por De Mooy et al (1973), trabajó con diferentes formas de fertilización. El contenido de la planta fué incrementado al fertilizar con 20 kg /ha pero no se obtuvo respuesta del P absorbible del suelo (5 kg /ha de P, Bray n° 1).

Cuando no hubo fertilización el contenido fue de 0,19 %; con fertilización al voleo fué de 0,21 %; fertilización en banda al costado de la semilla 0,26 % y fertilización en banda por debajo de la semilla 0,31 %. Las diferencias desaparecieron en un mes.

En estadios tempranos de desarrollo el 58% del contenido del 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 del P derivaba del fertilizante y las diferencias con el voleo desaparecieron con la floración.

Otro experimento indicó que el mayor % del P usado se dió cuando se ubicó este en bandas.

Estos autores comprobaron que ubicando el fertilizante en bandas debajo de la semilla hubo mayor eficiencia en la utilización de este que ubicado al costado de esta. Las condiciones de humedad del suelo presumiblemente favorezcan la localización en bandas profundas ya que la absorción depende del n° de días en que el suelo tenga humedad suficiente para la exploración radicular.

Según otros autores, Welch, Mell y Nelson (1949) citados por De Mooy et al (1973), 24 días después de la siembra, el 74 % del P provenía del fertilizante aplicado en bandas.

De Mooy et al (1973) citado por Chen(1962) que encontró que el 80% del contenido del P de la planta provenía del fertilizante en las primeras etapas de desarrollo, luego la expansión radicular disminuye el P que proviene del fertilizante aproximadamente el 50% al final de la floración. Refiriéndose al N Hanway y Weber (1971) encontraron que el 60% del elemento encontrado en la planta provenía del fertilizante en plantas no nodulosas. Cuando la dosis fue de 224 Kg/hac. y el 30% cuando la dosis fue de 224 Kgs/ha. de N. Norman y Campitz (1946) citado por De Mooy et al (1973) encontraron que el porcentaje de N recuperado del fertilizante fue del 61% para el nitrato de amonio y del 81% para el $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$.

Thornton (1947) citado por De Mooy et al.(1973) encontró que el 24% del N presente en el grano provenía del fertilizante aplicado temprano y el 31% cuando fue aplicado a mitad de la estración de desarrollo.

II. 1. 2. Análisis foliar como diagnóstico de la nutrición.

Ohlrogge y Kamprath (1969) afirman que 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 fertilizante de un cultivo.

El contenido de nutrientes es tra influenciado por la parte muestriada, la posición y la edad de misma, humedad, temperatura, daños por insectos y enfermedades.

En cuanto al muestreo, Small y Ohlrogge (1981) afirman que el momento optimo es entre la floración y la fructificación tempranas, es el momento en que estan sacando el mayor aporte de nutrientes del suelo y ésto se reflejaría en el analisis foliar.

Las hojas deberían ser foliólos completamente desarrollados ubicados en la parte superior de la planta.

En cuanto al resultado del analisis, en plantas de 6 días de edad el porcentaje de N en los cotiledones variaba entre 8,2 % y 9,8%. En 20 días estos valores habían declinado hasta un 3% en los tallos y 5% en las hojas (Murmeek, 1937: citado por Ohlrogge 1960). Lathwell y Evans (1951) citados por Ohlrogge (1960) experimentaron en ensayos de campo en los cuales plantas de 25 días de edad contenían 4,7 % de N cuando la concentración era de 100 ppm; en cambio era de 2,6 % cuando la concentración en el suelo era de 20 ppm.

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

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

Wilkinson (1958) encontró un porcentaje de 0,5% de P en la parte áerea 42 días después de la siembra con una aplicación en bandas de 180 Kgs, de P₂O₅ /ha. sobre un suelo medio en P. Según Bureau et al.(1958) son frecuentes la concentraciones de 0,2% en campos deficientes en P. Segun Ohlrogge (1960) el mínimo puede estimarse entre 0,14 y 0.18% para la parte áerea 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 acumulan 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. Hammond et al. (1951) citado por Ohlrogge(1960) estudiando el estadio de prefloración encontraron 1.2 y 1,6 % de K en las parte aérea. Los datos durante este período indican un valor mínimo de 0,30% y un rango óptimo entre 1 y 4%, con un máximo de 5,7%.

Las hojas de las plantas en floración contienen 1/3 mas 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).

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 universalmente como patrones de concentraciones para los distintos elementos y pueden verse en el siguiente cuadro.

Cuadro N°3.

Concentración de nutrientes en el folíolo superior maduro de la hoja excluido el peciolo (Jones, 1966)

| Elemento | Deficiente | Bajo | Suficiente | Alto | Exeso |
|----------|------------|-----------|------------|-----------|-------|
| N | <4 | 4-4.45 | 4.51-5.50 | 5.51-7 | >7.0 |
| P | <0.15 | 0.16-0.25 | 0.26-0.50 | 0.50-0.80 | >0.8 |
| K | <1.25 | 1.26-1.70 | 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 | 0.26-1.0 | 1.01-1.50 | >1.51 |

Eromans (1929) citado por Ohlrogge (1960) en ensayos de campo encontró pequeña variación en el contenido total de nutrientes. Hammont et al (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 cuatro veces mas nutrientes en las hojas que en los tallos. Ham et al (1963) reportan concentraciones de 0,40 y 0,44% en hojas, en una localidad donde no hubo efecto de la fertilización fosfatada.

En el siguiente cuadro se puede ver el efecto del nivel del fosforo del suelo sobre el contenido de éste en el cultivo en floración , Kamprath y Miller (1958) .

Cuadro N°4

| Categoría del Suelo | Fosforo | Fosforo (%) |
|----------------------------|----------------|--------------------|
| Baja | 4-10 | 0.19 |
| Media | 11-31 | 0.22 |
| Alta | 32-56 | 0.26 |
| Muy Alta | >56 | 0.27 |

Ohlrogge (1960) resumiendo , dice que el porcentaje reportado más frecuentemente para el estadio de floración en suelos fértiles varia entre 0,25% y 0,35% de P. Estos valores representan una optima nutrición, valores por arriba y debajo de éstos, representan exeso o deficiencia respectivamente.

Los reportes sobre K en la planta son muy variables y varían desde 0,5 a 0,8 % Michigan(Austin,1930) hasta 1,2% a 4,5%, Indiana (Wilkinson,1958)citados por Ohlrogge 1960.

Durante el período de llenado de vainas existe un decrecimiento general en la concentración de P, K, Ca y Mg con el tiempo , dependiendo de la parte de la planta conciderada, así por ejemplo la concentración se redujo más en los tallos que en las hojas, Borst y Teacher (1931) citados por De Mooy et al (1973). Esto coincide con los experimentos de Mederski (1950) que tambien encontro una reducción gradual en la concentración de fosforo en los estadios de desarrollo más avanzados, Haway y Weber (1971) llegaron a resultados similares.

Henderson y Kamprath (1960) citado por DE Mooy et al (1973) reportaron una disminución en el porcentaje de nutrientes desde 3,6% a 1% de los 40 a los 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 sucedió así con el porcentaje de K.

Segun Hammond et al (1951) citado por Ohlrogge (1960) en las vainas tallos y hojas el contenido de nutrientes declina rapidamente, pero en los granos varía poco.

Hanway y Weber (1971) encontraron un contenido de P en las vainas al comienzo de su desarrollo de 0,4%, declinando luego rapidamente lo que implica un traslado de P a la semilla.

Concluye Ohlrogge (1960) que las concentraciones de P para la parte aerea excluyendo los granos son de 0,5 el minimo; 0,25-0,35 el optimo y 0,60% el máximo.

Borst y Teacher (1931) citados por Ohlrogge (1960) estudiando el K mostraron que el porcentaje en las hojas declinaba de 1% a 0,4% durante el llenado de vainas. Decrecimientos similares fueron encontrados en ramas y vainas.

Refiriendose al contenido de nutrientes en el grano de soja, Ohlrogge y Small (1973) indicaron que la variabilidad es muy grande y sugieren que el analisis quimico del grano es un instrumento útil de diagnóstico. Estos mismos autores investigando el porcentaje de nutrientes en el grano para cultivos de alto rendimiento encontraron que los porcentajes de N eran de 6,3% y de K 1,9% con una variación de 0,2% en ambos.

Hanway y Weber (1971) encontraron que la concentración de nutrientes en los granos varía segun la posición de éstos en la planta , aumentando desde las partes basales (6,6%) hacia las partes superiores del tallo que llegan a 7,1% exepcto el K que se mantuvo constante alrededor de 1,7 - 1,8%.

II.2. NUTRICION NITROGENADA

II.2.1. Absorción

La soja obtiene el N para sustentar su fisiología, del suelo del fertilizante agregado y de la atmosfera por medio de su simbiosis con bacterias del género *Rhizobium Japonicum*. Como cualquier leguminosa requiere grandes cantidades de este elemento.

De las formas en que se absorbe el N (nitrato, amonio, aminoácidos o urea) el nitrato es por lejos el más importante. Esto se justifica por su relativa estabilidad en el suelo y por que las otras formas tienden a ser convertidas en nitrato por los microorganismos del suelo.

Una vez absorbido el ión nitrato debe ser metabólicamente reducido a N amino para que sea de algún valor para la planta. La reducción de los nitratos ocurre exclusivamente en las hojas de la planta de soja, contrariamente a otras especies en las cuales esta reducción se lleva a cabo también en la raíz.

Ohlrogge y Kamprath (1968) afirman que en el primer mes de crecimiento los requerimientos de nutrientes son relativamente bajos y van adquiriendo importancia hacia los dos o tres meses post emergencia. Estos autores citan una tasa diaria de absorción de N de 1,421 kg. / ha a los dos o tres meses post emergencia. Esto concuerda con lo expresado por Mc Alister y Krober (1951) citado por Ohlrogge (1960) que observaron que a la emergencia el 30 % de las proteínas ya habían desaparecido de los cotiledones, 9 días después el 75 % había sido removido, siendo el contenido total final del N en el cotiledón un 7 % del original, así mismo encontraron que la mayor parte del N fué removido 3 semanas luego de la siembra.

Según Cordeiro (1977) la absorción del 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 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.

II.2.2 Fijación de nitrógeno.

Bergensen (1958) citado por Weber y Sloger (1973) dicen que el cultivo de soja es capaz de fijar el N atmosférico por asociación simbiótica por bacterias del género *Rhizobium* y en un cultivo adecuadamente inoculado se podrán observar a lo) días post emergencia la formación de pequeños nódulos. Estos comenzarán afijar N aproximadamente a los 14 días luego de la siembra.

El N fijado es retenido, al principio, por los nódulos que crecen en número y tamaño. A medida que el ciclo continúa el aporte de N comienza a incrementar haciéndose muy importante en la etapa de crecimiento vegetativo inyenso y decayendo en la etapa reproductiva.

Wilson y Umbreit citado por Weber y Sloger (1973) reconocieron tres etapas en el proceso de fijación: primera etapa de crecimiento en la cual los nódulos retienen hasta un 50 % del N fijado; una etapa posterior donde comienzan a incrementar su actividad y aporte a la planta llegando hasta el 90 % del N traslocado, y la 3ª etapa sería cuando los nódulos mueren y el N es removido desde las raíces hacia las partes reproductivas.

Esto coincide con Bond (1936) citado por Weber y Sloger (1973) que afirman que hacia fines de la floración se realizan los máximos aportes de N simbiótico.

Dentro de los factores que afectan la nodulación se pueden nombrar influencias nutricionales, ambientales y de manejo. El P es fundamental para la formación y funcionalidad de los nodulos .Este efecto es indirecto ya que la deficiencia de

este nutriente afecta el crecimiento de las plantas, (Vanschreven, 1958, citado por Vincent, 1965).

Vincent y Crafts (1958) calcularon para diferentes suelos de Australia que el agregado de 100 Kgs. de superfosfato logtraba un mejor crecimiento del cultivo y un incremento de 76 Kg en cantidad de N fijado.

Segun Jones (1977) la fertilización con P y K tendria un marcado efecto en la cantidad y peso seco de nodulos por planta: este no seria un efecto directo de la fertilización sino que el logro de plantas más vigorosas ,con mejor desarrollo radicular estaria incrementanco las características mencionadas anteriormente .

El Mo es otro elemento que parece tener influencia en la fijación de N.

Segun Parker y Harris (1977) en variedades noduladas el agregado de Mo aumento el tenor de N en la hoja y en rendimiento en grano. En variedades no noduladas no se encontro repuesta al agregado de este micronutriente.

Vincent (1965) afirmaba que el rol del Mo sería a nivel de la eficiencia en la actividad fijadora y no en el desarrollo radicular.

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

También el Zn parece influir en la fijación simbiótica de N. Plausen et al. (1968), citado por Demetrio et al (1972) demostraron que el crecimiento y fijación de N por leguminosas esta limitado por bajos contenidos de Zn asimilable y por condiciones que interfieren con la normal nutrición de Zn en la planta. Algunos concluyen que la fijación de N en la planta de soja con deficiencias 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.

Con respecto a los factores ambientales, consideraremos el suelo en primer lugar en orden de importancia. Varios autores señalan al pH como un parámetro a tener en cuenta como influenciante en la fijación de N. Vincent en 1965 dice que condiciones ácidas en el suelo determinan complicadas interacciones de carácter nutricional, como por ejemplo una disminución en la disponibilidad de Mo y toxicidad de Mn y Al; para el funcionamiento de los nódulos ya formados no es tan sensible como lo es en la invasión y supervivencia de las bacterias. Mengel y Kamprath (1978) realizaron un trabajo en el cual consta que sobre suelos orgánicos señalan al pH como único parámetro químico que presentó una relación significativa con el número de nódulos y el peso seco de los mismos. Con pH altos el número de nódulos en las raíces laterales aumenta pero el peso de los mismos disminuían. A bajos valores de pH los nódulos fueron largos y se concentraban a lo largo de la raíz principal.

Mascarenhas (1978) señala que el encalado es una técnica utilizada en el cultivo de soja porque además de neutralizar el Al y Mn mejora las condiciones para las bacterias fijadoras. Estas trabajan mejor cuando el pH oscila en 6.

Según Burton et al (1961) citado por Vincent (1968) el Ca, junto al Mn y al K produce incrementos en rendimientos y fijación de N en plantas. Vincent (1965) indica que el ion calcio cumple un rol específico en la formación y fijación por parte de los nódulos

Hanway y Thompson (1971) señalan que la luz, el aire, la temperatura y el agua son los factores ambientales primarios que influyen en el rendimiento de la soja.

A 24° es el óptimo para la fijación de N (Van Schreven 1958). Estos autores señalan que siembras tardías no son convenientes por las altas temperaturas del suelo, que van asociados con períodos de sequía y afectan el vigor de la semilla y la supervivencia del inóculo.

Ttsungmin Kuo y L. Boersma (1958) afirman que la fijación de N esta muy influenciada por la temperatura del suelo. La fijación de N sumenta lentamente dentro de un rango de temperatura dee 10° a 16°, aumenta rapidamente hasta los 24° y luego baja abruptamente a los 27° C. En general los rangos disminuyen son incrementos de absorción de agua en el suelo. Munever y Wollum (1981) señalan que la temperatura afecta muchos procesos en la simbiosis Rhizobium-leguminosas. Los mas omportantes serían:

- 1-El crecimiento y supervivencia del Rhizobium en la rizosfera.
- 2-Formación de los pelos radiculares.
- 3-La ligazón entre las células del rhizpbium 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 de N y la producción de materia seca de la planta nodulada.

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

Vincent (1965) dice que el efecto del agua influye de manera importante en la infección por parte de las bacterias así como la posterior fijación de N.

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 fuè reducida con el nivel de humedad del suelo por encima y por debajo de su valor. Suelo seco rodeando los nódulos no perjudica las actividades de los mismos, mientras

el agua sea disponible para la planta en la parte mas profunda de su sistema radicular.

Han et al (1975) trabajando con los nodulos de soja concluyeron que el efecto inhibitorio del stres de agua en la fijación de N₂ es debida a la reducción en la tasa sintetica en las hojas de las plantas bajo stres.

Bond (1951) encontro que la reducción de O₂ provocó una disminución en el peso de nodulos , en la fijación de N y en el peso seco de las plantas. Este efecto se debe a la dificultad de una adecuada respiración del sistema radicular.

T.R. Rathore, Chonkar, Sacnah y B.P. Ghildyan (1980) investigaron en un ensallo macetero la influencia del stres de humedad en distintos estados fisiológicos de la soja sobre la nodulación, bacterias, contenido de leg-hemoglobina en los nodulos de las raices y la subciguiente acumulación de N en la planta. Dichos autores concluyeron que el stres hídrico que es severo en la floración temprana ,causando un 50% de reducción en el rendimiento influye significativamente en la reducción del número total de nodulos y en su peso. También observaron que la absorción del N fue afectada cuando el stres se produjo en dicho período.

Un factor de manejo estudiado por Nelson y Weber (1980) fue la densidad de siembra y su efecto sobre el proseso de fijación. Comprobaron que cuando las dencidades eran mayores se presentaba un mayor peso fresco de nodulos expresado en grs./ planta así como también una mayor actividad nodular, que las bajas densidades. Ambos parámetros presentaban su máxima magnitud a los 120 días post siembra.

Para estudiar la contribución del N simbiotico en el N total utilizado por la planta se han usado lineas de soja que no presentan nodulación. Ferguson y Albrecht (1941) observaron mayor producción de materia seca en plantas no noduladas. Hampson y Albrecht (1944) compararon el rendimiento en materia seca de cultivos de soja noduladas y no noduladas fertilizadas con N observando que las plantas no noduladas produjeron mayor crecimiento vegetativo y un sistema

radicular relativamente mayor. Weber (1966) trabajando con variedades noduladas y no noduladas estimó que las primeras presentaron rendimientos de 2800 Kg/Ha. habiendo fijado 84 Kg. de N/Ha., cifra que equivale a un 40 % del N absorbido.

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.

Trabajos realizados por Allen y Allen (1958), Bryan (1962), Donald (1960) y Hengell y Norbis(1962) determinaron que el aporte porcentual de la fijación del N total absorbido sería del orden del 50%, aunque se han encontrado valores superiores.

Norman (1978) menciona que la fijación simbiótica del N produce el 40-70% de los requerimientos del cultivo. La fijación del N aumenta a medida que el tamaño de la planta es mayor y llega a un máximo poco después que la planta entra en el estado 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 dos años (Bezdicek et al 1975)

| Año | Tratamiento | Rendimiento Kg/Há | N% en grano | N(kg) en planta | N(kg) fijado | N aportado por fijación |
|-------|-------------|-------------------|-------------|-----------------|--------------|-------------------------|
| 1,975 | Inoculado | 4.489 | 5.6 | 387 | 311 | 80 |
| 1,975 | Control | 1,035 | 4.8 | 76 | | |
| 1,976 | Inoculado | 3.407 | | 368 | 263 | 71 |
| 1,976 | Control | 1,243 | | 105 | | |

Trabajos realizados por Nelson y Weber (1980) señalan que la fuente de N para la fase de formación de vainas era el N simbiótico. Estos autores señalan que aproximadamente el 79% del N del suelo fue absorbido antes de la formación de vainas dejando solo aproximadamente 20 kg de N por Ha para absorber del suelo en el llenado de vainas . Por otro lado

solamente el 15% del N total acumulado durante la fase de formación de vainas provenía del suelo; siendo el N restante aportado por la fijación simbiótica.

Luego de formadas las vainas cuando el N era movilizado de las hojas la reducción del acetileno disminuía, por lo que estos autores concluyen que la fijación del N puede satisfacer las necesidades en variedades de crecimiento determinado de soja para el 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 exeso de 300 kg de N por ha. en la estación de crecimiento.

Existe una controversia del efecto del N combinado (NO₃) sobre el proceso de fijación.

La presencia del N mineral reduce el proceso de fijación simbiótica según Neyny Polv y Slabico (1967) citado por De Mooy et al. Se observó una reducción del 60% de la actividad de la nitrato reductasa en los nodulos como resultado de la aplicación de N.

Estos autores consideraron que cualquier cantidad de N absorbido del suelo o del fertilizante incorporado al suelo retira cierta cantidad de fotosintatos que estraban ligados a los nodulos para aumentar el crecimiento y para la síntesis de proteína.

Harper y Cooper (1971) y otros autores citados por Rabie et al. (1979) afirman que 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. Ellos encontraron que la relación C/N y la concentración de N en el medio de crecimiento influyen la actividad del nódulo y la nodulación radicular. Esto está de acuerdo con 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. Estos 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.

De Mooy et al (1973) sostienen que el número de nódulos y el tamaño de estos, normalmente se reducen cuando el aporte de N tanto del suelo o por fertilizaciones se incrementa. Además se ha notado una disminución en la operatividad de los nódulos ya formados.

Dentro de los autores que sostienen que el NO_3 tiene un efecto inhibitor sobre la infección de la raíz por el *Rhizobium* están Tanner y Anderson (1964).

Para evaluar el efecto de distintas fuentes de N sobre el proceso de fijación Ham et al (1975) realizaron un estudio cuyos datos se expresan en el siguiente cuadro.

Cuadro N° 6

Efecto de la fertilización N en la nodulación y fijación (Ham et al 1975)

| Localidad | Tratamiento | N Fijado Kg/Há | N fijado % total | Peso nódulos por planta | N° nódulos por planta | Peso de los nódulos |
|-----------|--------------------------|----------------|------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------|
| Mordis | Testigo | 22 | 27 | 0.6 | 28 | 21 |
| | NH_4NO_3 | 5 | 4 | 0.2 | 19 | 11 |
| | Urea | 8 | 6 | 0.4 | 24 | 17 |
| Lamberton | Testigo | 53 | 36 | 0.1 | 30 | 33 |
| | NH_4NO_3 | 16 | 9 | 0.6 | 24 | 25 |
| | Urea | 7 | 5 | 0.4 | 16 | 25 |
| Waseca | Testigo | 80 | 40 | 1.4 | 83 | 16 |
| | NH_4NO_3 | 34 | 13 | 0.6 | 57 | 11 |
| | Urea | 12 | 5 | 0.7 | 60 | 12 |

Como se puede observar en el cuadro anterior, los datos de los tres ensayos muestran que las dos fuentes de N evaluadas, disminuyeron la cantidad de N fijado por ha, el peso y el n° de nódulos por planta y el peso por nódulo.

Trang y Giddens (1980) estudiaron el efecto del N sobre la formación de nódulos y la actividad de los mismos. Dichos

autores encontraron un efecto inhibitorio significativo de la concentración de 30 ppm de N en la solución. Este efecto fue notorio en el peso seco de los mismos. Los resultados se observan en el siguiente cuadro.

Cuadro n° 7

| N ppm | N° | PS(mg/planta) | Actividad nodular N moles C ₂ H ₄ /pl/h |
|-------|------|---------------|---|
| 0 | 14 a | 28,4 a | 1,4 a |
| 30 | 10 b | 15,4 b | 0,7 b |

Estudios realizados por Rabie, Arima y Kumazawa (1979) dieron como resultado que aplicaciones de N disminuían el peso seco de los nódulos exepcto cuando la aplicación de este nutriente era en el estadio de llenado de vainas. Además estos tratamientos probaron ser depresores de la actividad nodular.

II.2.3. Periodos críticos.

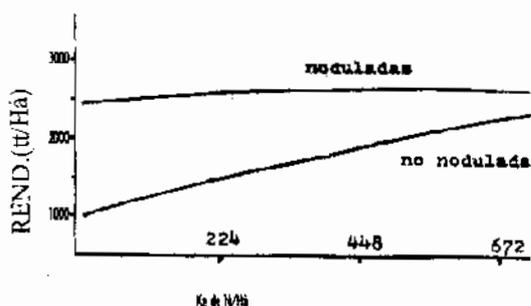
En la U.R.S.S. Filimonova y Posipanov (1970) citados por De Mooy et al (1973) obtuvieron mayor rendimiento y mayor contenido de proteína en el grano cuando se fertilizó con N que cuando la planta solamente utilizó N atmosférico. Esto parece tener relación con lo que afirma De Mooy et al (1973), " El 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 mas N que lo que provee la simbiosis y el suelo". El uso de la fertilización N fue utilizado en plantas noduladas y no noduladas para comprobar la posibilidad de que las plantas no noduladas fueran superiores en la eficiencia de utilización de N. De todas maneras las plantas no noduladas no alcanzan los rendimientos obtenidos por las noduladas en ningún rango de aplicación de fertilizante nitrogenado (De Mooy, Pesek y Spaldon, 1973).

Una explicación del porqué las plantas noduladas con fertilización rindieron mas que las no noduladas se basa en

que el proceso de fijación simbiótica puede ser altamente perjudicado por altas dosis de fertilizante pero siempre mantienen alguna actividad, (Weber 1966) citado por De Mooy (1966).

Figura N° 3

Respuesta del rendimiento de soja nodulada y no nodulada en la aplicación de N (Weber 1966)



Según Lyons y Early (1952) 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 falta de respuesta con adecuada lluvia.

Allios 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 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.

Runge y Odell (1960) sugieren que los requerimientos de la planta de soja en condiciones de campo son aproximadamente lo que la simbiosis le proporciona. Puede existir una deficiencia cuando existe poco N disponible en el suelo o cuando las condiciones de humedad 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 de grano. La liberación del N del suelo por parte de la lluvia estival, en el momento que

mas se precisa puede ser un factor importante para que haya o no una respuesta a la fertilización con N. Por lo tanto dicha respuesta puede variar con el año.

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 decho nutriente en el momento de la siembra.

II.3. NUTRICION FOSFATADA

El P es indispensable para la vida por su rol génético en el ácido ribonucleico y su fundación en el transferencia de energia via A.T.P. En el ecosistema natural el P es el elemento limitante debido a su baja despornibilidad.

La prevalencia del Al, Fe y Ca que combina con el P formando compuestos altamente insolubles son las causas de esta baja disponibilidad.

Del fosforo del sistema suelo-planta-animal, más del 90 % esta en el suelo. En el suelo se puede considetrar que esta en tres fracciones; la materia orgánica, que puede contener más del 50% del P del suelo; la fraccion insoluble, en la cual está una gran parte y una pequeña y variable contenida en la parte soluble que puede ser absorbida por las plantas.

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

Muchos autores coinciden en destacar que hay factores que afectan la absorción de P por parte de la planta. Estos factores provienen tanto de la planta como del suelo.

El tipo de arcillas que predominan en un suelo parece estar relacionado con la retención de P y por consiguiente una baja absorción por parte de la planta.

Sample, Soper y Racz (1980) afirman que suelos con predominancia de montmorillonitas y caolinitas fijan menos P que suelos que contienen arcillas bien cristalizadas.

Suelos con altos contenidos , cuanto menos cristalinos son, tienen mayor capacidad de fijación por poseer mayor área superficial.

Tisdale y Nelson (1975) señalan que entre suelos de similar mineralogía de arcillas la fijación de P se incrementa con crecientes cantidades de arcillas.

Los radicales orgánicos pueden bloquear los hidroxilos expuestos sobre la superficie de oxidos de Fe y Al; disminuyendo así la capacidad de fijación de P. (Sample, Soper y Racz, 1980).

Tisdale y Nelson (1975) concluyeron que la adición de materia orgánica al suelo puede alimentar la disponibilidad de P del suelo. Estos mismos autores aseguran que cuanto mayor sea el tiempo en que suelo y P esten en contacto, mayor será la cantidad fijada de este elemento. Es también importante la localización de P en el suelo. La aplicación en bandas disminuye la superficie de contacto suelo- fertilizante aumentando así el tiempo de reacción. Además la fijación del fertilizante aplicado está en función del grado de saturación de P en el suelo, o la cantidad de éste elemento fijado previamente por el suelo.

Segun Hanna y Hutchenson (1968) el ph influye en la absorción del fosforo por parte de la plantas. Una vez que los compuestos orgánicos o los fertilizantes quimicos liberan los iones P 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 fosfatos reaccionan formando compuestos con Fe y Al que no pueden ser absorbidos por las plantas. Lo mismo ocurre con ph mayores que 7,0 formandose compuestos de esos iones fosfato con Ca, si este es sbundante. Los fosfatos mono y decalcicos pueden ser absorbidos, pero el fosfato tricalcico que es el que se forma a ph mayores a 7 no lo puede ser.

Dos factores, como son la concentraciones y la movilidad del P influye directamente en la posibilidad de absorción por parte de las plantas. Según Barber et al (1963) la concentración en la solución del suelo es alrededor de 0.05 ppm de P y raramente sobrepasa las 0,3 ppm del suelo sin influencia de los fertilizantes. También hay que tener en cuenta que además de que la concentración de P en la solución es generalmente baja, este elemento se mueve muy despacio en su mayoría por difusión afirma Ozanne (1976).

Como resultado de su escaso movimiento, el P tiende acumularse cerca de la superficie. El P orgánico de los residuos vegetales y 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 esta 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, (Bronfield, 1961; Barrow, 1975; citados por Ozanne 1976).

Olsen et al (1962) señalan que el principio la mayor parte del P absorbido proviene del suelo muy próximo a la raíz. Más adelante, el suelo a una distancia de hasta 5 mm puede contribuir a la absorción total. Fried et al (1956) señalan que solo el suelo en la región inmediata a la raíz puede ser efectivo en mantener la concentración de fosfatos en la solución del suelo.

Los anteriormente mencionados son factores inherentes al suelo que actúan sobre la absorción del fósforo. Existen otros en la planta que influyen de igual manera. 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 de estos primeros centímetros del suelo sea mucho mayor, y que poca cantidad de raíces penetren al subsuelo donde esta almacenada el agua disponible para las plantas.

Según Ozanne (1976) esta proliferación de raíces en la capa superficial del suelo, trae como consecuencia que esta 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, por lo que se explicaría que la respuesta a altos niveles de P también estaría influenciada por un aumento de la cantidad de agua disponible para la planta al estar el P del perfil mas homogéneamente distribuido; y por ende la densidad radicular.

Bailey (1970) destaca la importancia del largo de la raíz en la absorción del P.

También Andrew y Newman (1970) citados por Ozanne (1976) demostraron que podando las raíces se reducía la absorción del P, pero no así la de N. Según Chritie (1975) el largo de la raíz es el mayor determinante de la superficie de absorción.

El sistema radicular de la soja tiene características particulares, Carlson (1973) describe una raíz pivotante formada por la radícula, un gran número de raíces secundarias, varias clases de ramificaciones secundarias y muchas raíces adventicias ramificadas originadas en la parte inferior del hipocotilo. Aunque la raíz pivotante es algo mas grande que las otras raíces, especialmente cerca de la región del hipocotilo, el sistema radicular con sus numerosas ramas de aproximadamente el mismo diámetro es probablemente mejor descrito como un sistema difuso o levemente pivotante.

De acuerdo a Raper y Barber (1970) se ha investigado poco sobre las características del 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 crecimientos 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 de 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 P para maximizar los rendimientos.

II.3.2. Absorción

Wilson y Watkin (1968) clasifican el P como un elemento que tienen un potencial químico mayor dentro de las raíces de la planta que en la solución del suelo; que es esencial para el crecimiento de la planta y es transferido al interior de la planta con gasto de energía y es un nutriente que condiciona su actividad en el suelo al fenómeno de fijación.

Según Fried citado por Blak (1875) la transferencia de P del suelo a la planta se hace a travez de un transportador producido metabólicamente por la raíz y sería por el camino P suelo - P solución - P transportador - P planta, luego el trasportasor se regeneraría para recorrer nuevamente el camino. La velocidad de absorción del P es conttrolada por la liberación del elemento desde la planta hacia los sitios de transporte. Cuando la concentración ezterior esmuy baja disminuye la concentración del complejo P transportador y por conciguienyte se reduce la velocidad de todo el proceso.

En condiciones naturales las raíces se eztienden con lentitud a travez del suelo y así sirvre como vehículo para el movimiento, ocupa por lo general menos de 1/3 parte del volumén del suelo y no cubre a las raíces en su totalidad, El principal movimiento de agua, significativo en términos del transporte del P, es aquel que el agua absorbida por las plantas y perdida por transpiración realiza hacia las raíces. Sin embargo aunque las plantas absorben todo el P que se desplaza hacia las raíces por este mecanismo el P así suministrado alcanzaría para satisfacer solo una pequeña

parte de las necesidades a causa de la concentración extremadamente baja en la solución del suelo.

El P absorbido por las raíces de la solución del suelo adyacente debe ser reemplazado por P desuelto del suelo, a medida que la absorción continua la concentración del P en la solución debe disminuir por el agotamiento de parte del suministro total de P lábil (aún si el P en la solución se haya 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 aislada en el suelo altas concentraciones de fertilizante fosfatado, el movimiento del P aumentaba según el contenido de agua del mismo, por lo tanto se comprobó que el P se desplaza por medio del agua.

Olson et al (1977) señalaron que la textura afecta la capacidad del suelo de suministrar P de tres formas:

- el coeficiente de difusión del sistema poroso aumenta al aumentar el contenido de arcilla.
- 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
- la misma dosis de fertilizante causa un aumento menor de P al aumentar la cantidad de arcilla.

Maraia y Wiersma (1975) afirman que la absorción de P es independiente de la cantidad de agua atraída y que la difusión en mayor grado que el flujo lleva los iones a la raíz. Esto surge de que ellos 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 el 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.

Ferguson y Clarkson (1975) citados por Ozanne (1976) encontraron que en todas las partes de la raíz, los inhibidores de la respiración a bajas temperaturas (4° C.)

reduse la absorción de P y su translocación en el xilema de un orden de 50%.

En cuanto a en que momento se hace importante el P para la planta y cuanto P se absorbe, muchos autores han opinado sobre eso. Ohlrogge(1960) afirmaba que de tres a cinco días luego de la emergencia las plantas ya son dependientes del P del suelo tal como se desprende de la baja transformación 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 segundo y terser mes.

Togari et al citado por Ohlrogge(1960) encontraron que la tasa total de absorción de P permaneció constante desde que se forman las vainas hasta la madurez, en suelos medios en P disponibles. Ohlrogge(1960) afirma que al igual que para la acumulación de materia seca puedan haber muchas fluctuaciones diarias en la absorción de P dependientes de las condiciones ambientales, estado de la planta y disponibilidad de P.

Henderson y Kamprath(1970) describen una tasa de creciente de absorción en los estrados de crecimiento tempranos y formación de semilla con una tasa maxima de 0,41 kg/ha/día entre los 100 y 110 días luego de la siembra, esto coincide con el inicio de la formación de granos.

La soja no presenta una tasa constante de absorción a lo largo de su período de crecimiento, la cual tiene concecuencias agronómicas desde el punto de vista de una adecuada nutrición en el momento requerido.Barber (1978) encontro un incremento en el flujo del P entre los días 50-80 lo cual indicaría la necesidad de un suministro de P más alto en éste periodo. La extracion por metro cúbico de raiz por dia es mas alta cuando la planta es joven y disminuye al envejeser. En cambio la extracion por ha aumento con la edad de la planta. La extracion por metro cubico de raiz refleja la tasa de suministro requerida hacia la raiz por flujo masal y difucion. La tasa de extracion por ha indica la capacidad de suministro del suelo. Por esto el incremento aparente en

el flujo del P entre los 50 y 80 días indicaría que la soja necesitaría un suministro de P a la raíz más alta en este período.

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

La acumulación de P realizada a lo largo de la estación de crecimiento en 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 rendimientos alcanzados sean mayores o menores.

Henderson y Kamprath (1970) observaron un aumento en la acumulación total de fósforo 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 disminuidas y la acumulación no continuó en la última etapa de crecimiento.

Hanway y Weber (1970) estudiaron durante dos años las cantidades de P acumuladas en la parte aérea en la planta de soja, en los sucesivos estados de desarrollo y la influencia de la nodulación, fertilización y variedad sobre las mismas. El P en las hojas pesioladas y tallos se acumuló hasta el estadio ocho y en las vainas entre el estadio seis y ocho. Luego observaron una rápida remoción de P en estas partes de la planta para dirigirse hacia el grano. A partir del estadio 9 observaron una disminución mayor del P de las hojas.

El experimentos realizados por Hammond et al (1951) se encontró que el contenido de P de semillas y vainas, a partir de los 90 días de la siembra hasta la madurez aumento 13,37

kg/ha. y el de la parte vegetativa disminuyo 7,65 kg/ha. Comprobaron ademas que las hojas caidas estaban casi desprovistas de P. La mayoria de los investigadores citados concuerdan en asignar a la trasiocacion del P una participacion muy importante en el suministro de P al grano a partir de la parte vegetativa. Esta participacion es responsable de mas del 50% del P en el grano.

Hammond et al (1951) citados por Hanway y Weber (1971) encontraron que la absorcion total de P alcanzo a 19 kg/ha para una soja rindiendo aproximadamente 2900 kg/ha de grano.

Tisdale y Nelson (1975) citan una acumulacion promedio de P a la madurez con execcion de las raices de 25 kg/ha.

Hammond et al (1951), Ohlrogge y Kamprath (1968), Hanway y Weber (1971), Tisdale y Nelson(1975), Bataglia et al (1978) situan el porcentaje de P en el grano entre 65 y 85% del total acumulado.

Bureau et al (1953) encontraron que el contenido de P era mas alto en plantas fertilizadas que en plantas no fertilizadas. Sus resultados indican que la aplicacion de P rapidamente disponible asi como el nivel de P en el suelo influyen en el de P en la planta. El P del suelo influyo mas que el P aplicado por lo que dedujeron que existe una competencia entre ambas fuentes.

Welch (1950) apota datos que con la aplicacion de 112 kg/ha de P₂O₅, 28% del P en la planta deribó del fertilizante en un suelo bajo en P, mientras que solo el 19% provino del fertilizante en un suelo rico en P.

De Mooy et al (1973) señalan que el fertilizante puede causar un incremento en la concentracion de P en el periodo vegetativo o un incremento en la absorcion total, pero no haber repuesta en el rendimiento.

Hanway y Weber (1971) encontraron que con aplicaciones de 49 kg/ha de fertilizante fosfatado, la acumulacion total de P en la planta incremento en 5 kg/ha o en un 10% del P aportado.

Como todo elemento indispensable para el desarrollo el P tiene periodos en que los cuales es mas necesario en la

planta de soja en los cuales se incrementa su absorción. Scott y Aldrich (1975) explican que la soja absorbe 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 hasta unos diez días antes de que las semillas se hayan desarrollado completamente.

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 dos niveles y en tres estados de desarrollo:

- desde emergencia-comienzo de la floración
- período de floración
- 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 la floración resultó una nueva ventaja de crecimiento, logrando así un incremento de 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 niveles de P a cantidades suficientes.

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 desarrollada durante el estado 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 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 dos semanas después de la floración, mientras que la aplicación de P dos a cuatro semanas después de la floración maximizó el tamaño de grano. Según Singh y Saxena (1977) la absorción de P en la hoja, pecíolo y tallo aumentó con la edad y alcanzó a los 65-85 días después de la siembra.

A partir de ese momento se observó una reducción. La absorción de P en el grano aumentó mientras que la absorción de P por las vainas disminuyó con la edad.

La máxima absorción de P por la planta entera fue observada entre los 80 y 95 días post - siembra. Una disminución a la madurez fue atribuida a la caída de la hoja lo cual es un comportamiento natural en la planta de soja.

Medreski (1950) citado por De Mooy et al (1973) aplicó 135 ppm de P hasta la floración y tres 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 Weber).

Una posible explicación de los resultados obtenidos por Mederski es que bajo las condiciones del experimento había sido absorbido más P del que es compatible con el máximo rendimiento.

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

II.3.3. Rol en el metabolismo.

Más del 75 % del fosfato que se mueve en el xilema es inorgánico; mientras que el fosfato que ha sido traslocado en el floema es muy similar al de otros tejidos, el que se presenta en enzimas, proteínas y ácidos nucleicos a pesar que la concentración de A.T.P. es normalmente alta (Ozanne 1976).

Según Ozanne el P tiene una función vital en el ciclo de vida de las plantas, transfiriendo el material genético de célula en célula y semilla en semilla, por los ácidos nucleicos de los genes y cromosomas.

Durrant citado por Ozanne (1974), encontró que niveles altos de P adicional perjudican características que se transmiten por más de diez generaciones.

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. Esto se explica parcialmente por la 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 los mecanismos 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.

Howell (1954) citado por De Mooy, Pesek y Spaldom (1973) encontraron en algunas variedades de soja un efecto perjudicial de altas concentraciones de P. Por otra parte

existían variedades tolerantes que tenían la habilidad de restringir la acumulación de P.

De Mooy et al (1973) concluyeron que los síntomas de toxicidad de P eran menos severos cuando se aplicaba K o Ca conjuntamente con el P.

II.3.4. Efectos sobre la nodulación

Otro aspecto importante de la fertilización fosfatada es el efecto de esta sobre la nodulación.

Peterson (1965) en ensayos de campo encontro que el numeros de nódulos por planta se incrementò un 38% por la aplicación de una dosis de 150 ppm de P, pero el peso promedio de los nódulos permanecio relativamente constante. La reinoculación del suelo con rhyzobium no incrementò el número de nódulos cuando no se agragó P. Los incrementos en los rendimientos cuando los hubo no estuvieron relacionados con la nodulación. De Mooy y Pesek (1969) observaron un gran credimiento como repuesta a la aplicacion de P, atribuyendo dicha respuesta a una poderosa estimulacion a la nodulación y de la fijación de N por las bacterias nodulares.

Estos mismos autores anteriormente habían obsrvado una importante respuesta en número, peso y contenido de leg-hemoglobina de los nódulos. Observaron también que la actividad de fijación de rhyzobium 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.

Fallers (1918) por los resultados de sus experimentos de campo cocluyo que el P mejoró la nodulación solo si era aplicado con Ca.

Perkins (1924) reportó que la adicion de P no fue esencial para la nodulacion.

Helyz y Whiting (1928) encontraron que con agregado de P aumentaba el numero de nodulos aunque a dosis extremas de este nutriente se observó muerte de bacterias a causa probablemente de la naturaleza ácida del medio.

Jimenez y Villalobos (1980) agregaron dosis de N y P a soja inoculada. Con el aumento de la dosis de N el número de nódulos por planta y el rendimiento de semillas por m² disminuyó. Con el aumento de las dosis de P el número de nódulos por planta y el rendimiento en semillas por m² aumentó.

II.3.5. Períodos críticos

Scott y Aldrich (1975) explican que la soja absorbe P durante todo su ciclo de crecimiento y que el periodo crítico de mayor demanda se inicia poco antes de que las vainas comiencen a formarse hasta que aproximadamente uno diez días antes que las semillas se hallan desarrollado completamente. Agregan además que las carencias de P en las mayorías 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 fertilización. Aplicó P en una solución nutritiva a dos niveles en tres estados de desarrollo:

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

El crecimiento de todas las partes de la planta incluidas las raíces fue incrementando 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 un nuevo incremento en el crecimiento, logrando así un 50% de rendimiento y un aumento en el contenido de aceite y proteínas en el grano.

Geritsum (1958) citados 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.

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 la planta 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 dos semanas después de la floración, mientras que la aplicación de P dos a cuatro semanas después de la floración, maximizó el tamaño de grano. 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 65-80 días después de la siembra. A partir de este momento se observó una reducción.

Esta fue atribuida a la traslocación desde estas partes hacia las reproductivas. La absorción de P en el grano aumentó, mientras que en la vaina disminuyó con la edad. En la planta entera la máxima absorción fue observada entre los 80 y los 95 días post siembra.

Como conclusión se puede establecer que la soja absorbe la mayor parte del P requerido entre la plena floración y la madurez.

II.3.6. Respuesta a la fertilización fosfatada

Una de las respuestas se puede evaluar como el efecto sobre el crecimiento de la fertilización fosfatada, Wilkinson, citado por Ohlrogge (1960) mostró que éste nutriente produjo repuestas tempranas significativas en la acumulación de materia seca.

Hanway y Weber (1971) encontraron que aplicaciones moderadas de fertilizante fosfatado no tuvieron efecto significativos en los pesos de diferentes partes de la planta, en todos los estadios de desarrollo.

Buttery, B.T. (1969) observó que la fertilización fosfatada aumentó el peso final de la planta, debido fundamentalmente a la demora en el desenso de la tasa de acimilación 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.

Bureau et al (1953) citados por De Mooy et al (1973) encontraron que cuando era mayor el nivel de P en el suelo aumentaba la producción de materia seca pero no aumentaba el rendimiento.

Hanway y Webwr (1971) no encontraron incrementos significativos de la fertilización fosfatada sobre el crecimiento. Bureau et al (1953) encontraron desminución en la materia seca.

Butery (1969) y Asuaga (1981) encontraron un incremento significativo en la producción de matreria seca en distintos estadios de desarrollo.

En cuanto al efecto sobre el rendimiento que tiene la fertilizacion fosfatada son muy variadas las opiniones.

Wilkinson, citado por Ohlrogge (1960) señaló que la fertilización no produjo aumentos significativos en el rendimiento de grano.

Hanway y Weber (1971) obtuvieron pequeñas respuestas no significativas. Estos autores señalan que aplicaciones moderadas de P tuvieron poco efecto en el rendimiento en grano, aún cuando los analisis de suelo indicaron bajos niveles de P desponible.

Krantz et al (1960) indican que la utilización de fertilizante resultó solo en débiles incrementos en el rendimiento en grano.

De Mooy. Pesek y Spaldom (1970) encontraron respuesta significativas al agregado de P en suelos deficientes de este elemento. La respuesta disminuía cuandos el suelo era de in nivel medio de fertilidad.

Jones et al (1977) señala que en suelos deficientes en P y K se observó una depreciación del rendimiento a la aplicación de P sin K, y por el contrario obtuvieron el rendimiento más alto con fuertes aplicaciones de ambos elementos.

Tisdale y Nelson (1975), Kamprath y Miller (1958) afirman que la soja responde a niveles altos de fertilidad en el suelo pero no a altas tasas de fertilización.

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 disponibles los rendimientos fueron el 50% de aquellos obtenidos en suelos con nivel medio.

Souza et al (1978) estudiaron los efectos de 8 dosis crecientes de fosfato, aplicados en forma de superfosfatos simples, sobre la producción de grano. Concluyeron que existía una correlación alta y positiva entre la producción de grano y las dosis de fosfatos aplicada.

Islam (1964) citado por De Mooy et al (1973) afirma que la respuesta al P en rendimiento en 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 en las hojas.

Estos datos concuerdan con los obtenidos por Matrone (1954) y Milanez et al (1978) que concluyen que la producción de grano fue incrementada por la fertilización fosfatada en relación al testigo.

Gonçalvez Dutra et al (1975) encontraron que agregando P en dosis crecientes de P₂O₅ la producción aumentaba significativamente.

Chebataroff (1979) en ensayos para evaluar la respuesta de soja a la fertilización fosfatada y potásica obtuvo incrementos hasta de 1000 kg/ha con el agregado de 40 unidades de P₂O₅ y de 1200 kg/ha con la aplicación de 80 unidades de P₂O₅.

Amendola (1976) encontró respuesta en suelos arenosos para el agregado de P obteniendo la mayor en chacras viejas siendo la menos respuesta en suelos recién roturados. Determinó que

la mayor parte del incremento en los rendimientos se lograba con 80 unidades de fosfato/ha y que en general esta respuesta se mantenía hasta 160 unidades agregadas. Este mismo autor encontro respuesta al agregado de P, siendo el peso de 1000 semillas el componente de rendimiento que más respondió al agregado de P.

De Mooy y Pesek (1971) indican que la soja es eficiente en el uso de la fertilidad recidual e incluso este efecto puede superar el efecto de la fertilización directa. Peterson (1967) citado por estos autores obtuvo respuesta de 340 kg y 570 kg/ha el primer año y respuestas de 440 y 740 kg/ha al año siguiente.

De Mooy et al (1973) señalan que hay poca diferencia entre la fertilización recidual y la directa.

Fink (1974) no observó diferencias entre ambas formas de fertilización.

Bhangoo y Albriton (1972) encontraron que con el agregado de 40 unidades de P/ha los incrementos de rendimiento en el 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 solo el primer año, la falta de respuesta de los otros años podría ser debida al incremento del nivel de P en el suelo y posiblemente al deficit de agua ocurrido.

Dumphy et al (1966), Bhangoo y Albriton (1972), Fink et al (1974), y Ohlrogge y Kamprath (1968), concuerdan que la respuesta a la aplicación de P en años secos o con periodos de stress hídrico en la estación de crecimiento es menor que la observada en años con balance hídrico adecuado.

Kamprath y Miller (1958) demostraron que el rendimiento de la soja esta relacionado con el nivel de P del suelo; dando un coeficiente de correlación. Estos mismos autores realizaron un trabajo donde estudiaron la correlación de ciertos factores del suelo y la población con el rendimiento de la soja .

Cuadro N° 8

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 | 0,12 |
| Fósforo | 0,358** |
| Potasio | 0,226* |
| Materia Orgánica | -0,1 |

Este cuadro muestra que los factores de suelo estudiados, el contenido de P en el suelo y el ph, fueron los mas importantes en determinar los rendimientos de soja.

Vidor (1978) en variados ensayos de fertilización con P en soja obtuvo siempre respuestas significativas en el rendimiento. Agrega que la elevada respuesta (superior al 50 %) es debida al papel que juega el P incrementando la síntesis de proteínas, el desarrollo radicular y aereo, beneficiando la nodulación lo que produce un aumento del contenido de N de la planta, incrementando así el rendimiento en grano.

II.4. NUTRICION POTASICA

El K es el 1° de los elementos llamados mayores requeridos para el crecimiento de las plantas. Es absorbido como ion K^+ y se encuentra en el suelo en cantidades variable, puede oscilar desde unos pocos cientos de kg/ha en la capa arable en suelos de textura gruesa sobre arenisca, hasta 40000 kg/ha en suelos de textura fina formados sobre rocas con alto contenido de minerales potasicos. A pesar de la absorción relativamente alta de K por los vegetales, la deficiencia de este elemento en los suelos no es tan frecuente como la del N y P.

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. Este elemento es el segundo nutriente más absorbido y traslocado por la soja, siendo solo superado por el N. (extractado de la tesis de Bocking, De Castro, Grondona y Rodríguez, 1987).

II.4.1. Absorción

Hammond et al (1951) describieron que cultivares que producían 2890 kg/ha absorbían 62,8 kg/ha de K. 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. Durante la formación de grano, el K así como el N y P fueron traslocados hacia éste.

Hanway y Weber (1971) indican que cerca del 50% del K, N y P de las semillas maduras fue traslocado de los órganos vegetativos y el 50% restante fue absorbido del suelo durante el desarrollo del grano. El grano de soja contiene grandes cantidades de K.

Hanway citado por De Mooy et al (1973) señala que el 40% de K absorbido es después del comienzo de formación de grano.

Según Henderson y Kamprath la acumulación de K no es tan uniforme como la de los otros nutrientes, tendiendo a disminuir luego de 110 días post-siembra, debido a la traslocación hacia la semilla.

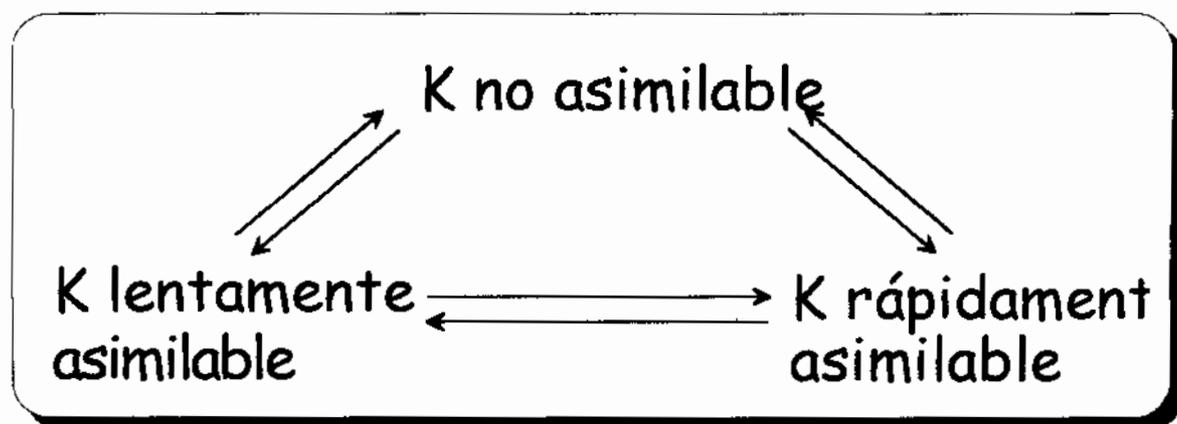
De Mooy et al (1973) señalaron una concentración en hojas, tallos y raíces ligeramente superior al 1% durante el crecimiento temprano. Este porcentaje disminuye gradualmente con el desarrollo de la planta, y se observa una disminución marcada en el período de llenado de grano.

El K en el suelo existe en tres formas:

- relativamente inasimilable
- lentamente asimilable
- rápidamente asimilable

Se considera que estas tres formas se encuentran en equilibrio en cualquier suelo, variando las cantidades de una u otra forma según las condiciones y el tipo de suelo.

Figura N° 4



Black (1965) y Tisdale y Nelson (1966) analizaron los factores que afectan el equilibrio del K en el suelo. Entre los más importantes citaron textura, tipo de coloide, temperatura y pH.

La textura afecta la disponibilidad de K en el suelo porque es un índice de la composición del suelo. El suelo arcilloso en particular suelos illíticos o similares 2:1, tienen más K en forma soluble o intercambiable. Estos minerales al igual que la materia orgánica aunque posee gran capacidad para retener K y otros cationes en forma intercambiable, no están capacitados para fijar este elemento.

Otro factor, la temperatura afectaba proporcionalmente el K intercambiables, con aumentos de temperatura, aumentaba la forma intercambiable de este elemento.

Con respecto al ph, Hanna y Hutcheson (1968) encontraron que estaba relacionado de dos maneras; el ph del suelo en el momento en que se incorporaba el K y la relación de este elemento con otros agregados con o luego del K,

En particular con el Ca y el Mg, estos autores y Barber (1969) encontraron que la suma de estos dos elementos disminuían la disponibilidad del K.

Pearson (1958) encontro que altas concentraciones de Ca en la solución del suelo, inhiben la extracción de K aunque este se encuentre en cantidades adecuadas. De Mooy y Peseck (1970) observaron que el K aparece muchas veces relacionado con el P. La interacción P-K tiene un efecto significativo en el contenido de K en la hoja. Tambien el K afecta el contenido de P en la hoja a travez de la misma interacción.

Shuster y Graham (1927) observaron que tanto P como N eran importantes en combinación con el K para aumentar el contenido de aceite en el grano.

II.4.2. Períodos Críticos

El K tiene mucha importancia en procesos bioquímicos y fisiológicos del metabolismo de las plantas. No forma ningún compuesto estructural definitivo pero interviene como intermediario en el metabolismo de las plantas.

Bajo conciciones de deficiencias de K se acelera la senectud de las hojas viejas porque este elemento migra hacia las hojas mas jovenes y las partes en crecimiento.

Sin el K la actividad fotosintetica baja rapidamente .

El acortamiento de tallos, la aparición de un color tostado y muerte de tejidos son los sintomas mas comunes de deficiencia de este elemento (Black, 1975).

Por otra parte Scott y Aldrich (1975) señalan que los primeros sintomas de deficiencia es la presentación de un moteado amarillo en los bordes de las hojas pequeñas. Este amarillamiento puede continuar hasta que solo el centro se

mantenga verde. Si la deficiencia continúa se puede producir la muerte del tejido.

Steinberger (1951) concidera que el K tiene estrecha relación con el N de los aminoácidos aumentando su cantidad y disminuyendo la cantidad de carbohidratos en plantas deficientes.

Scott y Aldrich (1975) encontraron el máximo ritmo de absorción de K durante el periodo de máximo crecimiento vegetativo, decreciendo luego cuando se comienzan a formar los granos.

Saumel (1975) indica que la deficiencia de K durante el crecimiento de la parte aérea limita el desarrollo de la hoja en forma proporcional a la deficiencia.

Mascarenhas y Braga (1978) encontraron que el K era fundamental desde el estadio R3 en adelante, ya que este nutriente favoreció la retención de vainas en las plantas. mejoró la calidad de las semillas y aumentó la resistencia de la planta al ataque de hongos.

II.4.3. Efecto sobre la nodulación

En cuanto al tema del efecto sobre la nodulación que tiene este elemento existen varias opiniones pero casi todos los autores revisados coinciden en el efecto positivo del K sobre la nodulación.

Heltz y Whiting (1928) citados por Jones y Lutz (1969) reportaron que con 140 kg/ha se incrementó el número de nódulos de 37 a 55.

Ferguson y Albrecht (1941) señalaron que la presencia de K promovía la fijación de N.

Jones, Lutz y Smith (1969) encontraron que los tratamientos con P y K incrementaban significativamente el número de nódulos por planta, peso total de nódulos y promedio de peso por nódulos. Estos autores encontraron que el efecto de los dos elementos en conjunto era mayor que el de K solo, y este mayor que el de P solo .

Perkins (1924) citado por Jones, Lutz y Smith (1967) reportaron que el K no era esencial para la nodulación.

Fallers (1918) encontró efectos no significativos del K sobre la nodulación.

De Mooy y Pesek (1966) señalan que la nodulación máxima se da cuando se aplicaban de 600 a 800 ppm de K, en ensayos de campo.

II.4.4. Respuesta a la fertilización K

En suelos deficientes de K, la mayoría de los autores coinciden en afirmar que el cultivo de soja responde a la fertilización con este elemento.

Algunos investigadores como Ohlrogge y Kamprath (1968), señalan que la fertilización con K debe dirigirse a mantener el nivel de K en el suelo de medio a alto.

El K, como participante en los procesos enzimáticos e intermedio en el metabolismo, como mejorador del contenido de agua de la planta y como elemento limitante de la producción de carbohidratos, tiene influencia en varios componentes del rendimiento.

Nellngel et al (1934) demostró que bajo deficiencia de K los granos se forman pero no llegan a llenarse por lo que su peso resulta muy disminuído.

Franck (1931) señala que la deficiencia de K produce un retardo en la madurez, esto se da en algunos cultivos como soja, maíz, etc.

Ohlrogge y Kamprath (1968) encontraron requerimientos anuales de 100 a 150 kg/ha de K en el cultivo de soja. Estos autores en ensayos en E.E.U.U. encontraron que con niveles de K de 45, 90 y 130 kg/ha los rendimientos obtenidos como porcentaje del total eran de 60, 85 y 90% respectivamente. En otros suelos los rendimientos de soja disminuyen cuando el nivel de K en el suelo era menor a 70 kg/ha. En estos casos encontraron relativamente importante la fertilización directa.

Ohlrogge (1960) encontró respuesta significativa a la fertilización K en suelos con deficiencia de este elemento. Por otra parte, en otros tipos de suelos en los cuales las plantas tenían síntomas de deficiencias, no halló respuesta de ningún tipo. Según este autor la fertilización K aumenta la concentración de este nutriente en la planta pero no siempre en rendimiento.

Nelson (1946) reportó grandes incrementos de rendimiento en casi todos los suelos deficientes de K en el sureste de los E.E.U.U. Según este autor un adecuado nivel de K, duplicaba el número de vainas por planta, aumentaba el tamaño y el peso de las semillas, aumentaba el contenido de aceite en el grano y disminuía el porcentaje de granos atacados por hongos.

Mascarenhas, Hiroce y Braga (1976) no encontraron respuesta al agregado de K cuando los suelos tenían más de 0,12 mq/100 gr de suelo o 48 ppm de K. Estos autores concluyen que la fertilización K no resulta en general en un aumento de la producción, pero no deja de ser importante en la reducción de la dehiscencia de vainas, mejorando la calidad de la semilla y evitando ataques de hongos.

También sostienen que un exceso en la fertilización con KCl pueden salinizar los suelos con sus posteriores consecuencias.

Bray (1961) sostiene que cuando el suelo contiene 0,6 mq cada 100gr de K el rendimiento de soja estará en un 50% del máximo obtenible, mientras que con 0.23 mq/100gr de K el rendimiento será el 97% de máximo.

Milanez (1978) no halló respuesta significativa para el agregado de este nutriente en ensayos realizados en Espiritu Santo en Brasil. El contenido inicial era de 26,5 ppm considerado bajo al tratarse de este nutriente.

Souza et al (1976) en suelos con un contenido de 28 ppm obtuvieron por aplicación de 60 y 120 kg de K₂O /ha un aumento de 90 y 55 kg/ha correspondiente al 14 y 9 % respectivamente.

Amendola (1980) estudió la respuesta al agregado de K con una dosis básica de 100 unidades/ha de P en suelos arenosos de la unidad Tacuarembó. El contenido de K en los suelos era de 0,19-0,25 mg/100gs. Agregó de 0 a 150 unidades de K₂O/ha y no encontró respuesta significativa.

Este mismo autor concluye que en varios tipos de suelos estudiados durante tres años y con diferente manejo anterior de chacra, no existía respuesta significativa en rendimiento en grano para el agregado de K.

En la cuenca de la Laguna Merín, estudios realizados por Chebataroff (1979) sobre suelos livianos no dieron significancia a la fertilización K. Inclusive hubo una leve tendencia negativa de los rendimientos al incrementarse la fertilización con este elemento. Se debe señalar que las condiciones ambientales negativas, como la sequía perjudicó los rendimientos, lo mismo que la falla en la nodulación. Por estos motivos el autor considera que estos estudios deben tomarse como preliminares. Los niveles de K utilizados fueron 0, 60 y 120 kg de K₂O /ha bajo forma de KCl.

III

MATERIALES Y METODOS

III.1. Localización

Se realizó 5 ensayos en la región este del país en los departamentos de Treinta y Tres, y Cerro Largo. Cuatro de los cuales fueron para evaluar la respuesta a la fertilización fosfatada y nitrogenada en las unidades de suelos Vergara y Río Branco. En el ensayo restante se evaluó respuesta a dosis y localización del fertilizante fosfatado.

Los 4 ensayos correspondientes al regional de fertilización se sembraron en chacras de productores. El 5° ensayo, de localización se sembró en el campo experimental de la EEE

Los ensayos 1 y 2 fueron instalados en el departamento de Cerro Largo sobre la ruta 18 a 30 km. de Río Branco en el paraje Estación Vargas en la chacra perteneciente a los Ings. Agrónomos Molina y Deal.

El ensayo 3 se instaló en Treinta y Tres en la ruta 19 en el paraje Palo a Pique en la chacra perteneciente al señor Telis.

El ensayo 4 fué sembrado en el departamento de Treinta y Tres sobre la ruta 17 en el paraje Parada Sanz en el cultivo perteneciente al Ing. Agrónomo Antonio Jorge.

El ensayo 5 se instaló en el paraje Paso de la Laguna, departamento de Treinta y Tres en el campo experimental de la E.E.E.

III.2. Régimen pluviométrico

Los datos que se dan a continuación fueron aportados por la EEE.

Cuadro N° 9

| | Dic/85 | Ene/86 | Feb/86 | Mar/86 | Abr/86 | May/86 |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| mm | 15.8 | 148.3 | 150.8 | 93.4 | 70.1 | |

Se debe mencionar que si bien 2 de los ensayos están algo alejados de donde fueron echadas las mediciones consideramos estos registros como promediales para el departamento, porque este período 85-86 fué un verano lluvioso sin deficiencias hídricas.

Debemos tener en cuenta que los porcentajes de humedad del suelo antes de la siembra eran suficientes para una buena emergencia y para la 1ª etapa de crecimiento.

Cuadro N° 10

Promedio del porcentaje de humedad de los primeros 20 cm del suelo.

| Ensayo | I | II | III | IV | V |
|--------|----|----|-----|----|----|
| 2 | 12 | 12 | 13 | 13 | 15 |

Por otra parte en ninguno de los ensayos, aún en las épocas críticas para el desarrollo del cultivo se notaron síntomas de deficiencias hídricas.

III.3. Clasificación y ubicación

Ensayos 1 y 2 . Según la clasificación de la Dirección de suelos y fertilizantes del MGAP (1976) este suelo se clasifica como un planoso dístico ócrico de la unidad Río Branco.

Ensayos 3 y 4. Este suelo se clasifica como Argisol Subéutrico / dístico ócrico melánico abrupto de la unidad Vergara.

III.4. Análisis químico del suelo

Se procedió a extraer una muestra de suelo previo a la fertilización.

Los análisis de suelo fueron realizados por la Dirección de Suelos y Fertilizantes del MGAP. Los resultados se observan en el

Cuadro N°11

| Ensayos | PH (H ₂ O) | MO | P.ppm(Bray I) | K |
|---------|-----------------------|-----|---------------|------|
| I | 4.7 | 2.3 | 5 | 0.17 |
| II | 5.1 | 2.1 | 11 | 0.23 |
| III | 5.4 | 2.7 | 7 | 0.19 |
| IV | 5.3 | 3.1 | 2 | 0.32 |

III.5. Historia de la Chacra

Los ensayos I y IV se instalaron sobre campo virgen. El ensayo II se instaló sobre un rastrojo de soja de 1° año. El cultivo anterior se fertilizó con 120 u de P₂O₅/ha.

El ensayo III se instaló en un rastrojo de soja de 2° año siendo la fertilización anterior de 80 u de P₂O₅/ha. No se tienen datos de la fertilización del 1° año en que se sembró soja en ese campo.

III.6. Variedad

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

III.7. Epoca de siembra

Todos los ensayos del regional de fertilización y también el de localización se sembraron entre el 27 y 30 de noviembre de 1985. Esta época es apta para la variedad y la zona de estudio.

| Ensayo | Localidad | U.Suelo | Chacra | Fertiliz. | Siembra | Floración |
|--------|--------------|------------|-----------|-----------|----------|-----------|
| I | Vargas | Rio Branco | C.Virgen | 17-11-85 | 27-11-85 | 17-2-86 |
| II | Vargas | Rio Branco | Ras.1 año | 17-11-85 | 27-11-85 | 17-2-86 |
| III | P.Sanz. | Vergara | R. 2 años | 30-11-85 | 30-11-85 | 17-2-86 |
| IV | Palo a Pique | Vergara | C.Virgen | 5-11-85 | 29-11-85 | 17-2-86 |
| V | P.la Laguna | Vergara | C.Virgen | 28-11-85 | 30-11-85 | 20-2-86 |

III.8. Prácticas Culturales

III.8.1. Laboreo

El laboreo para todos los ensayos fue similar, realizandose una arada profunda entre Julio y Agosto y luego se realizaron las pasadas de disquera necesarias para una optima preparación del suelo. Inmediatamente antes de la siembra se realizaron pasadas de restra de dientes. En los campos de rastrojo se comenzaron los laboreos con pasadas de exéntricas.

III.8.2 Inoculación

La inoculación se realizó en la chacra en los momentos previos a la siembra. Se utilizó un paquete de inoculante cada 25 kg de semilla.

III.8.3. Fertilización y siembra

En los ensayos I, II, III y IV la fertilización se realizó al voleo y se incorporó con desquera.

Las diferentes combinaciones de unidades de los elementos N,P,K contaron como fuentes a urea, superfosfato y cloruro de K.

En el ensayo V de localización las formas de aplicar fertiliznte fue diferente. Los tipos de fertilización que se llevaron a cabo en este ensayo fueron :

- mitad voleo superficial incorporado con disquera y mitad en bandas en el momento de la siembra

-voleo superficial

-voleo profundo.

Toda la fertilización se realizó a mano.

En los ensayos regionales, para la siembra se utilizaron máquinas de los productores las cuales eran de cinco surcos.

Las distancias eran:

| | |
|---------------|-----------|
| ensayo I y II | 0,58 mts. |
| III | 0,50 mts. |
| IV | 0,53 mts. |

El ensayo V se sembró a mano a una distancia de 0,60 mts.entre hileras y a la misma densidad que anteriores.

III.8.4. Control de malezas

En ningún ensayo hubo problemas de enmalezamiento.

El único ensayo en que se aplicó herbicida fue el IV, en Sanz, un rastrojo de 2° año donde se aplicó un litro /ha de Trifluralina, incorporandose el producto con disquera. En los demas no se hizo ningun tipo de control culatural ni químico.

III.8.5. Tratamientos Sanitarios

En todos los ensayos se aplicó insecticidas cuando los ataques de insectos defoliadores así lo requerían. Esto fue en los meses de Enero y Marzo.

En los ensayos I y II sobre la unidad de suelo Rio Branco y en el ensayo V de localización en el Paso de la Laguna hubo un ataque muy importante de Anticarsia Gematilis y Plusia Nu que causaron daño foliar, impidiendo el muestreo de hojas cuando se hizo para los demás ensayos.

Los ataques de las demas plagas (Epinotia Aporema, Nezara Viridula y otras) se controlaron en forma y tiempo no causando daños evaluables.

III.9. Diseño Experimental

III.9.1. Ensayos de fertilización regional

El diseño experimental fue de bloques al azar con tres repeticiones.

Se evaluaron cinco niveles de fosforo. 0, 40, 80, 120, 160 unidades de P₂O₅/ha.

Tres niveles de N 0, 15, 30 unidades de N/ha.

Dos niveles de K, 0, 40 unidades de K₂O/ha.

Cuadro N° 12

Tratamientos en los ensayos I, II, III, IV.

| Tratamientos | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O |
|--------------|----|-------------------------------|------------------|
| 1-N0P0K0 | 0 | 0 | 0 |
| 2-N0P1K0 | 0 | 40 | 0 |
| 3-N0P2K0 | 0 | 80 | 0 |
| 4-N0P3K0 | 0 | 120 | 0 |
| 5-N0P4K0 | 0 | 160 | 0 |
| 6-N1P2K0 | 15 | 80 | 0 |
| 7-N2P2K0 | 30 | 80 | 0 |
| 8-N2P2K1 | 30 | 80 | 40 |
| 9-N1P3K0 | 15 | 120 | 0 |
| 10-N2P3K0 | 30 | 120 | 0 |

Las dimensiones de cada ensayo fue de 41 mts. de largo por 18 mts. de ancho, la parcela de cada tratamiento tenía 21,6 mts², se ubicaron cinco tratamientos por cada sub-bloques dejando una separación de un metro entre cada sub-bloque y un metro entre cada bloque.

Como ejemplo tomamos el ensayo III, la distribución de los bloques y los tratamientos.

Figura N° 5

| | | | | |
|----|---|---|---|---|
| 10 | 9 | 3 | 5 | 2 |
|----|---|---|---|---|

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 4 | 8 | 7 | 6 |
|---|---|---|---|---|

| | | | | |
|---|---|---|---|----|
| 7 | 4 | 2 | 5 | 10 |
|---|---|---|---|----|

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 8 | 9 | 6 | 3 | 1 |
|---|---|---|---|---|

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 9 | 7 | 3 | 1 | 8 |
|---|---|---|---|---|

| | | | | |
|----|---|---|---|---|
| 10 | 2 | 4 | 5 | 6 |
|----|---|---|---|---|



Bloque I



Bloque II



Bloque III



III.9.2. Ensayo de localización

Este ensayo es de bloques al azar con tres repeticiones, evaluandose tres niveles de P, 45, 90 y 135.

Paralelamente se evaluó la localización del fertilizante:

Los tratamientos fueron: 1- 1/2 banda

1/2 voleo- 50% pre-siembra

- 50% siembra.

2- voleo superficial pre-siembra

3- voleo profundo pre-siembra.

III.10. Muestreos

III.10.1. Muestreo foliar

Se extrajeron 20 muestras de folíolos por parcela, el folíolo elegido para la muestra fue aquel más joven y sin ningún daño aparente, coincidiendo generalmente con el segundo o tercer folíolo del ápice del tallo principal hacia abajo, las muestras fueron lavadas con agua y luego en agua destilada, posteriormente se secaron a estufa a 65°C. durante cuarenta y ocho horas.

Se molieron para realizar el análisis foliar en el laboratorio de la Dirección de Suelos de MGAP.

Cabe destacar que no se pudo hacer el muestreo para todos los ensayos por ataques severos de lagarta con lo cual el muestreo no se podría hacer en forma representativa y al azar.

Los ensayos en los cuales se realizó el muestreo fueron el III (Palo a Pique) y IV (Parada Sanz).

III.10.2. Muestreo de plantas

Se sacaron dos muestras de cinco plantas por parcelas de las filas contiguas a las exteriores. La parte vegetativa se secó a estufa a 100°C durante 48 horas para luego medir la materia seca/planta.

De la raíz se extrajeron los nodulos que se secaron a 60°C durante 48 horas para posteriormente determinar el peso seco de nodulos por planta.

También del mismo muestreo se determinó el diámetro de la corona.

III.11. Cosecha y trilla

Se cosecharon las tres hileras centrales de cada parcela, dejando 50cm aproximadamente en cada extremo de la hilera. Luego cada parcela fue enbolsada separadamente y posteriormente se realizó la trilla con una trilladora estacionaria de ensayos.

Las fechas de cosecha fueron las siguientes:

Cuadro N°13

| Ensayo | Localidad | U.Suelo | Cosecha |
|--------|--------------|------------|---------|
| I | E.Vargas | Rio Branco | 4-5-86 |
| II | E.Vargas | Rio Branco | 4-5-86 |
| III | P.Sanz | Vergara | 3-5-86 |
| IV | P. a pique | Vergara | 30-4-86 |
| V | P. la Laguna | Vergara | 2-5-86 |

III.12. Determinaciones a nivel de campo

Se realizaron las siguientes determinaciones:

-Número de plantas/mt lineal, tomando cuatro mediciones por parcela.

-Altura de la planta, tomando seis plantas por parcela.

-Inserción de la primera vaina, tomando seis plantas por parcela.

-Número de vainas por planta, tomando seis plantas por parcelas.

III.13. Determinaciones a nivel de laboratorio

Se pesaron los granos obtenidos de la trilla. Se midió el porcentaje de humedad y se determinó rendimiento al 14% de humedad.

Luego se sacó una muestra de grano de cada parcela trillada, se molió y se determinó el porcentaje de N y el porcentaje de aceite. Con el porcentaje de N se determinó el de proteína en el grano.

Para determinar el porcentaje de N en el grano se utilizó el método de Kjeldahl que consta de tres etapas fundamentales:

-digestión de la proteína, destilación del amonio y titulación con una base de normalidad y valoración conocida donde se mide el gasto.

El análisis también cuenta con una prueba para referenciar el resultado, llamada prueba en blanco. En esta prueba se mide el gasto de la base en ausencia de N. Los cálculos se realizan según la siguiente fórmula:

$$(GM-GPb) \times F \times n = \% N$$

donde :- n =normalidad

-GPb=gasto de hidroxido de la prueba en blanco, en ml.

-GM =gasto de hidroxido en la prueba con la muestra, en ml.

-F =factor de valoración del hidroxido.

El porcentaje de proteína se obtuvo multiplicando el porcentaje de N del grano por el factor 6,25.

La determinación del porcentaje de aceite en el grano se hizo por extracción por solvente con el aparato de Butt. Este método consiste en la extracción del aceite de la muestra molida

mediante el uso del eter de petróleo exano (solvente) normal fracción 62-68 C. Para el cálculo del porcentaje de aceite se usa la siguiente fórmula :

$$\% \text{ de aceite} = \frac{M2 - M1}{P} \times 100$$

donde: M2- peso del matraz mas aceite recogido

M1= peso del matraz

P = peso de la muestra.

Para determinar los porcentajes de N, P y K en las hojas se realizó el método de Kjeldahal para N, P y K se determinaron por colorimetría.