

UNIVERSIDAD DE CONCEPCION  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS, VETERINARIA Y FORESTALES  
DEPARTAMENTO DE AGRONOMIA

PROYECTO FIA REGISTRO N° 57/85

"FACTORES QUE INFLUYEN EN LA FIJACION DE NITROGENO  
Y EN LA PRODUCCION DEL FREJOL"

INFORME FINAL

CHILLAN, MAYO 1992



**ESTE PROYECTO SE REALIZO GRACIAS AL PATROCINIO Y APORTE ECONOMICO DEL FONDO DE INVESTIGACION AGROPECUARIA (FIA) DEL MINISTERIO DE AGRICULTURA**

**INVESTIGADORES PARTICIPANTES:**

Luis Longeri,           Ingeniero Agrónomo  
Master of Science, U. de Wisconsin, USA  
Profesor Titular Depto. Agronomía  
Universidad de Concepción

Alfonso Herrera,       Ingeniero Agrónomo  
Profesor Asistente Depto. Agronomía  
Universidad de Concepción

Iván Vidal,            Ingeniero Agrónomo  
Magister en Ciencias, U. Católica  
Profesor Asociado Depto. Agronomía  
Universidad de Concepción

Gotardo Schenkel,     Ingeniero Químico  
Profesor Titular Depto. Agronomía  
Universidad de Concepción

## INDICE

	<u>Página</u>
RESUMEN .....	1
INTRODUCCION .....	4
MATERIALES Y METODOS .....	7
RESULTADOS	
Etapa I .....	31
Etapa II .....	49
Etapa III .....	70
Etapa IV .....	80
DISCUSION	
Etapa I .....	86
Etapa II .....	111
Etapa III .....	128
Etapa IV .....	151
CONCLUSIONES	
Etapa I .....	179
Etapa II .....	180
Etapa III .....	181
Etapa IV .....	182
CONCLUSIONES GENERALES .....	185
BIBLIOGRAFIA .....	187
GLOSARIO .....	190

## RESUMEN

Durante los años 1987 a 1991 se efectuó un estudio conducente a detectar los factores que influyen en los rendimientos de las siembras de frejol de la VIII Región, que incluyó (i) prospección del estado nutricional y de nodulación de siembras de la zona, aislamiento de cepas nativas de rizobios, caracterización de los suelos, (ii) determinación de la capacidad de fijación de nitrógeno de las cepas aisladas en simbiosis con diferentes cultivares de frejol y (iii) ensayos de fertilización en macetas y terreno.

Se prospectaron 148 siembras, cuando el frejol se encontraba al estado de floración, recolectándose (i) plantas con su sistema radicular con el fin de evaluar el estado de la nodulación, (ii) muestras de nódulos destinadas al aislamiento de las cepas nativas de Rhizobium leguminosarum biovar phaseoli, (iii) muestras foliares para determinar el estado nutricional de las plantas y (iv) muestras de suelo para su caracterización física y química. Los resultados indican que la nodulación, tanto en número como peso, es deficiente con una frecuencia del 15,5% de siembras no noduladas. La mejor nodulación se asoció a suelos de pH más alto y de texturas menos arcillosas. El análisis foliar detectó que las plantas son deficientes en P, K y Ca y suficientes en N, Mg, Fe, Mn, Zn y Cu. El análisis químico de las muestras de suelo señaló bajos contenidos de P asimilable (Olsen) y bajo grado de saturación de cationes y contenidos intermedios de N-nítrico y K, Ca y Mg de intercambio.

Las cepas nativas de rizobio aisladas de las siembras de frejol presentan una amplia variabilidad en su capacidad de fijar nitrógeno, medida en frascos Leonard y en simbiosis con el cultivar Opalo, encontrándose desde cepas inefectivas a altamente efectivas. Esta variabilidad puede ser un factor que afecte los rendimientos del frejol y justifique la práctica de inoculación de la semilla. El grado de eficiencia no se relacionó con las características físicas o químicas de los suelos. Las cinco mejores cepas sobrepasaron a cepas controles de reconocida eficiencia, por lo que la selección de cepas nativas, adaptadas a los suelos de la zona, puede ser útil en la preparación de inoculantes. Aunque los resultados del comportamiento simbiótico de estas cinco cepas en diez cultivares de frejol indicaron la existencia de interacciones cepa-cultivar, dos de ellas fijaron más nitrógeno en todos los cultivares, por lo que serían adecuadas para incluirlas en inoculantes de uso general en frejol.

Los ensayos de detección de deficiencias nutricionales, tipo Chaminade, efectuados en macetas con 15 muestras de suelos de la zona en estudio, mostraron una carencia generalizada de P que deprime la nodulación y crecimiento del frejol. Otras deficiencias, que no afectan en forma individual a más del 50% de los suelos son las de K, Ca, Mg y S. Estas deficiencias son concordantes con las encontradas en las siembras de frejol de la VIII

mediante análisis foliar y de suelos. En dos muestras de suelos, pertenecientes a la serie Mañil, las plantas de todos los tratamientos fueron fuertemente afectadas por toxicidad de Al. Toxicidad de Al también fue observadas en siembras de frejol en la Provincia de Ñuble durante la temporada 1989-1990.

En estos mismos ensayos, la inoculación de la semilla con cepas efectivas de rizobio mejoró en un 30% a 40%, según el parámetro evaluado, la nodulación, fijación de nitrógeno y crecimiento de las plantas, resultados también concordantes con la amplia variabilidad de la capacidad de fijar nitrógeno de las cepas nativas de rizobio del frejol.

Los ensayos de campo de fertilización, que incluyeron aplicación de superfosfato triple (SFT), sulfato de K y Mg (sulpomag, SPM) y encalado, y de inoculación de la semilla indicaron que las siembras de frejol pueden ser afectadas por (i) deficiencias de P y K, (ii) toxicidades de Al y Mn y (iii) la calidad de la población nativa de rizobios.

La mejor respuesta a la fertilización fosfatada se obtuvo con la dosis de 400 kg  $P_2O_5$ /ha, dosis que es muy superior a la usualmente empleada por los agricultores. Es, sin embargo, importante la fuente de fosfato, puesto que la aplicación de SPT aumenta la concentración de Al foliar en el frejol, efecto que fue máximo con la dosis de 200 kg  $P_2O_5$ /ha. La adición de SPM y/o el encalado a la fertilización con SFT tiene una acción correctora sobre la toxicidad de aluminio, mejorando la nodulación y desarrollo de las plantas. En un ensayo, la ausencia de nodulación se atribuyó a una fuerte toxicidad de aluminio que no fue corregida por los tratamientos.

En tres ensayos la concentración foliar de Mn alcanzó niveles que pueden considerarse tóxicos, aunque su interpretación se dificulta puesto que su efecto no puede desligarse de las concentraciones de macronutrientes, de Fe y de Al.

La inoculación de la semilla aumentó la nodulación, el desarrollo vegetativo y el rendimiento del frejol, asociándose directamente estas variables entre si.

Se puede concluir que factores limitantes de la productividad de las siembras de frejol efectuadas en suelos de la VIII Región son (i) la calidad de la población nativa de rizobios, (ii) la deficiencia generalizada de P, (iii) las deficiencias, menos frecuentes, de K, Ca, Mg y S y (iv) las toxicidades de Al y Mn, (v) además de la elección de suelos de texturas demasiado arcillosas para su cultivo. Las prácticas de fertilización deben ir dirigidas a suministrar de los nutrientes deficitarios antes señalados, a corregir el pH y a aminorar o subsanar las toxicidades de Al y Mn. Especial cuidado debe darse a la elección de la fuente fertilizante, puesto que, por ejemplo, la aplicación de superfosfato triple aumenta las concentraciones de Al foliar, efecto que pone en duda la conveniencia de emplear este fertilizante fosfatado en la fertilización del frejol. Dado que el

encalado disminuye la absorción de Al por la planta, debe recomendarse su uso en el cultivo de esta leguminosa. Finalmente, la inoculación de la semilla debe constituir una práctica rutinaria.

## INTRODUCCION.

Este informe final del Proyecto de Investigación FIA Registro 57/85, denominado "Factores que influyen en la fijación de nitrógeno y en la producción del frejol", integra las actividades desarrolladas durante sus cinco años de duración (1987 a 1991), de acuerdo al cronograma de actividades establecido en la propuesta de investigación presentada al FIA en marzo de 1986. El objetivo central de esta investigación fue determinar el efecto de factores biológicos (rizobio) y nutricionales (suelo) que, al actuar sobre la fijación simbiótica de nitrógeno, influyen sobre el desarrollo y rendimiento de esta leguminosa en el área de estudio. La importancia de este trabajo queda de manifiesto al señalar que, a nivel nacional, la VIII Región es la primera en el país en superficie sembrada con frejol. Por lo tanto, detectar los factores que conducen a la optimización de la fijación de nitrógeno en este cultivo, ya sea mediante el uso de cepas de rizobios de alta efectividad y su inoculación a la semilla, o controlando factores de fertilidad que influyen sobre el desarrollo de la planta en general o sobre la simbiosis en particular, puede contribuir a elevar los rendimientos.

Con el fin de conseguir sus objetivos el proyecto contempló las siguientes etapas:

### **ETAPA I. PROSPECCION DE SIEMBRAS COMERCIALES.**

En esta etapa se visitaron 148 siembras comerciales de

frejol ubicadas en la VIII Región, sobrepasándose largamente la meta de 100 prospecciones propuesta inicialmente. Las siembras se visitaron durante el periodo de floración, obteniéndose (a) muestras de plantas con sus raíces con el fin de evaluar el estado de nodulación del frejol, (b) muestras de nódulos para el aislamiento de rizobios, y (c) muestras foliares y de suelo para determinar sus niveles nutricionales.

#### **ETAPA II. PRUEBA DE EFECTIVIDAD Y SELECCION DE LAS CEPAS DE RIZOBIOS.**

Las cepas de rizobios aisladas en la etapa anterior se inocularon en plantas de frejol cultivadas en condiciones asépticas en arena (frascos Leonard) y regadas con una solución nutritiva excenta de nitrógeno, con el fin de medir su grado de efectividad de fijación de nitrógeno. Las 25 mejores cepas se sometieron a una segunda selección, procediéndose a elegir las 5 mejores. Estas 5 cepas se probaron en su capacidad simbiótica en 10 cultivares de frejol, con el fin de detectar interacciones cepa-cultivar.

#### **ETAPA III. DETECCION DE FACTORES DE SUELO LIMITANTES.**

Se recolectaron 15 muestras de suelos representativos de la zona en estudio, evaluándose su estado nutricional según el método del elemento faltante (Chaminade), utilizando frejol, inoculado con las cepas seleccionadas, como planta indicadora.

#### **ETAPA IV. ENSAYOS DE TERRENO.**

Se ejecutaron cinco ensayos de campo, uno en la Estación

Experimental de la Universidad de Concepción, Chillán, y cuatro en predios de agricultores. Los tratamientos empleados en estos ensayos se seleccionaron tomando en cuenta los resultados obtenidos en las etapas anteriores de este proyecto, y su objetivo fue demostrar efectos de fertilización y de inoculación de la semilla en el crecimiento, nodulación y rendimiento del frejol.

## MATERIALES Y METODOS

### ETAPA I. PROSPECCION DE SIEMBRAS COMERCIALES.

La prospección de las siembras de frejol de la VIII Región se efectuó en el período de floración de las plantas. Entre el 7 y 21 de enero de 1987 se visitaron 148 siembras comerciales distribuidas en el área comprendida entre San Gregorio, por el norte, y Mulchén, por el sur. La ubicación geográfica de los lugares de muestreo se indican en la Figura 1.

En cada siembra visitada se colectaron , al azar, 10 plantas con su sistema radicular con el fin de determinar su nodulación. Estas plantas fueron llevadas al laboratorio y se determinó el número de nódulos y el peso seco (60 °C por 48 h), y el peso seco de la parte aérea y raiz.

Al mismo tiempo, en cada siembra visitada, se obtuvo (i) muestras de nódulos, en duplicado, que se guardaron en tubos desecantes, provistos de cloruro de calcio anhidro, para el aislamiento de rizobios en el laboratorio, (ii) una muestra foliar compuesta de 30 hojas sin pecíolos, colectadas al azar, del tercio medio de las plantas ,y (iii) una muestra de suelos, compuesta, tomada en los primeros 20 cm de profundidad.

El aislamiento de los rizobios se hizo inoculando, con un macerado de nódulos desecados, plántulas de frejol cultivadas en forma aséptica, usando solución nutritiva agarizada exenta de nitrógeno, en el interior de frascos de vidrio de 20,5 cm de alto

Figura 1. Ubicación geográfica de las siembras de frejol muestreadas en la zona de estudio (VIII Región).

por 6 cm de diámetro, bajo iluminación artificial (21). A partir de los nódulos de estas plantas se procedió al aislamiento de las cepas de rizobios en medio de cultivo mediante los métodos usuales (19). Las cepas aisladas se ingresaron a la colección de rizobios (cepario) del Departamento de Agronomía de la Universidad de Concepción, donde se mantienen en tubos tapa rosca con medio YMA tendido, en refrigeración a 5°C.

Las muestras foliares se lavaron con una solución diluída de ácido clorhídrico y luego con agua destilada, con el fin de eliminar la contaminación superficial con polvo. Luego se secaron a 60 °C, se molieron a 40 mesh y se analizaron en sus contenidos de macro y micronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Zn y Cu).

Las muestras de suelo fueron secadas al aire, tamizadas por malla de 2 mm y analizadas sus textura (sistema internacional) y propiedades químicas ( pH, M.O., N-NO<sub>3</sub>, P-Olsen, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn y Cu).

Los análisis foliares y de suelos fueron realizados por el Laboratorio de Análisis de Suelo y Planta del Departamento de Agronomía de la Universidad de Concepción, siguiendo la metodología establecida en dicho laboratorio.

## **ETAPA II. PRUEBA DE EFECTIVIDAD Y SELECCION DE CEPAS DE RIZOBIOS.**

### **1. Cepas de rizobios del frejol (Rhizobium leguminosarum biovar phaseoli).**

De las 148 muestras de nódulos recolectadas de las siembras de frejol de la VIII Región se aislaron 94 cepas confirmadas en

su capacidad de infectar y producir nódulos en frejol. El origen de estas cepas en relación a la textura de los suelos de las siembras de frejol se muestra en la Tabla 1.

TABLA 1. ORIGEN DE LAS CEPAS DE RIZOBIOS AISLADAS DE FREJOL DE ACUERDO A LA TEXTURA DE LOS SUELOS DE LAS SIEMBRAS.

Textura	Muestras nódulos	Cepas aisladas	Porcentaje aislamiento
Arcilla densa	11	6	54,55
Arcilla poco densa	63	39	61,90
Franco arcillosa	36	21	58,33
Franca	9	7	77,78
Franco arenosa	11	7	63,64
Arena	15	13	86,67
Otras	3	1	33,33
<b>Total</b>	<b>148</b>	<b>94</b>	<b>63,51</b>

Las cepas aisladas se ingresaron a la colección que mantiene el Departamento de Agronomía de la Universidad de Concepción, donde se mantienen en agar tendido, en tubos con tapa rosca, en refrigeración a 5°C, con traspasos cada seis meses.

## 2. Método inicial de evaluación de la capacidad de fijación de nitrógeno de las cepas aisladas (selección de cepas).

La capacidad de las cepas de rizobio para formar nódulos y fijar nitrógeno se probó en condiciones de invernadero, creciendo las plantas de frejol en frascos Leonard (19). Los frascos se llenaron con arena cuarzosa (derivada de suelos serie Cauquenes) recolectada en el río Lonquén, camino Chillán a Quirihue. Previamente a su uso, la arena se purificó tratándola durante una semana con una solución de ácido clorhídrico al 5 % , lavándola posteriormente con abundante agua corriente y finalmente con agua

destilada. Los frascos con arena se esterilizaron al horno a 110 °C por 6 horas.

Como planta hospedero se uso frejol cv. Opalo, que en experimentos de terreno ha mostrado una mayor capacidad nodulante (\*). Las semillas se desinfectaron superficialmente sumergiéndolas en D y D al 2 % (detergente desinfectante, Cotaco Ltda.) durante 3-5 minutos y lavándolas luego con agua destilada esterilizada. La semillas desinfectadas se pregerminaron, con el fin de detectar contaminación, en la superficie de placas de agar semilla, de la siguiente composición (9):

Sacarosa .....	5,0	g/l
Agar .....	12,0	

Semillas uniformes, libres de contaminación, con una radícula de aproximadamente 1 cm de largo, se usaron para sembrar los frascos Leonard, colocándose tres plántulas por frasco, para posteriormente a la emergencia ralear a dos.

La inoculación de cada frasco, con la cepa de rizobio correspondiente, se hizo mojando cada semilla sembrada con unas gotas de un cultivo de la cepa en caldo manitol levadura (MYB) (19). Frascos no inoculados se usaron como controles tanto del crecimiento (peso seco) y contenido total de nitrógeno de las plantas sin aporte externo de nitrógeno, como del grado de contaminación ambiental de los frascos con rizobios externos.

El reservorio de los frascos Leonard se llenó con solución nutritiva libre de nitrógeno de Erdman (9), esterilizada, que se emplea en la Universidad de Wisconsin y que se ha usado desde

(\*). Longeri, L., Herrera, A y Vidal, I., datos no publicados.

1967 en nuestros estudios de selección de cepas en varias leguminosas. La composición de la solución de Erdman se indica en la Tabla 2.

Los frascos sembrados se colocaron en una pieza aislada de un invernadero de vidrio. La luz natural se suplementó, cuando fué necesario, con luz fluorescente con el fin de iluminar las plantas un mínimo de 14 horas diarias. La temperatura se controló en el rango de 20 a 25 °C.

### 3. Análisis al material vegetal en relación a problemas de crecimiento de las plantas.

Se determinó el contenido foliar de macro y micronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn o Cu), de acuerdo a la metodología empleada por el Laboratorio de Análisis de Suelo y Planta del Departamento de Agronomía de la Universidad de Concepción.

### 4. Prueba de diferentes arenas en su contenido de Mn.

Se compararon cuatro diferentes arenas en su contenido de (a) manganeso extractable y (b) en el aporte de Mn que hacía cada una de ellas a la solución nutritiva de frascos Leonard.

Las arenas estudiadas fueron:

- i. Arena cuarzosa de río derivada de suelos Cauquenes
- ii. Arena negra de río, de origen basáltico, recolectada en el río Ñuble.
- iii. Arena de mar, recolectada en la playa de Bellavista, Tomé.
- iv. Cuarzo molido, obtenido en la fábrica de vidrios Schiavi, Concepción.

Del cuarzo molido se usó la fracción granulométrica entre

0,5 y 2,5 mm. La arena negra de río y la arena de mar se usaron con su granulometría natural. Antes de su uso, estas tres arenas fueron lavadas con agua corriente y agua destilada. La arena cuarzosa de río fue descrita anteriormente.

El Mn extractable se midió colocando 5 g de arena seca en 50 ml de solución de Lakanen y Ervio (acetato de amonio 38,54 g/l; Titriplex III 7,45 g/l; ácido acético 29,5 ml/l) y agitando durante 30 minutos. El Mn se determinó por espectrofotometría de absorción atómica.

El aporte de las arenas en Mn a la solución nutritiva se determinó en frascos Leonard no esterilizados y esterilizados al autoclave (30 minutos a 120 °C) o al horno (6 horas a 110 °C). Los frascos se esterilizaron sin agregar solución nutritiva. Luego de la esterilización, se agregó, a cada frasco reservorio, 650 ml de la solución de Erdman sin Mn. Se dejó por 3 días, percolando diariamente la solución de cada frasco a través de la arena. Luego se analizó el contenido de Mn de las soluciones.

##### **5. Nueva solución nutritiva y sustrato arenoso ausados en la selección de cepas. Mediciones efectuadas y criterio de selección.**

Para evitar el problema de toxicidad de Mn y Fe, se empleó, con éxito, la solución nutritiva exenta de nitrógeno de Broughton y Dillworth (19). La composición de esta solución se da en la Tabla 3. Como sustrato arenoso se usó cuarzo molido.

La esterilización de los frascos Leonard, desinfección e inoculación de las semillas y condiciones de crecimiento de las plantas son las mismas descritas en el punto 2.

TABLA 2. COMPOSICION QUIMICA DE LA SOLUCION NUTRITIVA LIBRE DE NITROGENO DE ERDMAN.

Componente	Concentración	Composición elemental	
		Elemento	Concentración
	mg/l		mg/l
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	136	P	30,29
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	34	K	57,23
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	85	Ca	46,54
MgCl <sub>2</sub> . 6 H <sub>2</sub> O	184	Mg	73,23
MgSO <sub>4</sub> . 7 H <sub>2</sub> O	266	S	87,48
CaSO <sub>4</sub>	200	Fe	1,00
Sequestrene Fe 330	10	Mn	0,50
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	2,86	B	0,50
MnCl <sub>2</sub> . 4 H <sub>2</sub> O	1,81	Zn	0,05
ZnSO <sub>4</sub> . 7 H <sub>2</sub> O	0,22	Cu	0,02
CuSO <sub>4</sub> . 5 H <sub>2</sub> O	0,08	Mo	0,06
Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> . 2 H <sub>2</sub> O	0,14	Co	0,0007
CoCl <sub>2</sub> . 6 H <sub>2</sub> O	0,002		

TABLA 3. COMPOSICION QUIMICA DE LA SOLUCION NUTRITIVA LIBRE DE NITROGENO DE BROUGHTON Y DILLWORTH.

Componente	Concentración	Composición elemental	
		Elemento	Concentración
	mg/l		mg/l
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	34,02	P	15,51
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	43,55	K	19,55
CaCl <sub>2</sub> . 2 H <sub>2</sub> O	147,03	Ca	40,07
MgSO <sub>4</sub> . 7 H <sub>2</sub> O	61,65	Mg	6,08
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	43,50	S	24,08
Fe-citrato	3,35	Fe	0,56
MnSO <sub>4</sub> . H <sub>2</sub> O	0,169	Mn	0,054
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	0,124	B	0,022
ZnSO <sub>4</sub> . 7 H <sub>2</sub> O	0,144	Zn	0,033
CuSO <sub>4</sub> . 5 H <sub>2</sub> O	0,050	Cu	0,013
CoSO <sub>4</sub> . 7 H <sub>2</sub> O	0,028	Mo	0,010
Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> . 2 H <sub>2</sub> O	0,024	Co	0,006

Cuando las plantas alcanzaron el estado de floración, fueron extraídas del sustrato arenoso y las raíces lavadas cuidadosamente para evitar la pérdida de nódulos. Las dos plantas de cada frasco Leonard se analizaron en conjunto. Las plantas se separaron en parte aérea y raíz. Se determinó el número y peso seco de los nódulos y el peso seco total de la planta. Toda la planta, incluyendo nódulos, se molió finamente (40 mesh) y se analizó en su contenido de nitrógeno por semimicro Kjeldahl (1) y nesslerización directa (10). Los datos se expresaron por frasco Leonard (2 plantas).

Como criterio de selección de las cepas se empleó el contenido total de nitrógeno de la planta, puesto que el representa en mejor forma la capacidad de fijación de nitrógeno molecular por parte de la cepa. En caso muy particulares y en la segunda etapa de selección se hizo uso de los otros parámetros.

En la comparación de las cepas se empleó la prueba de rango multiple de Duncan (4), después de un análisis de varianza de block al azar.

En la primera etapa de selección se dividieron las 94 cepas aisladas en dos grupos, cada uno compuesto de 47 cepas. Las cepas de cada grupo se compararon entre sí y con dos cepas controles correspondientes a las mejores existentes en la colección (cepas UCD-332 y UCD-1899). Fue necesario dividir las cepas en dos grupos debido a la disponibilidad de espacio de invernadero y de frascos Leonard. En esta etapa se emplearon tres repeticiones. Del total de estas cepas, se seleccionaron las 25 mejores, no importando si correspondían a cepas aisladas en el proyecto o a cepas controles.

En la segunda etapa de selección las 25 mejores cepas se compararon entre si. No se usaron cepas controles. Se trabajó, para mayor exactitud analítica, con cinco repeticiones.

Además, se hicieron correlaciones simples entre los datos de peso seco total, numero de nódulos, peso de nódulos y contenido total de nitrógeno de las plantas.

#### 6. Prueba de las cinco mejores cepas de rizobios en 10 cultivares de frejol.

Las cinco mejores cepas seleccionadas y los cultivares de frejol usados como plantas hospederas fueron los siguientes:

Cepas de rizobios:     UCD-1014  
                          UCD-1071  
                          UCD-1107  
                          UCD-1125  
                          UCD-1132

Cultivares de frejol: Blanco INIA  
                          Orfeo INIA  
                          Pinto 114  
                          Tortola INIA  
                          Arroz  
                          Apolo  
                          Negro de Argel  
                          Araucano INIA  
                          Coscorrón INIA  
                          Burro Argentino

La capacidad simbiótica de las cinco mejores cepas de rizobios para formar nódulos y fijar nitrógeno se probó en cada cultivar de frejol, creciendo las plantas en frascos Leonard (19), usando cuarzo molido como sustrato de soporte y solución nutritiva exenta de nitrógeno de Broughton y Dillworth (19). Los detalles de esterilización de semillas y método de siembra son iguales a los indicados anteriormente.

Una parte de la experiencia se desarrolló en una pieza aislada de un invernadero de vidrio. La iluminación natural se

suplementó, cuando fué necesario, con iluminación fluorescente (Phillip 40W/33), a un mínimo de 14 horas diarias de luz. La temperatura se controló en el rango de 20 a 25 °C en el día y 15 °C en la noche. Estas condiciones fueron las mismas usadas en las prebas de preselección de las cepas.

Posteriormente, las pruebas se continuaron en una pieza diseñada especialmente para el cultivo de plantas, bajo iluminación artificial y con condiciones de fotoperíodo y temperatura controladas. Esta pieza, con características de fitotrón, mide 5,10 x 4,30 m ( 21,9 m<sup>2</sup> ) y es iluminada por doce lámparas de descarga, de 400 W c/u, 6 de sodio de alta presión (Philips SON-T) y 6 de halogenuros (Philips HPI-T), con una irradiación máxima de, aproximadamente, 54 W/m<sup>2</sup>. Estas lámparas, por sus espectros de emisión adecuados para la fotosíntesis se usan en la mayoría de los fitotrones y salas de crecimiento en centros de investigación de otros países (2). Las condiciones de crecimiento en esta cámara fueron de 15 horas de luz/día y temperaturas de 23-25 °C/15-16 °C, día/noche.

Cada cepa se probó en cada uno de los cultivares. Cuando las plantas alcanzaron el estado de floración, fueron extraídas del sustrato arenoso y las raíces lavadas cuidadosamente para evitar la pérdida de nódulos. Se determinó el número y peso seco de los nódulos y el peso seco total de las plantas. Toda la planta, incluyendo los nódulos, se molió finamente (40 mesh) y se analizó en su contenido de nitrógeno por semimicro Kjeldahl (1) y nesslerización directa (10). Los resultados se expresaron por frasco Leonard ( dos plantas). Se usaron cuatro repeticiones.

Cuando se llevaban probadas las cinco cepas en cuatro

cultivares de frejol, la cepa UCD-1125 perdió su capacidad infectante, fenómeno que se presenta con cierta frecuencia en cepas mantenidas en colección. Por este motivo, en el resto del ensayo se incluyó a la cepa UCD-1137.

El comportamiento de las cepas en cada cultivar de frejol se analizó mediante análisis de varianza completamente al azar, comparando las medias mediante la prueba de rango múltiple de Duncan (4) usando un nivel de significancia de 5 %. Además, los parametros peso seco total, número de nódulos, peso seco de nódulos y nitrógeno total se sometieron a análisis de correlación simple.

### **ETAPA III. DETECCION DE FACTORES DE SUELO LIMITANTES.**

Se recolectaron 15 muestras de suelos correspondientes a las series que, en la prospección de siembras de frejol realizada en la primera Etapa del proyecto, mostraron mayor frecuencia. Las muestras fueron recolectadas en otoño, antes de las primeras lluvias, de una profundidad de 0 - 25 cm. Las muestras fueron secadas al aire, tamizadas por harnero de 2 mm y guardadas, a temperatura ambiente, hasta su utilización.

Los lugares de muestreo fueron seleccionados utilizando mosaicos del proyecto aereofotogramétrico de series de suelo de la Región y tratando de cubrir el area en estudio. Las series y lugares de muestreo se indican en la Tabla 4. Las categorías texturales y la caracterización química de estas muestras se entregan en las Tablas 5 y 6, respectivamente.

En la exploración de deficiencias nutritivas, se usó el

método Chaminade del elemento faltante, descrito por Schenkel y Baherle (16) , pero bajando las dosis de fertilizantes aplicados por maceta a un 75 %, dado que en el caso del frejol no se hacen cortes sucesivos.

Los tratamientos fueron los siguientes:

- 1.- Fertilización completa.
- 2.- Fertilización completa. (Sin inoculación).
- 3.- Testigo, sin fertilización.
- 4.- Sin fósforo.
- 5.- Sin potasio.
- 6.- Sin calcio.
- 7.- Sin magnesio.
- 8.- Sin azufre.
- 9.- Sin micronutrientes.
- 10.- Fertilización con fertilizantes comerciales.

Se usaron maceteros cónicos de plástico, de 16 cm de altura y 16 cm de diámetro superior (Plansa), con capacidad aproximada de 2 kg de suelo seco al aire. Los maceteros se llenaron hasta 2 cm bajo su borde superior.

Todos los tratamientos, excepto el No. 2, fueron sembrados con semilla de frejol inoculada con una mezcla de las mejores cepas seleccionadas en este Proyecto, con el fin de asegurar la presencia en el suelo de una población de rizobios efectiva. La comparación de los tratamientos Nos. 1 y 2 permite ver el comportamiento de la flora nativa de rizobio del suelo en relación a la inoculación con cepas seleccionadas.

Las sales usadas como fuente de nutrientes y la cantidad aplicada por maceta, se indican en la Tabla 7.

En el tratamiento No. 10 se aplicó una mezcla de los fertilizantes comerciales superfosfato triple y sulpomag (sulfato de potasio y magnesio), con dosis equivalentes en fósforo a la aplicada con la sal  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  y en potasio a la sal  $\text{K}_2\text{SO}_4$  usada en los otros tratamientos.

El suelo de cada maceta se mezcló cuidadosamente con las sales del tratamiento. El suelo se volvió al macetero, se aplicó, cuando correspondía, 20 ml de solución de micronutrientes y luego se mojó con agua desionizada.

Cada maceta se sembró con seis semillas de frejol cultivar Opalo, inoculadas, excepto las del tratamiento No. 2, con una suspensión en agua destilada de colonias cultivadas en placas de agar de las cepas seleccionadas por su efectividad, aplicando 1 ml de suspensión por semilla. Después de la emergencia, se raleó dejando 4 plantas por macetero.

En la base de los maceteros se colocó una caja de plástico de helado de 1 kg, con el fin de recolectar el agua de drenaje y así no perder nutrientes por percolación.

Los riegos se hicieron con la frecuencia necesaria para mantener un contenido adecuado de humedad, usando agua desionizada. Cada tratamiento se hizo en cuadruplicado. Dos macetas se cosecharon al momento de la floración y se determinó el peso seco de la planta, el número de nódulos y el peso seco nodular. A los otros dos maceteros se aplicó fertilización nitrogenada, a la forma de nitrato de amonio y en dosis de 0,287 g de nitrógeno por maceta, cosechándose al momento de la madurez fisiológica y determinándose la materia seca.

El contenido de nitrógeno de la parte aérea de las plantas cosechadas al momento de la floración se determinó por semimicro Kjeldahl (1) seguido por nesslerización directa (10).

TABLA 4. IDENTIFICACION DE LAS MUESTRAS DE SUELO. SERIES Y UBICACION.

MUESTRA	Serie de suelo	Ubicación
1	Arenales	Camino Santa Fé a Laja, a 3 km al N cruce Porvenir línea ferrea.
2	Lomerío	Camino Los Angeles a Santa Fé, a 3 km de Santa Fé.
3	Negrete	Camino Los Angeles a Santa Fé. Interior de Horti-Frut, a 2 km de la carretera.
4	Mañil	Fundo El Alazán, Universidad de Concepción, Chillán.
5	Mañil	Camino Chillán a Cato, Sector La Capilla.
6	Arrayán	Camino Zemita a Fundo El Palo, sector Chacay, Chillán.
7	Arrayán	Camino Los Angeles a Antuco, km 4, fundo El Huertón.
8	Arrayán	Camino Chillán a Yungay, fundo Las Perdices.
9	Collipulli	Ruta 5, a 5 km al sur del Salto del Laja.
10	Collipulli	Camino Chillán a Yungay, cruce El Coltón.
11	San Carlos	Camino Chillán a San Gregorio, altura estero Ñiquén.
12	San Carlos	Camino San Nicolás a Puyaral, km 5.
13	Coihueco	Camino Coihueco al tranque, km 2.
14	Bulnes	Camino antiguo Bulnes a Quillón, km 3.
15	Quella	Camino Chillán a Cato, sector Las Coles.

TABLA 5. TEXTURA DE LAS MUESTRAS DE SUELO.

MUESTRA	Serie de suelo	----- Arena	% Limo	----- Arcilla	Textura Sistema Internacional
1	Arenales	86,6	8,4	5,0	Arena
2	Lomerío	81,3	13,1	5,6	Franco arenosa
3	Negrete	42,5	34,5	23,0	Franco arcillosa
4	Mañil	52,3	29,9	17,8	Franco arcillosa
5	Mañil	70,4	17,3	12,3	Franco arenosa
6	Arrayán	44,7	35,4	19,9	Franco arcillosa
7	Arrayán	57,5	23,9	18,6	Franco arcillosa
8	Arrayán	54,1	26,6	19,3	Franco arcillosa
9	Collipulli	22,2	20,0	57,8	Arcilla densa
10	Collipulli	27,7	21,8	50,5	Arcilla densa
11	San Carlos	36,2	32,3	31,5	Arcilla poco densa
12	San Carlos	45,6	22,2	32,2	Arcilla poco densa
13	Coihueco	34,6	25,6	39,8	Arcilla poco densa
14	Bulnes	46,1	26,9	27,0	Arcilla poco densa
15	Quella	33,3	32,7	34,0	Arcilla poco densa

TABLA 6. CARACTERIZACION QUIMICA DE LAS MUESTRAS DE SUELO.

HUESTRA	Serie de suelo	pH H2O	Mat. Organ.	P		K	Ca	Mg	Na	CIC	Fe	Mn	Zn	Cu	Al interc.
				N-NO3	Olsen										
			%	ppm	meq/100 g					ppm					
1	Arenales	6,39	2,48	30	10,2	0,34	8,25	1,51	0,21	16,2	101	20	1,7	4,1	19,6
2	Lomerío	5,91	4,16	115	10,4	0,26	7,63	2,87	0,36	19,8	119	13	1,2	3,3	12,6
3	Negrete	6,22	6,71	65	25,4	0,65	6,09	1,51	0,48	31,6	210	42	2,8	5,0	5,0
4	Mañil	6,03	11,23	200	6,4	2,25	8,04	2,22	1,29	49,9	257	40	1,6	5,0	24,7
5	Mañil	6,51	5,52	12	11,7	0,61	7,13	1,97	0,44	21,7	42	12	1,2	1,5	3,5
6	Arrayán	6,33	13,50	45	12,0	0,33	5,31	1,85	0,47	53,9	65	14	1,3	2,3	15,9
7	Arrayán	6,70	10,03	33	11,7	0,61	4,63	2,10	1,67	49,5	125	37	1,8	3,7	14,6
8	Arrayán	6,45	11,15	17	30,5	1,84	8,98	1,88	1,46	47,0	79	36	2,2	1,8	10,6
9	Collipulli	5,87	2,80	20	9,2	0,49	7,33	4,62	0,41	31,2	145	500	2,2	7,1	8,8
10	Collipulli	6,36	3,40	16	19,7	0,48	4,50	2,87	0,32	29,7	189	7	2,3	7,5	9,4
11	San Carlos	6,12	2,88	82	25,2	0,66	6,90	2,87	0,30	28,1	234	495	3,0	5,9	8,4
12	San Carlos	6,46	4,80	18	9,7	1,42	5,00	2,50	0,83	31,6	338	410	3,4	6,7	10,1
13	Coihuenco	5,68	4,56	70	16,1	0,64	3,68	1,57	0,32	32,0	233	3	2,4	4,8	8,0
14	Bulnes	6,19	3,41	15	5,8	0,85	5,42	2,99	0,24	28,7	339	3	2,1	6,9	7,9
15	Quella	5,93	4,12	32	4,1	0,64	8,55	2,22	0,40	34,8	237	270	2,2	5,8	18,4

TABLA 7. CANTIDAD DE SALES APLICADAS POR MACETA DE SUELO.

NUTRIENTE	Sal	g / maceta
<b>Macronutrientes</b>		
Fósforo	Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> . H <sub>2</sub> O	2,18
	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> *	2,35
Potasio	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1,50
	KHCO <sub>3</sub> **	1,73
Calcio	CaCO <sub>3</sub>	0,83
Magnesio	MgCO <sub>3</sub> Mg(OH) <sub>2</sub>	0,41
Azufre	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (ya indicado)	
	CaSO <sub>4</sub> . 2H <sub>2</sub> O ***	1,50
<b>Micronutrientes</b>	<b>(gramos por litro, 20 ml por maceta)</b>	
Manganeso	MgSO <sub>4</sub> . H <sub>2</sub> O	1,800
Cobre	CuSO <sub>4</sub> . 5H <sub>2</sub> O	1,250
Molibdeno	Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> . 2H <sub>2</sub> O	0,137
Zinc	ZnSO <sub>4</sub> . 7H <sub>2</sub> O	1,055
Boro	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	0,800
Cobalto	CoCl <sub>2</sub> . 6H <sub>2</sub> O	0,135

\* En tratamientos sin calcio.

\*\* En tratamientos sin azufre.

\*\*\* En tratamientos sin potasio.

## ETAPA IV. ENSAYOS DE TERRENO.

### 1. Ubicación de los ensayos.

Se realizaron cinco ensayos de terreno, cuyas ubicaciones fueron las siguientes:

Ensayo 1: Estación Experimental de la Facultad de Ciencias Agronómicas, Veterinarias y Forestales (FACAVYF), Universidad de Concepción, Chillán.

Ensayo 2: Predio "Los Castaños", 14 km de San Gregorio, camino a Zemita.

Ensayo 3: Predio "Los Lirios" , 7 km de San Carlos, camino Tres Esquinas.

Ensayo 4: Predio "El Olivar" , 20 km de Chillán, camino a Pinto.

Ensayo 5: Predio "Sta. Clara", 3 km de Santa Clara.

Con el fin de facilitar los ensayos de terreno a nivel de predios de agricultores, se seleccionaron estos cuatro predios con la colaboración de la empresa Agrobest, de Chillán, que contrata siembras de frejoles, con la finalidad de exportar semillas. De esta manera, estos ensayos se ubicaron en un sector de potreros sembrados con frejol, usando la misma variedad que el agricultor.

Las características físicas y químicas de los suelos de los lugares de ensayo se entregan en las Tablas 8 y 9, respectivamente.

### 2. Tratamientos y diseño experimental

Los tratamientos empleados fueron elegidos teniendo en mente los siguientes objetivos:

- a) Ver el efecto de dosis crecientes de fertilización fosfatada solamente (superfosfato triple (SFT)).
- b) Ver el efecto de la aplicación simultánea de dosis crecientes de fertilización fósfatada (SFT) acompañada de fertilización potásica- magnésica , a la forma de sulfato (sulpomag (SPM)).
- c) Determinar el efecto del encalado del suelo.
- d) Comparar la respuesta del cultivo a la inoculación de la semilla con cepas (inoculante) efectivas de rizobios.

Para dar respuesta a estas interrogantes, se emplearon los siguientes tratamientos:

**a) De fertilización y encalado:**

(todos los tratamientos con inoculación de la semilla)

- 1 = Testigo, no fertilizado
- 2 = P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> \* , 100 kg/ha
- 3 = " , 200 "
- 4 = " , 400 "
- 5 = " , 200 " + cal\*\* agrícola aplicada al surco
- 6 = " , 100 " + sulpomag \*\*\*, 50 kg/ha
- 7 = " , 200 " + " , 100 "
- 8 = " , 400 " + " , 200 "
- 9 = " , 200 " + " , 100 " + cal agrícola aplicada al surco

- ( \* a la forma de superfosfato triple)
- ( \*\* carbonato de calcio)
- (\*\*\* sulfato de potasio y magnesio)

**b) De inoculación:**

( con fertilización igual al tratamiento 9)

- 10 = Sin inoculación de la semilla
- 11 = Con inoculación de la semilla

La primera dosis de fertilización fosfatada (100 kg/ha) corresponde, aproximadamente, a la dosis comunmente empleada en el cultivo del frejol, dosis que se duplicó y cuadruplicó en los otros tratamientos. Tanto el efecto del encalado como el de la inoculación se probó en tratamientos que recibieron una dosis

media de fertilización fosfatada, o fosfatada-sulpomag, (200 kg  $P_2O_5$ /ha, 200 kg  $P_2O_5$ /ha + 100 kg sulpomag/ha). En los tratamientos con encalado se usó una dosis de 200 kg/ha de carbonato de calcio aplicada al surco de siembra.

Se usó un diseño experimental de parcela dividida, con tres repeticiones, con tamaños de parcelas de 4,05 m x 3 m y subparcelas de 2,025 m x 3 m, sembradas con hileras distanciadas a 45 cm. Los tratamientos 1 al 9 se incluyeron en los mismos bloques (repetición) y los tratamientos 10 y 11 se colocaron en bloques aparte con el fin de evitar contaminaciones con el rhizobio del inoculante. Un esquema del diseño se muestra en la Figura 2.

En cada predio se usó el mismo cultivar de frejol sembrado por el agricultor, con el fin de evitar posibles cruzamientos y así no alterar la pureza genética del cultivar multiplicado. El ensayo realizado en la Estación Experimental de la Universidad, se empleó el cultivar Pinto 114, que es uno de los más sembrados en la zona. Los cultivares sembrados y las dosis de semilla fueron los siguientes:

<u>Predio</u>	<u>Cultivar</u>	<u>Dosis</u>
FACAVYF	Pinto 114	120 kg/ha
Los Castaños	Roma II	130 "
Los Lirios	Sunrae	100 "
El Olivar	Kentucky	115 "
Sta. Clara	Benton	105 "

### 3. Procedimiento y controles:

La siembra se hizo a mano. Después de abrir los surcos, se aplicó la fertilización correspondiente, mezclando el fertilizante con el suelo del fondo de ellos. La semilla de

frejol, pesada para cada largo de surco de parcela, se distribuyó homogéneamente y se procedió a taparla inmediatamente. La semilla de los tratamientos 1 a 9 y 11 fue inoculada, el mismo día de la siembra, con inoculante preparado con las cinco mejores cepas seleccionadas en las etapas anteriores de este proyecto. Al momento de la floración, se sacaron 6 plantas por subparcela (tratamiento) con el fin de determinar el número y peso seco de los nódulos y el peso seco de la parte aérea de las plantas. Además, se sacó una muestra foliar, del tercio medio de las plantas, de los tratamientos 1 a 9 para la determinación de su contenido nutricional. Con el fin de reducir el número de análisis foliares, dado su alto costo, se procedió a obtener una muestra compuesta de las tres repeticiones de cada tratamiento. Al momento de la madurez total, en cada subparcela se cosechó las tres hileras centrales en una longitud de 2 m (2,7 m<sup>2</sup>) y los rendimientos en grano se expresaron en quintales por hectárea.

Los datos experimentales se sometieron a análisis estadísticos de variancia, con diferencias entre medias según la prueba de Duncan, y correlación, según el caso, considerando diferencias significativas hasta un nivel de probabilidad del 10%.

Cuando fué necesario, la maleza fué controlada con limpias a mano. Los riegos fueron dados por el agricultor en forma simultánea con su cultivo.

A  
De fertilización y encalado

SFT 100	SFT 100 SPM 50	3 m
SFT 200	SFT 200 SPM 100	3 m
SFT 0	SFT 0 SPM 0	3 m
CAL SFT 200	CAL SFT 200 SPM 100	3 m
SFT 400	SFT 400 SPM 200	3 m
2,025 m	2,025 m	

B  
De inoculación

NO INOCULADO	INOCULADO	
SIN SEBRAR	SIN SEBRAR	
INOCULADO	NO INOCULADO	
SIN SEBRAR	SIN SEBRAR	
INOCULADO	NO INOCULADO	
2,025 m	2,025 m	

FIGURA 2. Diseño experimental. Ejemplo de una repetición (bloque) sorteada al azar. (A) Tratamientos de fertilización y de encalado. (B) Tratamientos de inoculación. En diseño B, las parcelas sin sembrar sirven para evitar, en parte, contaminación por rhizobios. Las 10 hileras de siembra, cinco por subparcela y a 45 cm de separación, van a lo largo de los bloques. Las dosis de SFT están dadas en kg  $P_2O_5$ /ha y las de SPM en kg de fertilizante/ha.

TABLA 8. TEXTURA DE LOS SUELOS DE LOS LUGARES DE ENSAYO.

ENSAYO	PREDIO	Textura Sistema U.S.D.A				Denominación	Constantes hídricas (BSS)		
		Arena	Limo	Arcilla	H.A.*		1/3 Atm	15 Atm	
1	FACAVYP	42,5	24,9	32,6	Arc. poco densa	26,6	46,3	19,7	
2	Los Castaños	42,3	29,2	28,5	Arc. poco densa	13,4	39,6	26,2	
3	Los Lirios	35,3	24,2	40,5	Arc. poco densa	12,7	34,6	21,9	
4	El Olivar	35,4	36,7	27,9	Arc. poco densa	40,8	71,7	30,9	
5	Sta. Clara	49,2	26,9	23,9	Franco arcilloso	18,3	34,1	15,8	

\* H.A. = Humedad aprovechable.

TABLA 9. CARACTERIZACION QUIMICA DE LOS SUELOS DE LOS LUGARES DE ENSAYO.

ENSAYO	PREDIO	pH	Mat.	P		K	Ca	Mg	Al		Fe	Mn	Zn	Cu
		H2O	Organ.	N-NO3	Olsen				Na	int.				
		%		ppm		meq/100 g				ppm				
1	FACAVYP	6,3	2,12	6	20,4	0,23	10,20	1,70	0,36	0,34	95	10	2,2	7,6
2	Los Castaños	6,7	3,40	40	64,4	0,35	9,90	2,60	0,92	0,52	743	405	15,4	12,2
3	Los Lirios	5,7	2,20	15	13,9	0,28	10,37	1,82	0,54	0,22	137	104	1,7	7,1
4	El Olivar	6,1	5,64	23	6,5	2,88	15,00	2,62	0,55	0,52	73	19	7,3	3,9
5	Sta. Clara	6,8	1,52	7	24,2	1,53	9,53	1,33	0,28	0,57	361	193	6,5	11,9

## RESULTADOS

### ETAPA I. PROSPECCION DE SIEMBRAS COMERCIALES.

En la Tabla 10 se suministran las propiedades texturales de los suelos, según el sistema internacional, sembrados con frejol y que fueron visitados durante la prospección. Se les identifica con un número correlativo (1 a 148) y con el nombre de la serie de suelos a que pertenecen. La serie de suelo a que pertenecía cada muestra se determinó haciendo uso de los Mosaicos de Series de Suelo del Proyecto Aerofotogramétrico OEA/CHILE/BID, 1979, (Fuente: IREN-CORFO).

La Tabla 11 resume todas las mediciones del estado de nodulación y del peso seco aéreo y radicular que se hicieron a las plantas de frejol recolectadas en el terreno. La indicación "nodulación negativa" significa que las plantas de dicha muestra carecían de nódulos al examen visual. Además se señala la cepa de Rhizobium leguminosarum biovar phaseoli, con su clave de cepario, que fué aislada de cada muestra, cuando ello fue posible.

Los contenidos nutricionales de macro y micronutrientes en las 148 muestras foliares de frejol se entregan en la Tabla 12, expresados los contenidos en porcentaje (%) del elemento atómico respectivo, o bien en partes por millón (ppm).

Finalmente, en la Tabla 13 se incluyen los resultados del análisis químico de las 148 muestras de suelo. La materia orgán-

ica se expresa en porcentaje, el nitrógeno nítrico, fósforo, hierro, manganeso, zinc y cobre en partes por millón, y los cationes potasio, calcio y magnesio en miliequivalentes por 100 g de suelo (meq/100 g).

TABLA 10. CLASIFICACION, EN SERIES, Y TEXTURA DE LAS MUESTRAS DE SUELO TOMADAS EN LOS 148 LUGARES DE MUESTREO DE SIEMBRAS DE FREJOL.

MUESTRA	Serie de Suelo	Textura Sistema Internacional				Categoría
		Arena	Limo	Arcilla		
		----- % -----				
1	San Carlos	40,7	27,7	31,6		Arcilla poco densa
2	San Carlos	41,6	26,7	31,7		Arcilla poco densa
3	San Carlos	49,7	19,7	30,6		Arcilla poco densa
4	San Carlos	43,1	22,9	34,0		Arcilla poco densa
5	San Carlos	40,9	25,1	34,0		Arcilla poco densa
6	San Carlos	34,5	29,3	36,2		Arcilla poco densa
7	Quella	34,7	27,0	38,3		Arcilla poco densa
8	Quella	25,7	28,7	45,6		Arcilla densa
9	Quella	33,1	26,1	40,8		Arcilla poco densa
10	San Carlos	45,3	25,1	29,6		Arcilla poco densa
11	Chacay	38,1	34,9	27,0		Arcilla poco densa
12	Linares	18,7	36,4	44,9		Arcilla densa
13	Unicavén - Quella	37,4	36,4	26,2		Arcilla poco densa
14	Linares	33,7	28,9	37,4		Arcilla poco densa
15	Perquilauquén	56,9	22,4	20,7		Franco arcilloso
16	Chacay	32,4	37,3	30,3		Arcilla poco densa
17	Chacay	33,1	20,5	46,4		Arcilla densa
18	Chacay	25,3	27,0	47,7		Arcilla densa
19	Arrayán	35,4	31,3	33,3		Arcilla poco densa
20	Arrayán - Mirador	34,5	27,1	38,4		Arcilla poco densa
21	Arrayán	42,3	29,5	28,2		Arcilla poco densa
22	Arrayán	37,5	32,9	29,6		Arcilla poco densa
23	Arrayán	36,2	34,6	29,2		Arcilla poco densa
24	San Carlos	51,4	26,9	21,7		Franco arcilloso
25	Arrayán	54,2	27,7	18,1		Franco arcilloso
26	Mañil	55,5	20,7	23,8		Franco arcilloso
27	Mañil	60,6	12,9	26,5		Arcillo arenoso
28	Arrayán	49,4	30,2	20,4		Franco arcilloso
29	Arrayán	39,9	34,0	26,1		Arcilla poco densa
30	Arrayán	48,4	29,7	21,9		Franco arcilloso
31	Arrayán - Mirador	25,0	35,3	39,7		Arcilla poco densa
32	Arrayán	42,6	29,7	27,7		Arcilla poco densa
33	Mañil	35,4	25,0	39,6		Arcilla poco densa
34	Mañil	39,5	32,6	27,9		Arcilla poco densa
35	Mañil	46,1	32,5	21,4		Franco arcilloso
36	Quella	39,7	31,3	29,0		Arcilla poco densa
37	Arrayán	41,1	30,6	28,3		Arcilla poco densa
38	Arrayán	33,6	38,1	28,3		Arcilla poco densa
39	Arrayán	52,8	26,0	21,2		Franco arcilloso
40	Santa Bárbara	48,6	31,6	19,8		Franco arcilloso
41	Santa Bárbara	41,3	32,7	26,0		Arcilla poco densa
42	Santa Bárbara	38,5	39,7	21,8		Franco arcilloso
43	Sta. Bárbara - Mirador	24,6	29,4	46,0		Arcilla densa

TABLA 10. Continuación.

MUESTRA	Serie de Suelo	Textura Sistema Internacional			Categoría
		Arena	Limo	Arcilla	
----- & -----					
44	Arrayán	35,2	40,4	24,4	Franco arcilloso
45	Arrayán	41,9	35,2	22,9	Franco arcilloso
46	Aluvial reciente	46,0	35,5	18,5	Franco arcilloso
47	Arrayán	36,9	32,5	30,6	Arcilla poco densa
48	Santa Bárbara	36,9	36,9	26,2	Arcilla poco densa
49	Arrayán	33,9	29,9	36,2	Arcilla poco densa
50	Collipulli	26,8	27,3	45,9	Arcilla densa
51	Bulnes	37,7	37,1	25,2	Franco arcilloso
52	Aluvial reciente	49,1	33,1	17,8	Franco arcilloso
53	Bulnes	31,8	28,8	39,4	Arcilla poco densa
54	Mañil	51,3	32,0	16,7	Franco arcilloso
55	Aluvial reciente	60,3	25,7	14,0	Franco
56	Arrayán	48,6	30,0	21,4	Franco arcilloso
57	Bulnes	44,3	27,1	28,6	Arcilla poco densa
58	Bulnes	39,9	29,3	30,8	Arcilla poco densa
59	Bulnes	32,8	36,0	31,2	Arcilla poco densa
60	Bulnes	45,8	23,2	31,0	Arcilla poco densa
61	Arrayán	50,9	28,0	21,1	Franco arcilloso
62	Bulnes	42,8	34,0	23,2	Franco arcilloso
63	San Carlos	38,2	26,9	34,9	Arcilla poco densa
64	San Carlos	43,2	23,8	33,0	Arcilla poco densa
65	San Carlos	37,1	23,7	39,2	Arcilla poco densa
66	San Carlos	40,7	25,6	33,7	Arcilla poco densa
67	San Carlos	32,0	26,8	41,2	Arcilla poco densa
68	Corontas	60,8	17,2	22,0	Franco arcillo arenoso
69	Cauquenes	48,1	25,6	26,3	Arcilla poco densa
70	Cauquenes	63,8	19,2	17,0	Franco arcillo arenoso
71	Cauquenes	59,5	22,4	18,1	Franco arcilloso
72	Aluvial reciente	48,0	28,7	23,3	Franco arcilloso
73	Aluvial reciente	52,0	24,3	23,7	Franco arcilloso
74	Arenal	87,2	9,7	3,1	Arena
75	Arenal	78,9	9,8	11,3	Franco arenoso
76	Arenal	67,8	22,0	10,2	Franco arenoso
77	Arenal	61,8	30,1	8,1	Franco
78	Santa Teresa	95,2	3,8	1,0	Arena
79	Santa Teresa	81,1	10,8	8,1	Franco arenoso
80	Santa Teresa	97,2	1,8	1,0	Arena
81	Santa Teresa	70,6	15,4	14,0	Franco arenoso
82	Santa Teresa	78,0	12,2	9,8	Franco arenoso
83	Arrayán - Mirador	28,5	26,5	45,0	Arcilla densa
84	Arrayán	44,1	35,2	20,7	Franco arcilloso
85	Arrayán	47,7	29,7	22,6	Franco arcilloso
86	Arrayán	48,1	30,5	21,4	Franco arcilloso
87	Arrayán	56,1	28,8	15,1	Franco

TABLA 10. Continuación.

MUESTRA	Serie de Suelo	Textura Sistema Internacional			Categoría
		Arena	Limo	Arcilla	
		----- % -----			
88	Humán	86,1	10,2	3,7	Arena
89	Mirador	32,8	26,3	40,9	Arcilla poco densa
90	Arrayán	38,5	33,0	28,5	Arcilla poco densa
91	Negrete	87,0	8,6	4,4	Arena
92	Negrete	82,9	12,2	4,9	Franco arenoso
93	Lomerío	90,2	7,0	2,8	Arena
94	Lomerío	86,7	9,3	4,0	Arena
95	Lomerío	97,3	1,9	0,8	Arena
96	Lomerío	98,3	1,4	0,3	Arena
97	Lomerío	91,8	4,3	3,9	Arena
98	Lomerío	80,5	11,9	7,6	Franco arenoso
99	Lomerío	53,8	34,7	11,5	Franco
100	Negrete	51,8	35,6	12,6	Franco
101	Negrete	50,0	36,1	13,9	Franco
102	Negrete	34,0	31,2	34,8	Arcilla poco densa
103	Aluvial reciente	64,2	22,4	13,4	Franco
104	Collipulli	31,9	29,7	38,4	Arcilla poco densa
105	Collipulli	34,1	22,6	43,3	Arcilla poco densa
106	Collipulli	23,0	22,8	54,2	Arcilla densa
107	Collipulli	28,2	28,6	43,2	Arcilla poco densa
108	Collipulli	17,3	26,6	56,1	Arcilla densa
109	Collipulli	22,5	28,8	48,7	Arcilla densa
110	Collipulli	31,4	28,9	39,7	Arcilla poco densa
111	Collipulli	28,8	31,0	40,2	Arcilla poco densa
112	Collipulli	22,3	27,4	50,3	Arcilla densa
113	Collipulli	26,4	30,2	43,4	Arcilla poco densa
114	Collipulli	29,1	26,8	44,1	Arcilla poco densa
115	Coihueco	48,4	36,1	15,5	Franco
116	Coihueco	37,4	36,4	26,2	Arcilla poco densa
117	Dunas - Humán	74,2	17,8	8,0	Franco arenoso
118	Dunas - Humán	82,6	11,5	5,9	Franco arenoso
119	Dunas - Humán	37,9	31,7	30,4	Arcilla poco densa
120	San Carlos	49,1	21,9	29,0	Arcilla poco densa
121	Bulnes	41,9	32,4	25,7	Arcilla poco densa
122	Mirador	37,2	25,2	37,6	Arcilla poco densa
123	Mirador	36,4	26,6	37,0	Arcilla poco densa
124	Mirador	44,1	25,9	30,0	Arcilla poco densa
125	Mirador	57,9	25,8	16,3	Franco arcilloso
126	Mirador	49,8	27,3	22,9	Franco arcilloso
127	Arrayán	41,0	25,2	33,8	Arcilla poco densa
128	Arrayán	36,5	27,8	35,7	Arcilla poco densa
129	San Carlos	38,8	25,6	35,6	Arcilla poco densa
130	Lomerío	70,7	18,2	11,1	Franco arenoso
131	Arenales	95,3	3,0	1,7	Arena
132	Arenales	95,2	2,0	2,8	Arena

TABLA 10. Continuación.

MUESTRA	Serie de Suelo	Textura Sistema Internacional			Categoría
		Arena	Limo	Arcilla	
		----- % -----			
133	Santa Teresa	91,7	4,9	3,4	Arena
134	Arenales	94,2	3,5	2,3	Arena
135	Santa Teresa	92,1	5,0	2,9	Arena
136	Humán - Collipulli	77,0	14,6	8,4	Franco arenoso
137	Collipulli	54,9	21,3	23,8	Franco arcilloso
138	Collipulli	54,2	21,7	24,1	Franco arcilloso
139	Mañil	38,0	28,7	33,3	Arcilla poco densa
140	Mañil	58,3	24,0	17,7	Franco arcilloso
141	Mañil	39,1	27,6	33,3	Arcilla poco densa
142	Mañil	64,2	22,7	13,1	Franco
143	Mañil	50,6	30,6	18,8	Franco arcilloso
144	Mañil	51,0	31,0	18,0	Franco arcilloso
145	No identificado	40,3	35,9	23,8	Franco arcilloso
146	Mañil	39,6	36,9	23,5	Franco arcilloso
147	Mañil	42,2	37,7	20,1	Franco arcilloso
148	Mañil	46,4	34,5	19,1	Franco arcilloso

TABLA 11. NODULACION DE PLANTAS DE FREJOL RECOLECTADAS DURANTE LA FLORACION EN 148 SIEMBRAS UBICADAS EN LA VIII REGION. DATOS POR PLANTA.

MUESTRA	NODULACION					PESO SECO		Cepa rizobio aislada
	Ubicación		Número	Tamaño mm	P.seco mg	Aéreo g	Raiz g	
	Cuello	R.sec.						
FIA- 1		+	7,5	1,1-4,3	13,5	4,87	0,51	
2		negativa				5,79	0,48	
3		+	0,5	2,1-6,6	6,3	0,92	0,15	
4		negativa				2,62	0,38	
5		+	11,0	0,6-1,9	3,3	5,95	0,60	
6		+	3,2	0,7-2,6	0,5	4,70	0,59	
7		+	1,5	0,5-1,5	0,3	1,65	0,18	
8		+	19,5	0,8-3,0	9,7	0,74	0,14	UCD-1008
9		negativa				2,72	0,27	
10		+	3,8	1,0-2,3	2,3	1,45	0,16	UCD-1010
11		+	24,7	0,5-3,5	16,1	1,71	0,27	UCD-1011
12		+	2,0	1,0-2,0	0,5	1,26	0,14	
13		+	1,3	0,6-3,0	1,7	2,19	0,25	UCD-1013
14	+	+	67,2	0,6-4,2	79,4	8,59	0,95	UCD-1014
15		+	7,7	1,0-5,0	10,5	5,12	0,46	UCD-1015
16		+	15,5	0,5-3,0	9,9	2,88	0,30	UCD-1016
17	+	+	24,5	0,6-2,0	7,7	1,34	0,09	
18		+	5,2	1,3-2,6	3,3	5,03	0,41	
19		+	9,0	1,5-5,0	17,7	3,13	0,49	UCD-1019
20		+	11,5	1,2-3,8	13,7	2,37	0,40	UCD-1020
21	+	+	7,0	2,0-6,0	52,7	2,70	0,45	UCD-1021
22		+	5,2	1,0-4,8	2,7	4,00	0,55	UCD-1022
23		+	2,2	2,0-4,0	3,6	3,77	0,52	UCD-1023
24	+	+	38,8	1,0-4,6	39,5	2,31	0,21	UCD-1024
25		+	8,7	0,7-1,8	2,0	7,39	0,60	
26		+	12,8	0,7-5,5	20,3	1,86	0,23	UCD-1026
27		+	12,7	0,8-3,4	9,0	4,59	0,68	UCD-1027
28		negativa				5,19	0,63	
29		+	0,5	2,0-3,1	0,7	2,55	0,27	
30		+	0,7	1,1-1,5	0,2	4,62	0,44	
31		+	4,5	1,2-5,4	4,5	4,41	0,48	UCD-1031
32		+	3,5	0,8-2,3	1,0	3,87	0,36	UCD-1032
33	+	+	13,0	1,5-6,2	36,5	14,58	1,08	UCD-1033
34		+	5,3	0,9-2,0	1,8	1,30	0,27	UCD-1034
35		+	6,0	0,8-1,8	1,1	2,18	0,46	UCD-1035
36		+	8,5	1,3-3,2	12,3	3,27	0,36	UCD-1036
37	+	+	4,7	2,0-7,1	26,6	8,35	0,55	
38		+	13,0	1,0-5,1	20,7	5,97	0,66	UCD-1038
39		+	42,3	0,6-5,4	54,0	5,64	0,77	UCD-1039
40	+	+	9,2	1,3-5,1	43,3	2,52	0,29	UCD-1040

TABLA 11. Continuación.

MUESTRA	NODULACION					PESO SECO		Cepa rizobio aislada
	Ubicación		Número	Tamaño mm	P.seco mg	Aéreo g	Raíz g	
	Cuello	R.sec.						
41		+	0,2	1.0-	ND	4,97	0,54	
42		negativa				6,23	0,53	
43		+	1,5	1,4-2,8	2,0	2,27	0,39	UCD-1043
44		negativa				2,30	0,37	
45		+	17,0	0,8-1,6	3,0	3,54	0,35	UCD-1045
46		+	55,2	0,7-5,5	106,5	2,87	0,34	UCD-1046
47		+	11,2	1,3-5,0	23,1	1,36	0,26	UCD-1047
48		+	2,8	1,4-5,3	15,2	3,15	0,32	
49		+	29,2	1,0-5,1	71,9	6,67	0,53	UCD-1049
50		+	8,8	0,6-2,5	2,1	0,52	0,18	
51		+	7,8	0,9-3,3	11,7	8,63	0,75	UCD-1051
52		+	8,5	0,7-2,6	4,4	1,40	0,23	
53		+	19,8	1,1-4,7	44,9	12,01	0,86	UCD-1053
54		negativa				9,05	0,67	
55		+	0,3	0,8-1,2	0,1	2,36	0,46	
56		+	1,5	0,7-1,3	0,5	6,38	0,56	
57		+	1,0	0,9-1,1	0,3	3,09	0,51	UCD-1057
58		+	2,3	0,5-1,2	0,7	3,33	0,26	
59		negativa				9,11	0,90	
60		+	8,5	1,3-4,0	20,8	2,60	0,33	
61		+	1,2	1,0-2,1	0,9	3,74	0,43	
62		+	7,8	1,2-5,1	33,2	10,10	0,86	UCD-1062
63		+	0,3	0,8-1,6	0,3	2,43	0,37	UCD-1063
64		negativa				11,14	1,04	
65		negativa				6,49	0,61	
66		+	3,2	0,6-1,2	0,8	3,11	0,32	UCD-1066
67		+	20,0	0,4-2,3	14,8	10,71	1,26	
68		+	3,8	1,1-4,3	13,7	6,44	0,66	
69		+	2,0	1,0-3,5	3,3	7,29	0,71	
70		+	18,5	0,6-2,4	19,7	13,91	0,98	UCD-1070
71		+	0,7	0,6-0,9	0,1	12,53	0,62	UCD-1071
72		+	3,3	0,8-2,7	3,4	2,72	0,40	UCD-1072
73		+	44,8	0,6-3,6	43,3	1,95	0,29	UCD-1073
74		+	22,7	0,7-1,9	8,6	1,82	0,34	UCD-1074
75		+	1,3	0,8-1,9	0,9	1,45	0,13	UCD-1075
76		+	21,8	0,5-4,5	33,4	2,82	0,53	
77		+	12,2	0,7-5,4	30,8	10,03	0,77	UCD-1077
78		+	17,7	0,4-1,6	3,7	3,25	0,46	UCD-1078
79		+	14,5	1,2-4,2	46,9	1,51	0,25	UCD-1079
80		+	163,0	1,2-9,0	452,7	5,73	0,84	UCD-1080
81		+	20,2	0,7-2,3	12,5	2,10	0,16	UCD-1081
82		+	0,2	1,3-	0,1	2,79	0,59	UCD-1082
83		negativa				6,55	0,70	
84		+	7,8	0,4-3,9	18,8	7,92	0,80	

TABLA 11. Continuación.

MUESTRA	MODULACION				PESO SECO		Cepa rizobio aislada	
	Ubicación		Número	Tamaño ■ ■	P.seco mg	Aéreo g		Raiz g
	Cuello	R.sec.						
FIA- 85		+	19,2	0,7-3,9	25,3	1,79	0,42	UCD-1085
86		+	4,7	0,9-2,8	4,8	0,78	0,20	UCD-1086
87		+	2,2	0,8-3,6	4,3	9,74	0,80	
88		+	3,0	0,9-2,7	4,5	4,58	0,50	UCD-1088
89	+	+	13,8	0,8-4,0	33,9	1,33	0,12	UCD-1089
90		+	1,8	1,5-2,7	2,9	4,58	0,52	UCD-1090
91		+	5,7	0,6-2,1	3,6	2,21	0,32	UCD-1091
92		+	0,3	1,4-1,9	0,6	1,05	0,12	
93		+	7,8	0,7-3,3	13,9	10,33	0,78	UCD-1093
94		+	6,5	0,5-1,1	1,9	3,74	0,47	UCD-1094
95	n e g a t i v a					4,19	0,62	
96		+	1,7	1,3-2,9	4,0	1,47	0,25	UCD-1096
97	+	+	18,2	1,1-3,2	31,0	21,43	1,51	
98		+	29,0	0,7-3,7	18,2	2,91	0,55	UCD-1140
99		+	3,2	0,4-1,6	0,6	1,01	0,15	UCD-1141
100		+	15,2	0,5-4,6	26,9	10,17	0,84	
101		+	8,5	0,9-2,8	12,9	7,44	0,93	UCD-1101
102	+	+	4,8	0,7-3,4	8,8	1,97	0,23	UCD-1102
103		+	2,2	1,0-4,1	4,7	5,94	0,95	UCD-1103
104		+	1,5	1,3-3,1	2,0	6,06	0,72	UCD-1104
105	n e g a t i v a					6,03	0,81	
106		+	4,8	0,6-2,2	1,5	5,87	0,81	UCD-1142
107		+	6,0	0,8-2,3	1,8	2,21	0,27	UCD-1107
108		+	2,5	0,6-2,7	1,3	2,04	0,36	UCD-1108
109		+	7,2	0,7-2,1	1,9	3,86	0,61	UCD-1109
110		+	16,5	0,6-2,6	7,8	1,06	0,22	UCD-1110
111		+	9,0	0,7-3,6	8,4	3,11	0,40	UCD-1111
112		+	2,0	0,5-1,0	0,4	2,14	0,33	UCD-1112
113		+	2,7	0,6-2,7	1,5	3,78	0,45	UCD-1113
114	n e g a t i v a					2,85	0,39	
115		+	16,3	0,8-5,6	25,7	3,40	0,57	
116		+	13,2	0,9-5,1	29,2	7,19	0,68	UCD-1144
117		+	13,8	1,1-3,4	12,7	12,18	1,07	UCD-1117
118	+	+	52,8	0,7-5,2	66,5	16,33	1,24	UCD-1118
119		+	5,7	1,0-5,4	12,6	4,48	0,57	UCD-1119
120		+	48,0	0,5-3,3	23,2	5,36	0,57	UCD-1120
121	n e g a t i v a					6,75	0,59	
122	n e g a t i v a					2,59	0,32	
123		+	0,5	0,4-1,2	0,1	2,76	0,32	UCD-1121
124		+	1,2	0,6-0,8	0,2	6,47	0,75	UCD-1122
125		+	1,5	0,5-1,4	0,6	4,73	0,46	UCD-1123
126		+	11,8	0,6-3,2	6,6	4,24	0,39	UCD-1124
127		+	13,8	0,5-3,5	11,2	1,51	0,22	UCD-1125

TABLA 11. Continuación.

MUESTRA	NODULACION					PESO SECO		Cepa rizobio aislada
	Ubicación		Número	Tamaño mm	P.seco mg	Aéreo g	Raiz g	
	Cuello	R.sec.						
FIA-128	n e g a t i v a					6,39	0,54	
129		+	5,8	0,7-2,7	3,7	1,73	0,28	UCD-1126
130		+	6,7	0,6-2,2	3,2	2,31	0,33	UCD-1127
131	+	+	16,8	0,5-3,8	6,1	1,50	0,19	UCD-1128
132	+	+	20,2	0,6-3,3	22,8	3,83	0,36	UCD-1129
133		+	21,8	0,8-3,5	21,3	4,58	0,64	UCD-1130
134		+	9,5	0,6-3,7	7,6	3,90	0,38	UCD-1131
135		+	31,8	0,4-3,6	21,0	3,93	0,53	UCD-1132
136		+	8,8	0,6-3,5	4,7	6,14	0,56	UCD-1133
137		+	11,0	0,5-2,6	4,2	4,30	0,45	UCD-1134
138	n e g a t i v a					2,98	0,44	
139	n e g a t i v a					3,34	0,35	
140	n e g a t i v a					10,38	0,59	
141		+	2,7	0,7-3,6	2,7	6,50	0,32	UCD-1135
142		+	7,5	0,9-6,5	13,3	8,34	0,84	UCD-1136
143	n e g a t i v a					3,89	0,30	
144		+	8,8	0,8-5,1	14,9	4,76	0,72	UCD-1137
145		+	5,0	1,0-2,9	2,7	2,35	0,41	UCD-1138
146	n e g a t i v a					5,17	0,51	
147	n e g a t i v a					5,24	0,55	
148		+	2,5	2,1-4,4	7,6	7,02	0,75	UCD-1139

TABLA 12. CONTENIDO DE MACRO Y MICRONUTRIENTES DE 148 MUESTRAS FOLIARES RECOLECTADAS EN SIEMBRAS DE FREJOL, DURANTE LA FLORACION.

MUESTRA	N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Zn	Cu
	%					ppm				
1	4,04	0,33	2,26	1,92	0,49	33,2	361	105,8	31,1	12
2	4,90	0,41	2,44	2,14	0,59	36,2	242	87,9	38,8	16
3	3,57	0,35	1,45	2,08	0,67	42,8	167	59,9	44,1	18
4	4,63	0,33	1,75	2,68	0,67	36,3	377	107,9	35,2	16
5	3,60	0,33	1,78	2,44	0,70	36,3	194	97,8	39,1	14
6	4,58	0,30	1,19	3,18	0,82	29,8	355	163,7	36,7	14
7	4,17	0,19	1,85	2,48	0,62	36,4	298	133,8	37,2	18
8	4,74	0,30	1,62	2,41	0,64	26,4	237	71,8	37,3	16
9	4,46	0,36	1,89	2,63	0,73	33,2	180	109,8	34,3	16
10	3,83	0,31	1,33	2,25	0,77	23,2	308	111,9	39,8	20
11	4,11	0,34	1,92	2,28	0,50	33,1	172	73,9	30,2	14
12	4,28	0,30	1,79	2,79	0,75	26,6	256	81,9	35,7	14
13	3,82	0,33	2,03	2,30	0,56	26,6	250	137,7	30,5	12
14	3,23	0,32	2,19	1,63	0,31	29,9	172	55,8	22,3	8
15	3,15	0,32	1,69	2,18	0,57	33,1	380	127,9	28,4	12
16	4,27	0,30	2,02	2,48	0,62	23,2	164	74,0	26,8	14
17	4,56	0,27	2,28	1,88	0,60	29,7	220	83,9	28,2	10
18	3,93	0,28	2,19	2,35	0,65	26,5	449	237,7	45,0	16
19	3,50	0,17	2,08	1,81	0,38	26,4	342	41,9	19,8	10
20	2,92	0,18	2,05	1,72	0,36	33,0	205	77,8	19,6	12
21	2,56	0,15	1,56	1,82	0,34	33,2	172	41,9	15,4	8
22	4,04	0,21	1,88	2,08	0,51	33,0	328	48,0	23,0	10
23	3,88	0,15	2,16	1,99	0,43	29,9	156	34,0	26,8	10
24	4,54	0,43	2,40	1,53	0,49	36,7	236	101,9	42,4	20
25	4,41	0,32	0,86	2,14	0,75	33,0	200	32,0	26,6	14
26	4,71	0,34	2,19	2,06	0,57	29,8	193	55,8	32,3	16
27	3,73	0,16	1,79	3,67	0,54	33,1	329	55,9	33,4	8
28	5,13	0,32	2,73	2,34	0,42	32,9	292	51,9	32,9	14
29	3,91	0,42	2,38	1,42	0,39	26,4	326	63,9	33,0	20
30	4,90	0,31	2,75	1,86	0,33	26,5	174	57,9	34,4	12
31	3,79	0,32	2,23	2,00	0,51	29,9	382	151,9	41,2	16
32	4,30	0,17	2,64	1,85	0,31	29,7	295	51,9	22,2	8
33	3,20	0,17	2,05	2,15	0,44	29,7	412	99,9	29,0	10
34	4,93	0,33	2,35	1,66	0,47	26,5	210	51,9	33,4	16
35	3,54	0,15	2,14	2,07	0,45	19,7	242	82,0	27,2	10
36	2,14	0,16	1,49	2,35	0,49	26,4	166	75,8	29,9	14
37	2,60	0,13	1,59	2,39	0,39	33,2	102	71,9	14,6	8
38	4,29	0,21	2,08	2,15	0,49	26,4	118	44,0	35,0	10
39	3,74	0,27	2,05	1,36	0,31	26,5	152	39,9	26,3	8
40	3,85	0,15	1,95	1,76	0,38	33,1	212	63,9	30,0	14
41	3,13	0,16	2,45	1,35	0,23	39,7	124	43,9	29,2	8
42	3,68	0,14	1,80	2,13	0,32	36,6	228	84,0	30,4	6
43	4,82	0,20	2,24	1,55	0,36	36,3	170	153,7	34,7	12

TABLA 12. Continuación.

MUESTRA	N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Zn	Cu
----- % -----						----- ppm -----				
44	3,60	0,24	2,39	1,96	0,41	26,5	140	65,8	23,7	12
45	4,18	0,13	1,32	2,71	0,56	26,4	160	62,0	22,4	8
46	3,39	0,21	1,52	1,32	0,34	26,4	186	61,9	20,2	8
47	3,64	0,25	2,30	1,46	0,38	26,6	170	60,0	26,8	10
48	2,85	0,16	1,91	1,98	0,34	29,7	194	59,9	18,6	8
49	1,96	0,15	1,69	1,29	0,26	33,1	419	60,0	13,6	8
50	3,51	0,11	1,99	1,65	0,35	39,7	298	118,0	28,2	10
51	2,93	0,14	1,94	2,37	0,42	33,0	166	14,0	19,8	8
52	4,31	0,22	2,48	1,69	0,38	29,7	156	33,9	27,4	8
53	2,93	0,16	1,86	1,83	0,31	33,2	146	56,0	17,4	8
54	4,18	0,18	2,03	1,79	0,49	39,8	118	36,0	32,8	10
55	3,34	0,13	2,15	1,36	0,30	33,1	144	26,0	20,6	8
56	4,61	0,24	2,54	1,45	0,38	66,1	174	39,9	53,9	14
57	4,07	0,16	1,95	2,25	0,60	109,3	158	77,9	66,3	20
58	4,40	0,19	2,29	2,22	0,52	49,7	120	45,9	44,9	14
59	4,72	0,22	2,29	2,16	0,60	43,1	158	68,0	39,6	16
60	3,88	0,20	2,16	1,16	0,35	76,5	164	62,0	26,4	14
61	3,33	0,16	1,97	1,88	0,48	108,6	168	45,9	30,8	10
62	2,53	0,08	1,50	2,39	0,39	86,4	196	48,0	23,8	10
63	4,03	0,23	1,78	2,21	0,78	72,7	209	47,9	46,8	22
64	5,02	0,31	2,89	2,29	0,73	76,3	214	93,9	37,4	22
65	5,10	0,27	2,59	2,69	0,65	66,4	192	151,7	45,9	20
66	3,91	0,17	1,52	2,58	0,82	64,0	214	56,0	55,4	20
67	4,31	0,20	2,25	1,98	0,55	69,4	230	89,9	41,5	16
68	3,06	0,17	1,30	3,13	0,64	76,6	256	167,9	32,0	14
69	3,14	0,17	1,35	2,38	0,66	36,3	331	149,7	39,3	14
70	2,94	0,15	1,46	2,73	0,54	56,5	160	69,9	22,0	10
71	3,64	0,17	1,62	2,58	0,68	62,8	126	49,9	43,3	16
72	2,03	0,07	0,73	3,36	0,87	60,0	280	95,8	30,4	10
73	3,80	0,24	2,40	1,53	0,50	86,5	232	60,0	32,0	14
74	4,30	0,23	2,21	1,48	0,95	267,0	152	66,0	31,4	14
75	4,40	0,25	2,62	1,03	1,13	109,4	148	34,0	20,6	12
76	3,53	0,18	1,75	1,59	0,56	69,4	222	73,9	31,0	10
77	2,99	0,14	2,13	2,36	0,46	63,2	166	46,0	24,4	8
78	4,30	0,17	2,31	1,38	0,88	75,8	184	41,9	32,9	14
79	3,61	0,22	2,23	1,06	0,66	69,8	162	37,9	31,8	12
80	3,20	0,18	1,89	0,96	0,50	76,3	250	38,0	16,6	8
81	4,37	0,22	2,21	1,58	0,92	62,7	180	75,9	28,2	14
82	2,49	0,12	1,59	1,16	0,39	69,5	142	55,9	18,8	8
83	5,07	0,22	2,28	1,79	0,71	69,5	234	56,0	50,0	20
84	4,42	0,25	2,13	1,76	0,62	79,9	236	37,9	41,7	16
85	4,69	0,18	2,54	1,52	0,48	92,2	234	43,9	37,5	12
86	4,52	0,17	2,59	1,83	0,44	43,2	214	28,0	53,2	14
87	4,41	0,20	2,42	2,02	0,42	86,2	369	37,9	46,9	12

TABLA 12. Continuación.

MUESTRA	N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Zn	Cu
	%					ppm				
88	3,53	0,10	2,32	1,75	0,46	72,8	212	32,0	33,4	10
89	5,01	0,26	2,35	1,69	0,58	53,0	325	127,6	37,9	18
90	5,05	0,24	2,59	1,69	0,51	69,8	393	59,9	49,5	16
91	4,28	0,22	1,82	1,56	0,93	92,7	224	42,0	37,6	14
92	5,23	0,31	2,26	1,26	1,02	96,3	355	67,9	36,7	20
93	3,12	0,13	1,70	1,86	0,50	76,5	244	40,0	30,2	10
94	4,84	0,29	2,19	1,79	1,19	109,5	292	50,0	17,8	18
95	2,85	0,07	1,55	2,18	0,92	102,3	243	39,9	14,6	8
96	4,65	0,25	2,22	0,79	0,68	66,1	300	52,0	42,8	18
97	3,40	0,17	1,86	1,92	0,49	63,0	182	32,0	26,4	10
98	4,48	0,20	2,36	1,60	0,50	79,8	198	38,0	62,8	14
99	5,18	0,24	2,85	1,66	0,62	115,9	457	31,9	34,3	20
100	4,10	0,23	2,32	1,39	0,39	53,1	158	36,0	53,2	14
101	2,95	0,15	1,95	1,82	0,37	79,4	190	26,0	20,2	10
102	3,17	0,20	1,58	1,91	0,63	49,5	180	34,0	41,2	14
103	4,16	0,23	1,53	1,96	0,66	53,1	259	37,9	40,9	12
104	3,29	0,09	2,01	2,28	0,44	39,6	172	69,9	29,4	10
105	2,82	0,17	1,56	2,49	0,64	56,4	230	179,7	41,1	14
106	4,70	0,19	1,55	2,51	0,78	42,9	286	92,0	39,6	12
107	3,56	0,09	2,05	2,85	0,55	46,4	229	79,8	31,5	8
108	2,07	0,08	1,03	2,20	0,54	33,3	288	95,9	24,6	8
109	3,27	0,13	1,52	2,09	0,56	36,4	210	93,9	34,7	10
110	2,84	0,18	1,96	2,39	0,40	59,8	190	109,9	29,6	10
111	2,98	0,11	1,46	2,55	0,64	92,7	189	73,8	35,3	10
112	2,85	0,07	2,04	2,80	0,34	85,8	418	126,0	23,0	8
113	2,95	0,07	1,42	2,31	0,44	85,7	405	131,6	32,5	12
114	3,78	0,09	2,26	1,33	0,33	83,1	214	81,9	48,2	12
115	4,06	0,12	2,41	1,78	0,32	99,1	162	35,9	36,7	10
116	3,27	0,13	2,19	1,70	0,35	139,6	238	34,0	57,8	10
117	2,97	0,19	2,17	1,35	0,42	82,3	160	43,9	55,7	8
118	3,42	0,18	2,26	1,56	0,53	59,8	180	61,9	37,8	12
119	3,09	0,15	2,30	1,93	0,36	90,0	156	42,0	87,2	8
120	4,56	0,34	2,69	2,05	0,51	166,3	309	55,9	40,1	16
121	4,97	0,23	2,94	1,89	0,36	93,0	216	41,9	35,3	10
122	4,43	0,23	2,34	2,34	0,55	92,8	242	52,0	55,4	14
123	3,41	0,19	1,20	2,80	0,78	66,6	170	44,0	34,4	14
124	3,02	0,18	1,24	2,63	0,64	79,5	216	54,0	30,4	10
125	3,32	0,20	1,54	1,89	0,50	106,2	196	97,9	36,0	12
126	4,39	0,29	1,85	2,00	0,59	99,8	273	145,7	43,9	14
127	3,69	0,23	1,19	2,89	0,81	102,9	344	101,8	31,8	14
128	3,98	0,22	1,69	2,34	0,60	63,1	250	82,0	40,2	18
129	3,76	0,13	2,19	2,09	0,43	59,6	373	89,8	31,7	10
130	4,29	0,50	1,49	1,84	1,10	82,9	304	55,9	18,4	18
131	4,69	0,26	2,54	1,50	1,07	93,0	378	53,9	28,0	16
132	3,14	0,20	1,55	1,60	0,71	83,2	234	52,0	21,0	12

TABLA 12. Continuación.

MUESTRA	N	P	K	Ca	Hg	Na	Fe	Mn	Zn	Cu
	%					ppm				
133	4,26	0,46	1,54	0,80	0,67	49,8	162	68,0	32,0	12
134	2,44	0,15	1,49	3,03	0,44	72,9	182	69,9	18,4	8
135	3,64	0,25	1,19	1,24	0,99	56,4	158	48,0	33,4	12
136	4,08	0,39	0,85	1,35	0,80	63,1	243	41,9	44,9	20
137	3,38	0,14	1,40	2,00	0,49	70,0	244	50,0	33,0	10
138	3,96	0,18	1,30	2,30	0,61	109,8	344	78,0	30,8	12
139	4,12	0,21	0,79	3,13	0,94	66,2	202	75,9	32,4	18
140	4,14	0,18	2,89	2,09	0,35	86,3	360	73,9	32,0	12
141	2,99	0,16	1,85	4,09	0,55	83,1	272	65,9	19,6	8
142	2,81	0,20	1,49	1,44	0,36	63,0	96	51,9	18,4	6
143	4,73	0,21	2,89	2,49	0,46	96,3	234	53,9	28,1	12
144	4,18	0,35	2,49	1,05	0,37	59,7	132	44,0	30,0	12
145	4,40	0,28	2,25	1,95	0,50	83,2	256	58,0	33,0	12
146	3,97	0,24	1,99	2,09	0,44	92,8	228	49,9	32,8	10
147	2,62	0,13	2,04	2,74	0,32	79,7	286	84,0	19,0	8
148	3,11	0,14	2,89	2,69	0,37	83,1	317	43,9	29,1	10

TABLA 13. CARACTERIZACION QUIMICA DE LAS MUESTRAS DE SUELO TOMADAS EN LOS 148 LUGARES DE MUESTREO DE SIEMBRAS DE FREJOL.

MUESTRA	pH H2O	Mat.	P		K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
		Organ.	N-NO3	Olsen							
		%	ppm	ppm	meq/100 g	meq/100 g	meq/100 g	ppm	ppm	ppm	ppm
1	6,2	3,4	15	14,4	1,62	15,4	3,17	270	52	3,6	7
2	6,0	3,5	22	4,2	0,83	13,4	3,54	330	127	10,8	5
3	6,5	2,6	12	3,4	0,76	10,1	4,03	220	205	3,4	6
4	5,9	5,4	25	14,4	0,73	11,0	1,93	270	40	4,5	6
5	6,3	3,9	15	11,5	0,58	11,6	3,29	520	152	4,6	9
6	5,7	4,1	38	10,6	0,62	10,9	2,34	400	226	4,1	7
7	5,8	3,2	16	6,0	0,55	10,5	2,71	460	325	11,3	8
8	5,9	3,9	22	7,8	0,62	11,4	2,47	340	226	10,1	7
9	5,8	3,6	17	5,1	0,64	11,1	4,61	470	185	1,9	7
10	6,2	3,1	15	4,2	0,96	9,9	3,70	280	201	5,8	8
11	6,0	2,5	20	5,1	0,32	8,1	1,60	193	65	14,5	5
12	6,0	4,0	25	5,1	0,51	13,3	3,99	380	168	3,5	9
13	6,3	1,8	10	3,4	0,37	9,8	2,43	135	90	2,3	5
14	6,2	3,8	8	7,8	0,52	12,7	1,97	241	64	4,5	7
15	6,1	2,5	12	10,6	0,38	7,8	1,44	143	22	5,6	3
16	5,9	4,8	18	8,7	0,42	7,6	1,23	162	30	1,9	4
17	6,6	4,0	15	14,4	0,61	10,1	2,71	270	322	2,4	7
18	6,2	5,6	18	6,0	1,01	10,3	2,75	220	168	3,0	8
19	6,1	9,5	32	10,6	0,82	13,0	1,85	118	22	2,5	5
20	6,2	3,3	8	6,9	0,54	8,5	2,01	190	295	4,9	6
21	6,3	6,9	10	9,6	1,02	9,6	1,44	121	51	2,2	5
22	6,2	9,8	22	11,5	0,42	12,7	1,56	90	25	2,6	4
23	6,4	10,7	15	6,0	1,10	14,3	2,10	158	31	4,0	6
24	6,0	5,2	18	8,7	0,38	9,4	3,17	860	543	5,8	14
25	6,1	7,5	38	8,7	0,19	9,5	2,38	167	29	3,5	5
26	5,9	3,6	28	5,1	1,11	9,0	2,26	300	86	5,0	4
27	6,2	8,2	13	27,1	0,35	10,4	1,23	168	48	7,9	6
28	5,9	8,8	50	11,5	0,52	9,1	1,48	164	44	2,0	5
29	6,2	9,4	30	6,0	0,64	11,7	2,55	500	160	2,1	8
30	5,9	10,4	28	6,9	1,42	8,5	1,44	120	21	2,8	4
31	5,9	3,9	18	13,4	1,19	15,4	3,82	180	103	6,9	5
32	6,0	10,4	27	6,9	1,73	7,9	1,44	86	15	1,7	4
33	5,5	5,6	88	8,7	1,01	8,9	2,43	250	278	3,0	7
34	5,7	10,7	55	12,5	1,12	6,0	2,10	210	98	1,8	4
35	5,9	12,8	30	7,8	0,85	11,2	1,32	118	43	2,2	4
36	6,5	5,3	20	19,5	0,89	10,4	4,11	440	186	8,0	8
37	6,1	9,8	35	8,7	1,10	12,6	2,06	150	94	3,9	5
38	6,3	13,9	3	24,9	0,52	8,6	1,93	184	53	8,0	5
39	6,2	14,5	4	3,4	0,56	15,9	2,63	176	18	17,7	6
40	5,9	6,1	3	8,7	1,10	7,1	2,71	103	18	10,4	6
41	6,0	9,7	3	7,8	1,80	7,7	1,40	89	36	2,5	4
42	5,4	13,1	5	6,9	0,52	6,0	0,86	102	11	1,9	4
43	5,5	5,4	6	6,9	0,63	4,6	2,06	260	300	2,3	6
44	5,6	10,7	12	6,0	0,57	6,3	1,36	78	20	1,3	4
45	5,9	13,7	22	7,8	0,48	6,7	1,03	87	13	2,2	3
46	6,2	5,0	32	14,4	0,31	7,3	1,56	162	18	2,0	5

TABLA 13. Continuación.

MUESTRA	pH H2O	Mat. Organ.	N-NO3	P		K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
				Olsen								
		%	ppm		meq/100 g			ppm				
47	6,2	14,9	10	11,5	1,30	11,3	1,93	89	15	2,7	4	
48	6,2	14,5	5	21,6	1,24	8,9	1,89	93	10	3,6	4	
49	6,1	6,7	11	5,1	1,13	7,3	1,64	88	32	11,5	4	
50	6,0	5,0	50	16,4	1,62	7,8	2,43	210	391	2,6	9	
51	5,9	8,3	4	14,4	1,00	9,0	2,55	150	60	3,1	5	
52	6,2	9,6	6	12,5	0,89	11,1	3,12	159	52	2,8	5	
53	5,7	4,6	100	7,8	0,87	9,3	2,34	122	106	1,9	6	
54	6,1	12,5	50	9,6	0,56	9,2	2,75	152	27	5,3	5	
55	6,0	9,0	68	27,1	1,11	8,5	2,59	190	36	3,0	4	
56	5,5	7,6	45	6,9	2,01	10,4	2,59	170	43	5,7	4	
57	5,6	4,3	50	7,8	0,44	10,0	3,62	390	96	2,1	7	
58	5,8	3,9	46	13,4	0,46	10,2	3,95	330	144	3,8	7	
59	6,1	5,1	18	6,9	0,98	14,1	5,14	350	357	3,5	8	
60	6,2	3,7	38	13,4	0,54	8,1	3,08	330	380	4,1	9	
61	6,2	7,7	18	11,5	1,31	8,6	2,55	120	22	4,1	4	
62	5,9	4,9	20	10,6	1,23	10,7	2,67	250	78	2,7	6	
63	5,4	4,3	42	12,5	0,36	10,4	3,66	420	196	3,4	11	
64	5,2	5,3	62	8,7	0,42	7,3	2,47	420	202	2,2	7	
65	6,0	5,1	18	5,1	0,67	9,6	3,37	430	275	3,6	11	
66	5,8	2,1	27	12,5	0,38	9,1	3,41	220	252	2,1	6	
67	5,9	4,7	28	9,6	0,91	11,5	4,44	300	238	4,8	6	
68	6,2	1,6	16	5,1	0,24	6,5	2,51	310	208	1,5	6	
69	6,7	1,4	11	19,5	0,14	8,5	3,41	160	110	2,1	4	
70	6,3	1,5	22	3,4	0,43	9,1	3,66	180	70	3,9	4	
71	6,3	1,1	12	6,0	0,19	8,4	4,03	170	139	3,9	4	
72	6,7	2,4	18	12,5	0,24	9,2	3,08	200	140	2,5	4	
73	6,9	2,3	22	5,1	0,17	10,4	4,19	320	154	5,5	7	
74	6,2	2,0	18	6,0	0,15	5,1	8,22	310	296	1,1	9	
75	6,8	1,1	12	6,9	0,16	5,3	11,51	170	230	1,7	8	
76	6,3	2,4	10	4,2	0,22	7,8	2,88	270	42	1,8	8	
77	6,3	1,9	13	2,5	0,73	6,0	1,93	136	15	1,3	5	
78	6,5	1,2	12	1,7	0,13	2,1	2,06	117	15	1,5	2	
79	7,1	1,0	8	6,0	0,13	5,5	8,43	138	55	15,5	6	
80	6,7	1,7	16	4,2	0,56	1,6	1,27	71	7	0,6	1	
81	6,7	2,7	13	3,4	0,19	7,1	6,58	510	148	2,5	11	
82	6,6	2,6	11	5,1	0,23	6,4	3,74	200	63	2,8	4	
83	6,1	7,1	32	7,8	0,64	14,9	8,43	460	250	5,0	9	
84	6,8	13,1	28	5,1	0,81	16,0	3,50	190	104	2,6	5	
85	6,3	11,4	32	12,5	0,56	11,5	2,22	81	17	2,7	3	
86	6,1	13,0	70	4,2	1,32	14,5	3,29	193	38	6,0	4	
87	6,1	13,9	38	6,9	0,76	8,9	1,64	61	11	2,2	2	
88	6,2	5,7	25	7,8	0,35	6,2	1,60	163	12	6,5	3	
89	6,6	4,8	14	17,4	0,37	10,9	3,45	270	252	6,3	9	
90	6,3	8,4	20	4,2	1,32	10,8	2,18	110	20	3,6	3	
91	6,9	2,2	15	6,9	0,24	5,1	5,35	330	25	2,9	6	
92	6,9	3,4	25	14,4	0,23	6,4	8,22	320	64	3,4	7	

TABLA 13. Continuación.

MUESTRA	pH H2O	Mat. Organ.	P		K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
			N-NO3	Olsen							
		‰	ppm	ppm	meq/100 g			ppm			
93	6,2	3,7	11	6,0	0,18	2,8	0,95	139	10	1,9	1
94	7,5	2,6	38	4,2	0,22	7,0	8,02	310	124	7,5	12
95	6,2	2,5	15	10,6	0,14	1,1	1,07	136	7	0,9	2
96	5,8	2,4	14	24,9	0,17	0,9	1,27	280	7	6,2	3
97	6,4	3,7	11	14,4	0,42	3,0	1,23	172	13	2,7	3
98	6,4	5,8	7	4,2	0,73	5,4	2,18	146	16	2,9	5
99	6,6	9,1	25	6,9	0,65	9,3	3,41	156	8	1,1	6
100	6,7	7,4	15	4,2	0,93	9,5	2,47	133	15	1,5	6
101	6,7	5,9	9	8,7	0,84	10,2	3,08	156	27	3,2	8
102	7,0	9,4	7	4,2	0,28	14,0	8,84	310	120	1,5	13
103	6,3	14,2	20	2,5	0,31	7,3	1,85	117	9	1,3	3
104	6,2	14,4	10	1,7	0,42	8,7	3,33	270	155	2,0	7
105	5,8	10,1	4	3,4	0,19	5,0	2,71	110	114	1,1	4
106	5,8	4,2	15	2,5	0,19	7,8	2,59	150	433	3,9	7
107	5,9	6,3	16	1,7	0,21	11,7	5,76	150	178	3,7	8
108	6,2	6,0	12	6,9	0,31	9,1	3,25	120	241	1,5	10
109	6,0	7,9	14	4,2	0,33	8,6	3,12	140	214	2,2	8
110	5,9	7,1	15	8,7	0,52	8,4	2,55	210	250	5,7	9
111	6,0	4,7	13	7,8	0,45	14,5	7,40	160	198	2,4	7
112	5,8	6,5	10	6,0	0,37	7,6	2,34	119	279	3,8	12
113	6,1	4,5	13	3,4	0,52	9,5	5,35	200	451	4,5	9
114	5,9	5,1	20	5,1	0,76	8,1	3,12	250	398	5,3	12
115	6,2	7,2	18	4,2	0,69	7,2	1,64	123	17	3,2	5
116	6,7	4,7	12	11,5	1,81	11,7	5,35	330	77	7,0	12
117	7,0	2,8	8	13,4	0,41	7,0	3,62	114	16	4,0	3
118	6,8	3,1	10	4,2	0,43	2,9	2,75	149	38	1,6	4
119	6,4	7,2	18	12,5	1,00	10,0	3,33	220	50	6,8	4
120	6,5	3,0	17	16,0	0,67	7,4	2,65	310	215	5,0	7
121	6,1	8,5	40	14,9	1,23	9,7	2,11	130	39	15,7	4
122	5,9	5,3	28	5,0	0,44	8,9	3,03	340	160	8,2	7
123	6,1	4,6	18	8,8	0,34	8,3	2,68	240	94	9,1	7
124	6,3	2,6	12	4,0	0,17	7,8	3,03	295	415	7,9	10
125	5,6	3,0	45	27,3	0,22	6,5	2,99	330	180	6,0	3
126	5,3	5,2	35	12,8	0,19	5,9	2,17	1010	62	9,5	4
127	5,8	9,3	30	8,8	0,20	6,8	2,87	430	320	3,3	9
128	5,4	5,4	38	12,8	0,54	6,8	2,71	650	440	11,8	10
129	5,8	3,3	23	2,2	0,80	7,3	2,79	185	280	4,7	5
130	6,8	3,9	10	11,8	0,12	7,7	3,60	565	355	7,0	17
131	6,4	0,5	15	1,3	0,13	2,0	0,91	170	19	2,7	2
132	7,2	1,2	15	2,2	0,08	2,8	1,76	47	2	1,8	1
133	7,0	0,8	8	7,8	0,08	3,3	3,00	280	110	10,2	6
134	6,3	1,2	18	3,1	0,10	2,2	0,40	75	28	4,2	2
135	6,8	1,9	14	2,2	0,10	3,2	3,34	240	345	3,3	5
136	6,8	3,7	13	5,9	0,16	5,0	3,22	285	175	3,3	7
137	6,5	4,7	8	0,9	0,34	6,2	2,85	155	200	8,5	6
138	6,5	4,4	10	1,3	0,16	4,8	2,42	130	385	12,3	6

TABLA 13. Continuación.

MUESTRA	pH H2O	Mat. Organ.	N-NO3	P Olsen	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
		%	---- ppm ----		----- meq/100 g -----			----- ppm -----			
139	5,8	3,7	28	4,0	0,17	7,7	3,08	365	225	6,9	9
140	5,9	6,9	48	14,9	0,51	6,2	1,44	97	20	12,4	3
141	6,2	5,9	11	17,0	0,38	8,6	2,34	315	190	5,4	5
142	6,2	10,5	18	8,8	0,17	5,6	1,31	98	280	2,0	2
143	5,9	17,4	30	5,9	0,24	6,0	1,05	83	17	1,3	2
144	5,9	12,1	50	7,8	0,22	5,6	1,05	97	59	1,7	5
145	5,9	11,7	38	5,9	0,12	5,3	1,17	68	25	2,3	2
146	6,0	12,8	30	9,8	0,14	7,6	1,11	72	21	5,2	3
147	5,9	14,5	32	9,8	0,43	3,9	0,69	32	7	2,6	2
148	6,3	11,7	30	8,8	1,23	9,0	2,53	133	55	8,7	4

## RESULTADOS (Continuación)

### ETAPA II. PRUEBA DE EFECTIVIDAD Y SELECCION DE LAS CEPAS DE RIZOBIOS.

#### 1. Crecimiento de las plantas en arena cuarzosa de río y solución nutritiva de Erdman.

En las pruebas de efectividad se usó inicialmente frascos Leonard preparados con arena cuarzosa recolectada en el río Lonquén (camino Chillán-Quirihue) y cargadas con solución nutritiva exenta de nitrógeno de Erdman. Las plantas sembradas en estos frascos fueron afectadas en su crecimiento y presentaron síntomas foliares semejantes a los causados por toxicidad de manganeso. En la Tabla 14 se indican los resultados de los análisis foliares de plantas de frejol que presentaron distintos grados de sintomatología foliar, y la concentración de Mn en la solución nutritiva del frasco reservorio correspondiente.

#### 2. Prueba de diferentes arenas en sus contenidos y aportes de Mn y Fe.

En la Tabla 15 se entregan los contenidos de Mn en las cuatro arenas probadas, extractable con la solución de Lakanen y Ervio. Además se indica en esta Tabla los contenidos de Mn y Fe de la solución del frasco reservorio de los frascos Leonard preparados con estas arenas y no esterilizados o sometidos a esterilización por calor seco o autoclave, cuando fueron cargados con solución nutritiva de Erdman, preparada sin Mn y Fe.

Los contenidos foliares de macro y micronutrientes de siete muestras de frejol Opalo cultivado en frascos Leonard, usando cuarzo molido y solución nutritiva de Erdman, se entregan en la Tabla 16. Los contenidos foliares de Fe y Mn de dos muestras de este mismo frejol cultivado también en cuarzo molido, pero usando la solución nutritiva de Broughton y Dillworth, se indican en la Tabla 17.

### 3. Selección de cepas de rizobios.

Los resultados de la primera etapa de selección de las 94 cepas de rizobios, aisladas de las siembras de frejol de la VIII Región, se muestran en las Tablas 18 y 19, para cada uno de los dos grupos de 47 en que se dividieron estas cepas para estudiar su comportamiento simbiótico. En ellos, se señalan los valores de peso seco total, número y peso seco de nódulos y contenidos porcentual y total de nitrógeno, por cada dos plantas (= /frasco Leonard) de frejol cv Opalo. En las Figuras 3 y 4 se muestran los resultados, en ambos grupos, de la prueba de rango múltiple de Duncan para diferencia entre medias de los valores de contenido total de nitrógeno de las plantas, parámetro que se usó en esta etapa para seleccionar las cepas de mejor comportamiento simbiótico (más eficientes); valores medios que no difieren al nivel de 5 % están unidos por una misma línea vertical.

Los resultados de la segunda prueba de selección a que fueron sometidas las 25 mejores cepas de rizobios del frejol detectadas en la selección anterior, se dan en la Tabla 20. En las Figuras 5 y 6 se muestra el resultado de la prueba de Duncan aplicada a los valores de contenido total de nitrógeno y peso

seco total de las plantas, y en las Figuras 7 y 8 se muestran los resultados de esta prueba de comparación entre medias de los valores de número y peso seco de nódulos, respectivamente, y que permitieron seleccionar a las 5 mejores cepas.

En las Tablas 21 a 30 se muestran los resultados de las pruebas de efectividad, de las 5 cepas seleccionadas, en cada uno de los 10 cultivares de frejol, indicándose el número de nódulos, el peso seco nodular, el peso seco de las planta y el contenido total de nitrógeno, valores promedios por frasco Leonard de las cuatro repeticiones.

TABLA 14. CONTENIDOS FOLIARES DE MACRO Y MICRONUTRIENTES DE PLANTAS DE FREJOL CON DISTINTOS GRADOS DE SINTOMATOLOGIA, CULTIVADAS EN ARENA CUARZOSA DE RIO Y CON SOLUCION NUTRITIVA DE ERDMAN.

Síntomas	Concentración foliar						Solución reservorio
	N	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Mn
	----- % -----			----- ppm -----			-----
Fuertes	2,25	2,53	0,82	0,39	430	749	1,03
Medianos	1,65	1,91	0,73	0,36	517	648	0,84
Leves	2,17	2,16	0,62	0,33	362	570	0,88
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Valores medios	2,02	2,20	0,72	0,36	436	656	0,92

TABLA 15. CONTENIDO DE MANGANESO EXTRACTABLE DE CUATRO DIFERENTES ARENAS Y APOORTE DE MANGANESO DE ESTAS ARENAS A LA SOLUCION NUTRITIVA DE FRASCOS LEONARD NO ESTERILIZADOS Y ESTERILIZADOS.

Manganeso extractable		Manganeso en solución nutritiva de frasco Leonard		
Arena	Mn (ppm)	Arena / esterilización		Mn (ppm)
Cuarzosa río	7,4	Cuarzosa río	sin esteril.	1,05
		" "	horno	0,76
		" "	autoclave	1,11
Mar	9,9	Mar	sin esteril.	0,01
		" "	horno	0,29
		" "	autoclave	0,27
Negra río	11,7	Negra río	sin esteril.	0,04
		" "	horno	0,57
		" "	autoclave	0,41
Cuarzo molido	0,4	Cuarzo	sin esteril.	0,01
		" "	horno	0,02
		" "	autoclave	0,02

TABLA 16. CONTENIDOS FOLIARES DE MACRO Y MICRONUTRIENTES EN SIETE MUESTRAS DE PLANTAS DE FREJOL CULTIVADAS EN CUARZO MOLIDO Y CON SOLUCION NUTRITIVA DE ERDMAN.

Muestras	Concentración foliar							
	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
	%				ppm			
1	0,30	1,76	0,65	0,65	586	756	35,6	37,2
2	0,28	1,23	1,21	0,55	1094	992	29,2	33,6
3	0,35	2,18	0,95	0,78	858	848	53,6	28,4
4	0,53	1,67	1,10	0,81	1036	746	74,0	36,0
5	0,52	1,97	1,22	0,80	1000	946	58,0	47,2
6	0,35	1,47	0,84	0,48	580	634	31,2	32,8
7	0,56	1,77	0,99	0,67	770	614	54,8	41,6
<b>Valores medios</b>	<b>0,41</b>	<b>1,72</b>	<b>0,99</b>	<b>0,68</b>	<b>846</b>	<b>791</b>	<b>48,1</b>	<b>36,7</b>

TABLA 17. CONTENIDOS FOLIARES DE FIERRO Y MANGANESO EN DOS MUESTRAS COMPUESTAS DE PLANTAS DE FREJOL CULTIVADAS EN CUARZO MOLIDO Y CON SOLUCION NUTRITIVA DE BROUGHTON Y DILLWORTH.

Muestra compuesta	Concentración foliar	
	Fe	Mn
	ppm	
1	392	200
2	320	170
<b>Valores medios</b>	<b>356</b>	<b>185</b>

TABLA 18. PRIMERA ETAPA DE LA PRUEBA DE EFECTIVIDAD DE 95 CEPAS AISLADAS DE LAS SIEMBRAS DE FREJOL. RESULTADOS DE UN PRIMER GRUPO DE 47 CEPAS. PESO SECO TOTAL, NUMERO Y PESO NODULAR, PORCENTAJE DE NITROGENO Y CONTENIDO TOTAL DE NITROGENO DE PLANTAS DE FREJOL OPALO, CULTIVADAS EN FRASCOS LEONARD. VALORES POR FRASCO LEONARD (2 PLANTAS), PROMEDIOS DE TRES REPETICIONES.

CEPAS	Peso seco total (g)	Contenido nitrógeno		Nodulación	
		%	total(mg)	Número	Peso(mg)
UCD-1070	0,657	1,35	8,86	0	0
UCD-1071	1,880	3,73	70,07	166	157
UCD-1072	1,487	3,92	58,35	177	137
UCD-1073	1,395	3,88	54,07	183	151
UCD-1079	1,539	3,63	55,81	232	149
UCD-1085	1,783	3,34	59,48	154	186
UCD-1089	1,506	4,03	60,70	137	130
UCD-1090	1,616	3,62	58,50	208	163
UCD-1091	1,331	3,54	47,13	171	137
UCD-1093	1,743	4,26	74,19	141	133
UCD-1094	1,797	3,84	69,01	197	170
UCD-1096	1,925	3,45	66,43	203	198
UCD-1101	1,635	3,68	60,15	178	161
UCD-1102	1,999	3,86	77,08	209	189
UCD-1103	1,790	3,65	65,40	192	176
UCD-1104	1,719	3,10	53,32	273	226
UCD-1109	1,643	3,41	56,00	226	207
UCD-1110	1,320	3,48	45,93	176	150
UCD-1111	1,931	4,22	81,42	160	171
UCD-1112	1,820	3,56	64,71	186	164
UCD-1113	1,490	2,71	40,39	191	166
UCD-1117	1,098	3,40	37,31	173	91
UCD-1119	1,862	3,94	73,29	182	166
UCD-1120	0,956	3,73	35,67	134	86
UCD-1121	1,322	3,64	48,10	161	98
UCD-1122	1,602	3,68	58,92	155	152
UCD-1123	1,475	3,49	51,42	192	148
UCD-1124	0,814	2,05	16,69	181	74
UCD-1125	1,690	4,06	68,56	188	140
UCD-1126	1,809	3,77	68,22	191	139
UCD-1127	1,778	4,06	72,10	141	151
UCD-1128	1,854	3,38	62,63	287	174
UCD-1129	1,470	3,82	56,16	172	144
UCD-1130	1,424	3,87	55,13	179	127
UCD-1131	1,480	4,19	62,00	155	143
UCD-1132	1,621	4,67	75,66	133	125
UCD-1133	1,652	3,91	64,59	161	149
UCD-1134	1,148	4,58	52,58	142	144
UCD-1135	1,629	3,22	52,52	153	149

TABLA 18. Continuación.

CEPAS	Peso seco total (g)	Contenido nitrógeno		Nodulación	
		%	total(mg)	Número	Peso(mg)
UCD-1136	1,337	2,62	35,08	189	173
UCD-1137	1,868	3,97	74,08	181	178
UCD-1138	1,599	3,65	58,41	180	162
UCD-1139	1,717	3,92	67,31	131	203
UCD-1140	1,464	3,05	44,64	185	181
UCD-1141	1,497	3,17	47,52	134	197
UCD-1142	2,268	3,80	86,13	172	255
UCD-1144	1,629	3,31	53,97	204	175
<b>Cepas controles</b>					
UCD- 332	2,068	3,47	71,86	206	231
UCD-1899	1,792	3,77	67,62	163	149
<b>Control</b>					
No Inoculado	0,777	1,32	10,24	-	-

TABLA 19. PRIMERA ETAPA DE LA PRUEBA DE EFECTIVIDAD DE 95 CEPAS AISLADAS DE LAS SIEMBRAS DE FREJOL. RESULTADOS DE UN SEGUNDO GRUPO DE 47 CEPAS. PESO SECO TOTAL, NUMERO Y PESO NODULAR, PORCENTAJE DE NITROGENO Y CONTENIDO TOTAL DE NITROGENO DE PLANTAS DE FREJOL OPALO, CULTIVADAS EN FRASCOS LEONARD. VALORES POR FRASCO LEONARD (2 PLANTAS), PROMEDIOS DE TRES REPETICIONES.

CEPAS	Peso seco total (g)	Contenido nitrógeno		Nodulación	
		%	total(mg)	Número	Peso(mg)
UCD-1008	1,511	3,22	48,69	168	211
UCD-1010	1,389	3,02	41,89	162	216
UCD-1011	1,373	3,03	41,59	175	213
UCD-1013	1,101	2,75	30,26	139	157
UCD-1014	1,681	3,60	60,56	125	211
UCD-1015	1,545	3,15	48,64	162	222
UCD-1016	1,333	3,21	42,81	186	219
UCD-1019	1,377	3,51	48,36	159	145
UCD-1020	1,365	3,78	51,56	170	195
UCD-1021	1,395	3,62	50,54	141	228
UCD-1022	1,591	3,29	52,28	176	231
UCD-1023	1,651	3,08	50,81	194	238
UCD-1024	1,770	3,29	58,30	155	233
UCD-1026	0,871	2,34	20,40	159	125
UCD-1027	0,686	1,53	10,52	10	6
UCD-1031	1,194	2,64	31,53	214	174
UCD-1032	1,130	3,01	34,03	186	213
UCD-1033	1,170	2,25	26,35	132	160
UCD-1034	1,214	2,90	35,22	142	191
UCD-1035	1,212	2,43	29,48	180	188
UCD-1036	1,531	3,24	49,54	163	185
UCD-1038	1,570	2,74	43,09	143	210
UCD-1039	1,233	2,71	33,44	184	167
UCD-1040	1,127	3,40	38,29	97	140
UCD-1043	1,340	2,78	37,28	157	194
UCD-1045	1,620	3,05	49,48	158	213
UCD-1046	1,141	2,63	29,98	173	143
UCD-1047	1,501	4,22	63,30	126	181
UCD-1049	0,991	2,95	29,27	139	154
UCD-1051	1,298	2,56	33,17	176	188
UCD-1053	1,569	3,12	48,95	117	232
UCD-1057	1,760	2,92	51,36	132	260
UCD-1062	1,217	3,14	38,15	116	167
UCD-1063	1,112	2,76	30,71	121	172
UCD-1066	1,403	3,69	51,81	148	183
UCD-1074	1,552	2,92	45,37	170	206
UCD-1075	1,458	3,97	57,93	98	168
UCD-1077	1,479	3,60	53,29	139	189

TABLA 19. Continuación.

CEPAS	Peso seco total (g)	Contenido nitrógeno		Nodulación	
		%	total(mg)	Número	Peso(mg)
UCD-1078	1,154	2,82	32,55	189	154
UCD-1080	1,580	2,70	42,64	193	180
UCD-1082	1,382	3,57	49,33	103	182
UCD-1086	1,831	3,28	60,06	182	265
UCD-1088	2,029	3,62	73,44	163	276
UCD-1107	2,111	3,86	81,43	133	248
UCD-1081	1,552	3,14	48,68	196	202
UCD-1108	1,378	3,94	54,32	112	171
UCD-1118	1,006	2,32	23,38	214	143
Cepas controles					
UCD- 332	1,871	3,21	59,98	159	151
UCD-1899	1,382	3,49	48,23	169	148
Control					
No Inoculado	0,787	1,35	10,59	-	-

FIGURA 3. SELECCION DE LAS MEJORES CEPAS DE UN PRIMER GRUPO DE 47 (VER TABLA 18). PRUEBA DE DUNCAN PARA DIFERENCIAS ENTRE MEDIAS (5 %) DE LOS VALORES DE NITROGENO TOTAL.

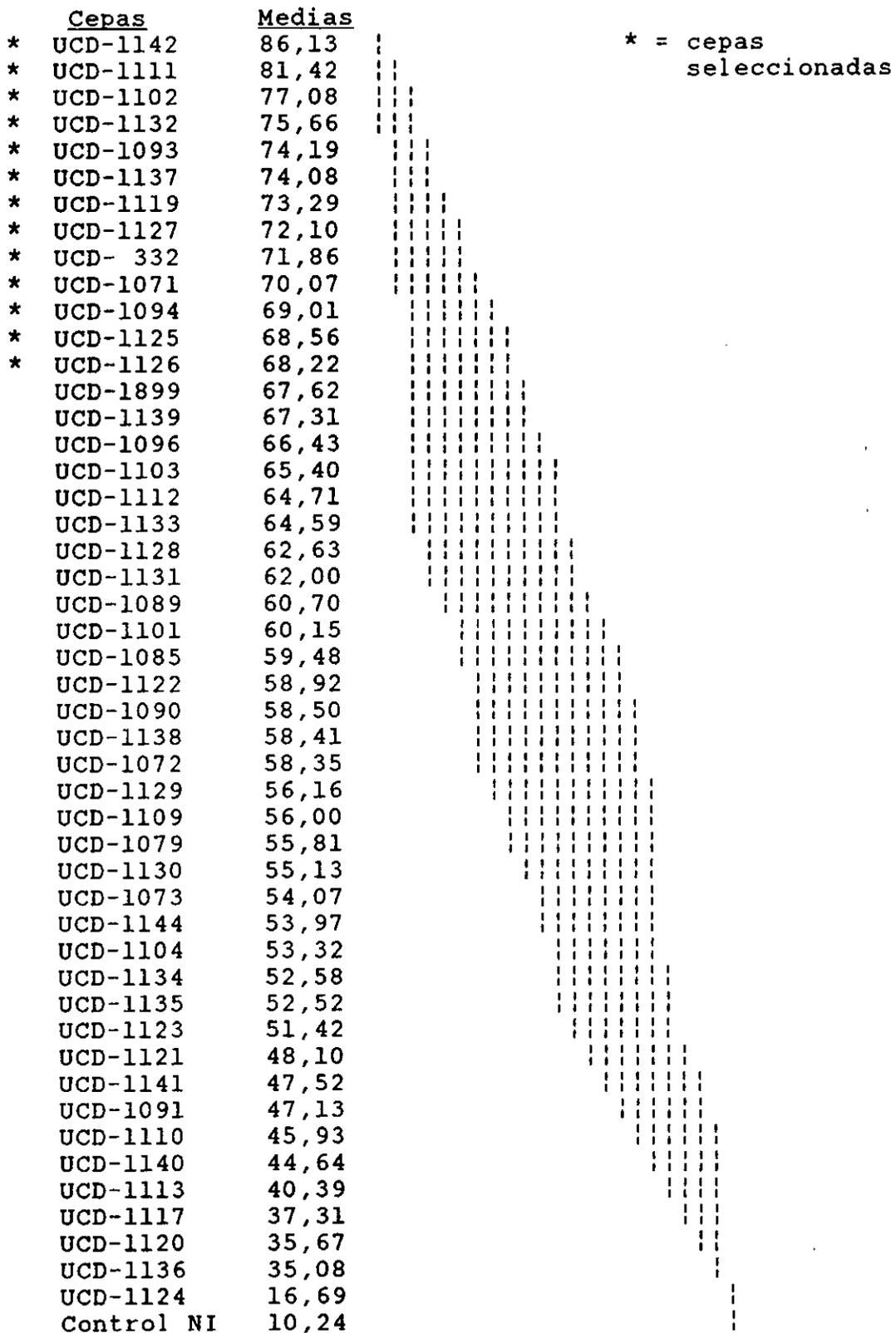


FIGURA 4. SELECCION DE LAS MEJORES CEPAS DE UN SEGUNDO GRUPO DE 47 (VER TABLA 19). PRUEBA DE DUNCAN PARA DIFERENCIAS ENTRE MEDIAS (5 %) DE LOS VALORES DE NITROGENO TOTAL.

	<u>Cepas</u>	<u>Medias</u>
*	UCD-1107	81,43
*	UCD-1088	73,44
*	UCD-1047	63,30
*	UCD-1014	60,56
*	UCD-1086	60,06
*	UCD- 332	59,98
*	UCD-1024	58,30
*	UCD-1075	57,93
*	UCD-1108	54,32
*	UCD-1077	53,29
*	UCD-1022	52,28
*	UCD-1066	51,81
*	UCD-1020	51,56
	UCD-1057	51,36
	UCD-1023	50,81
	UCD-1021	50,54
	UCD-1036	49,54
	UCD-1045	49,48
	UCD-1082	40,33
	UCD-1053	48,95
	UCD-1008	48,69
	UCD-1081	48,68
	UCD-1015	48,64
	UCD-1019	48,36
	UCD-1899	48,23
	UCD-1074	45,37
	UCD-1038	43,09
	UCD-1016	42,81
	UCD-1080	42,64
	UCD-1010	41,89
	UCD-1011	41,59
	UCD-1040	38,29
	UCD-1062	38,15
	UCD-1043	37,28
	UCD-1034	35,22
	UCD-1032	34,03
	UCD-1039	33,44
	UCD-1051	33,17
	UCD-1078	32,55
	UCD-1031	31,53
	UCD-1063	30,71
	UCD-1013	30,26
	UCD-1046	29,98
	UCD-1035	29,48
	UCD-1049	29,27
	UCD-1033	26,35
	UCD-1118	23,38
	UCD-1026	20,40
	Control NI	10,59
	UCD-1027	10,52

\* = cepas seleccionadas

TABLA 20. SEGUNDA ETAPA DE LA PRUEBA DE EFECTIVIDAD DE LAS 25 MEJORES CEPAS SELECCIONADAS EN LA PRIMERA ETAPA DE PRUEBA. PESO SECO TOTAL, NUMERO Y PESO NODULAR, PORCENTAJE DE NITROGENO Y CONTENIDO TOTAL DE NITROGENO DE PLANTAS DE FREJOL OPALO, CULTIVADAS EN FRASCOS LEONARD. VALORES, POR FRASCO LEONARD (2 PLANTAS), PROMEDIOS DE CINCO REPETICIONES.

CEPAS	Peso seco total (g)	Contenido nitrógeno		Nodulación	
		%	total(mg)	Número	Peso(mg)
UCD- 332	1,880	2,76	51,98	235	217
UCD-1014	3,104	3,17	98,40	213	305
UCD-1020	2,636	3,28	86,56	217	301
UCD-1022	2,204	3,35	73,79	224	248
UCD-1024	2,692	3,20	86,05	219	234
UCD-1047	2,074	3,62	75,15	188	206
UCD-1066	2,446	3,68	90,13	220	207
UCD-1071	2,596	3,94	102,36	186	196
UCD-1075	2,126	3,56	75,79	202	177
UCD-1077	2,118	3,41	72,14	173	214
UCD-1086	2,448	2,69	65,92	206	206
UCD-1088	2,310	3,70	85,57	193	234
UCD-1093	2,556	3,46	88,46	179	177
UCD-1094	2,472	3,05	75,35	243	245
UCD-1102	2,782	3,03	84,42	190	202
UCD-1107	3,112	3,22	100,24	223	232
UCD-1108	2,812	3,42	96,27	132	184
UCD-1111	2,466	3,24	79,86	151	194
UCD-1119	2,688	3,06	82,21	263	221
UCD-1125	2,818	3,29	92,73	239	239
UCD-1126	2,814	3,02	84,98	198	177
UCD-1127	0,704	1,60	11,23	1	1
UCD-1132	2,694	3,60	97,06	180	211
UCD-1137	2,832	3,41	96,71	172	216
UCD-1142	2,328	3,14	73,14	241	205
Control no inoculado	0,694	1,66	11,52	-	-

FIGURA 5. SELECCION DE LAS MEJORES CEPAS DEL GRUPO DE 25 PRESELECCIONADAS (VER TABLA 20 ). PRUEBA DE DUNCAN PARA DIFERENCIAS ENTRE MEDIAS ( $P \leq 0,05$ ) DE LOS VALORES DE NITROGENO TOTAL.

<u>Cepas</u>	<u>Medias</u>
UCD-1071	102,36
UCD-1107	100,24
UCD-1014	98,40
UCD-1132	97,06
UCD-1137	96,71
UCD-1108	96,27
UCD-1125	92,73
UCD-1066	90,13
UCD-1093	88,46
UCD-1020	86,56
UCD-1024	86,05
UCD-1088	85,57
UCD-1126	84,98
UCD-1102	84,42
UCD-1119	82,21
UCD-1111	79,86
UCD-1075	75,79
UCD-1094	75,35
UCD-1047	75,15
UCD-1022	73,79
UCD-1142	73,14
UCD-1077	72,14
UCD-1086	65,92
UCD- 332	51,98
Control NI	11,52
UCD-1127	11,23

FIGURA 6. SELECCION DE LAS MEJORES CEPAS DEL GRUPO DE 25 PRESE-  
LECCIONADAS (VER TABLA 20). PRUEBA DE DUNCAN PARA  
DIFERENCIAS ENTRE MEDIAS ( $P \leq 0,05$ ) DE LOS  
VALORES DE PESO SECO TOTAL.

<u>Cepas</u>	<u>Medias</u>
UCD-1107	3,112
UCD-1014	3,104
UCD-1137	2,832
UCD-1125	2,818
UCD-1126	2,814
UCD-1108	2,812
UCD-1102	2,782
UCD-1132	2,694
UCD-1024	2,692
UCD-1119	2,688
UCD-1020	2,636
UCD-1071	2,596
UCD-1093	2,556
UCD-1094	2,472
UCD-1111	2,446
UCD-1086	2,448
UCD-1066	2,446
UCD-1142	2,328
UCD-1088	2,310
UCD-1022	2,204
UCD-1075	2,126
UCD-1077	2,118
UCD-1047	2,074
UCD- 332	1,880
UCD-1127	0,704
Control NI	0,694

FIGURA 7. SELECCION DE LAS MEJORES CEPAS DEL GRUPO DE 25 PRESE-  
LECCIONADAS (VER TABLA 20). PRUEBA DE DUNCAN  
PARA DIFERENCIAS ENTRE MEDIAS ( $P \leq 0,05$ ) DE LOS  
VALORES DE NUMERO DE NODULOS.

<u>Cepas</u>	<u>Medias</u>	
UCD-1119	263	
UCD-1094	243	
UCD-1142	241	
UCD-1125	239	
UCD- 332	235	
UCD-1022	224	
UCD-1107	223	
UCD-1066	220	
UCD-1024	219	
UCD-1020	217	
UCD-1014	213	
UCD-1086	206	
UCD-1075	202	
UCD-1126	198	
UCD-1088	193	
UCD-1102	190	
UCD-1047	188	
UCD-1071	186	
UCD-1132	180	
UCD-1093	179	
UCD-1077	173	
UCD-1137	172	
UCD-1111	151	
UCD-1108	132	
UCD-1127	1	

FIGURA 8 . SELECCION DE LAS MEJORES CEPAS DEL GRUPO DE 25 PRESE-  
LECCIONADAS (VER TABLA 20). PRUEBA DE DUNCAN PARA  
DIFERENCIAS ENTRE MEDIAS ( $P \leq 0,05$ ) DE LOS VALORES DE  
PESO DE NODULOS.

<u>Cepas</u>	<u>Medias</u>	
UCD-1014	305	
UCD-1020	301	
UCD-1022	248	
UCD-1094	245	
UCD-1125	239	
UCD-1024	234	
UCD-1088	234	
UCD-1107	232	
UCD-1119	221	
UCD- 332	217	
UCD-1137	216	
UCD-1077	214	
UCD-1132	211	
UCD-1066	207	
UCD-1047	206	
UCD-1086	206	
UCD-1142	205	
UCD-1102	202	
UCD-1071	196	
UCD-1111	194	
UCD-1108	184	
UCD-1126	177	
UCD-1093	177	
UCD-1075	177	
UCD-1127	1	

TABLA 21. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE COMPORTAMIENTO DE LAS CINCO CEPAS DE RIZOBIOS SELECCIONADAS EN EL FREJOL CULTIVAR BLANCO INIA. VALORES POR FRASCO LEONARD (2 PLANTAS). PROMEDIOS DE 4 REPETICIONES.

CEPAS	Nodulación		Planta	
	Número	Peso seco	Peso seco	N total
		mg	g	mg
UCD-1014	360,8	325,8	3,841	136,6
UCD-1071	241,5	231,0	4,021	151,6
UCD-1107	168,3	241,8	3,387	124,0
UCD-1125	299,0	292,5	3,360	126,3
UCD-1132	167,8	261,3	3,779	146,8

TABLA 22. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE COMPORTAMIENTO DE LAS CINCO CEPAS DE RIZOBIOS SELECCIONADAS EN EL FREJOL CULTIVAR ORFEO INIA. VALORES POR FRASCO LEONARD (2 PLANTAS). PROMEDIOS DE 4 REPETICIONES.

CEPAS	Nodulación		Planta	
	Número	Peso seco	Peso seco	N total
		mg	g	mg
UCD-1014	127,5	251,4	3,457	104,9
UCD-1071	87,3	172,2	3,570	119,7
UCD-1107	81,0	221,1	3,399	120,2
UCD-1125	125,5	143,4	3,149	81,3
UCD-1132	130,3	240,2	3,841	135,8

TABLA 23. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE COMPORTAMIENTO DE LAS CINCO CEPAS DE RIZOBIOS SELECCIONADAS EN EL FREJOL CULTIVAR PINTO 114. VALORES POR FRASCO LEONARD (2 PLANTAS). PROMEDIOS DE 4 REPETICIONES.

CEPAS	Nodulación		Planta	
	Número	Peso seco mg	Peso seco g	N total mg
UCD-1014	167,8	373,7	3,771	142,0
UCD-1071	203,5	343,1	4,336	151,1
UCD-1107	168,3	314,5	4,005	153,9
UCD-1125	150,5	248,1	3,403	124,3
UCD-1132	124,8	274,2	3,807	159,3

TABLA 24. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE COMPORTAMIENTO DE LAS CINCO CEPAS DE RIZOBIOS SELECCIONADAS EN EL FREJOL CULTIVAR TORTOLA INIA. VALORES POR FRASCO LEONARD (2 PLANTAS). PROMEDIOS DE 4 REPETICIONES.

CEPAS	Nodulación		Planta	
	Número	Peso seco mg	Peso seco g	N total mg
UCD-1014	235,3	312,6	3,955	137,9
UCD-1071	191,0	227,4	3,855	144,6
UCD-1107	189,3	273,9	3,929	147,9
UCD-1125	168,8	273,0	3,848	124,1
UCD-1132	198,8	283,1	4,083	163,3

TABLA 25. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE COMPORTAMIENTO DE LAS CINCO CEPAS DE RIZOBIOS SELECCIONADAS EN EL FREJOL CULTIVAR ARROZ CORRIENTE. VALORES POR FRASCO LEONARD (2 PLANTAS). PROMEDIOS DE 4 REPETICIONES.

CEPAS	Nodulación		Planta	
	Número	Peso seco mg	Peso seco g	N total mg
UCD-1014	128,8	202,8	2,613	68,7
UCD-1071	159,0	262,9	3,835	135,4
UCD-1107	148,3	269,6	3,565	117,0
UCD-1137	197,8	272,2	3,433	98,3
UCD-1132	239,3	287,9	3,378	123,5

TABLA 26. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE COMPORTAMIENTO DE LAS CINCO CEPAS DE RIZOBIOS SELECCIONADAS EN EL FREJOL CULTIVAR APOLO. VALORES POR FRASCO LEONARD (2 PLANTAS). PROMEDIOS DE 4 REPETICIONES.

CEPAS	Nodulación		Planta	
	Número	Peso seco mg	Peso seco g	N total mg
UCD-1014	533,0	462,5	3,875	137,9
UCD-1071	527,8	400,4	4,303	163,3
UCD-1107	463,8	448,4	4,043	152,6
UCD-1137	572,5	342,0	3,405	132,2
UCD-1132	472,3	464,7	4,643	184,6

TABLA 27. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE COMPORTAMIENTO DE LAS CINCO CEPAS DE RIZOBIOS SELECCIONADAS EN EL FREJOL CULTIVAR NEGRO DE ARGEL. VALORES POR FRASCO LEONARD (2 PLANTAS). PROMEDIOS DE 4 REPETICIONES.

CEPAS	Nodulación		Planta	
	Número	Peso seco	Peso seco	N total
		mg	g	mg
UCD-1014	169,5	281,0	3,598	89,7
UCD-1071	149,3	260,3	4,766	128,7
UCD-1107	166,8	365,1	4,435	145,4
UCD-1137	172,0	332,4	4,483	145,1
UCD-1132	149,5	313,8	4,379	132,3

TABLA 28. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE COMPORTAMIENTO DE LAS CINCO CEPAS DE RIZOBIOS SELECCIONADAS EN EL FREJOL CULTIVAR ARAUCANO INIA. VALORES POR FRASCO LEONARD (2 PLANTAS). PROMEDIOS DE 4 REPETICIONES.

CEPAS	Nodulación		Planta	
	Número	Peso seco	Peso seco	N total
		mg	g	mg
UCD-1014	493,5	534,2	5,084	152,5
UCD-1071	411,8	393,9	4,929	181,3
UCD-1107	452,0	429,6	5,085	168,2
UCD-1137	440,3	450,9	5,338	172,0
UCD-1132	403,8	319,1	4,197	151,2

TABLA 29. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE COMPORTAMIENTO DE LAS CINCO CEPAS DE RIZOBIOS SELECCIONADAS EN EL FREJOL CULTIVAR COSCORRON INIA. VALORES POR FRASCO LEONARD (2 PLANTAS). PROMEDIOS DE 4 REPETICIONES.

CEPAS	Nodulación		Planta	
	Número	Peso seco mg	Peso seco g	N total mg
UCD-1014	324,7	330,6	3,954	119,0
UCD-1071	398,3	370,5	4,658	155,3
UCD-1107	404,8	417,9	4,563	143,3
UCD-1137	397,3	392,8	4,326	134,6
UCD-1132	349,8	354,6	3,980	132,3

TABLA 30. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE COMPORTAMIENTO DE LAS CINCO CEPAS DE RIZOBIOS SELECCIONADAS EN EL FREJOL CULTIVAR BURRO ARGENTINO. VALORES POR FRASCO LEONARD (2 PLANTAS). PROMEDIOS DE 4 REPETICIONES.

CEPAS	Nodulación		Planta	
	Número	Peso seco mg	Peso seco g	N total mg
UCD-1014	518,3	647,8	5,538	193,1
UCD-1071	308,3	485,1	4,800	172,3
UCD-1107	254,8	358,0	4,211	148,1
UCD-1137	298,0	352,9	3,958	136,6
UCD-1132	283,3	315,8	3,891	138,7

## RESULTADOS (Continuación)

### ETAPA III. DETECCION DE FACTORES DE SUELO LIMITANTES.

En este Informe solamente será posible entregar los resultados de 13 de los 15 suelos estudiados, dado que en dos de ellos, Mañil N<sup>o</sup> 4 y Mañil N<sup>o</sup> 5, las plantas fueron afectadas fuertemente en su crecimiento. Estas plantas, poco después de la emergencia y en la etapa de hoja simple, mostraron detención del desarrollo del meristema apical, y el ápice se volvió clorótico, en una sintomatología que hacía pensar en deficiencia de calcio. Sin embargo, esta sintomatología afectó a todos los tratamientos por igual, por lo que no estaba, aparentemente, asociada a alguno de los nutrientes incluidos en el diseño del ensayo tipo Chaminade, entre los que se encontraba el calcio.

Posteriormente, las plantas lograron reiniciar su crecimiento, originándose múltiples tallos de entrenudos cortos con los folíolos de las hojas compuestas alterados morfológicamente, siendo redondeados y no lanceolados, con una superficie rugosa y convexa. Sin embargo, el pobre crecimiento y la alteración generalizada de las plantas en todos los tratamientos no permitieron hacer evaluaciones entre ellos.

Análisis foliares comparativos con los de plantas de aspecto normal desarrolladas en otras muestras de suelo, mostraron tenores más elevados de aluminio y menores de calcio en los folíolos afectados, características que hicieron sospechar de

toxicidad de aluminio en esas muestras de suelos de la serie Mañil, derivada de cenizas volcánicas.

Durante la temporada de siembra 1989-1990, síntomas similares se presentaron en siembras comerciales de frejol en suelos de la Provincia de Ñuble. Análisis de raíces y hojas de plantas afectadas y sanas provenientes de estas siembras permiten, con bastante seguridad, sostener que algunos suelos de la zona tienen niveles de aluminio tóxicos para el frejol. Las siembras más afectadas se encontraban también en suelos derivados de cenizas volcánicas (Andepts), de las series Arrayán y Mañil.

Los resultados de las determinaciones de nodulación (número y peso), peso seco aéreo y contenido total de nitrógeno de las plantas de frejol en cada tratamiento de fertilización, medidas al momento de la floración, de los ensayos Chaminade realizados con las 13 muestras de suelos, se presentan en las Tablas 31 a 43. El peso seco alcanzado a la madurez fisiológica por las plantas de las macetas fertilizadas con nitrógeno a la floración se incluye en la Tabla 44.

TABLA 31. NODULACION, PESO SECO Y CONTENIDO DE NITROGENO DE PLANTAS DE FREJOL CULTIVAR OPALO, AL ESTADO DE FLORACION, CULTIVADAS EN MACETAS CON MUESTRA DE SUELO ARENALES (Nº 1) SEGUN LA TECNICA DEL ELEMENTO FALTANTE. DATOS PROMEDIOS POR MACETA.

TRATAMIENTO	Nodulación		Parte aérea	
	Número	Peso	Peso	N total
		mg	g	mg
1. Fert. completa	349,0	620,3	7,630	152,6
2. Fert. completa S.I.	330,5	625,0	7,755	153,9
3. Testigo	71,5	121,6	5,045	96,6
4. Sin fósforo	159,0	242,7	5,575	95,9
5. Sin potasio	350,0	653,0	7,615	164,9
6. Sin calcio	310,0	568,9	7,040	141,2
7. Sin magnesio	396,0	658,4	7,235	151,0
8. Sin azufre	407,5	693,7	8,445	176,4
9. Sin micronutrientes	339,5	584,1	7,385	158,1
10. Fert. comercial	344,5	595,7	8,660	162,1

TABLA 32. NODULACION, PESO SECO Y CONTENIDO DE NITROGENO DE PLANTAS DE FREJOL CULTIVAR OPALO, AL ESTADO DE FLORACION, CULTIVADAS EN MACETAS CON MUESTRA DE SUELO LOMERIO (Nº 2) SEGUN LA TECNICA DEL ELEMENTO FALTANTE. DATOS PROMEDIOS POR MACETA.

TRATAMIENTO	Nodulación		Parte aérea	
	Número	Peso	Peso	N total
		mg	g	mg
1. Fert. completa	49,0	54,0	6,173	135,2
2. Fert. completa S.I.	50,0	59,1	6,440	132,1
3. Testigo	0,0	0,0	3,145	89,7
4. Sin fósforo	8,5	1,9	2,935	78,2
5. Sin potasio	29,0	18,7	5,930	139,7
6. Sin calcio	39,5	26,7	5,955	141,3
7. Sin magnesio	55,5	51,7	5,930	124,0
8. Sin azufre	75,0	79,0	5,885	138,9
9. Sin micronutrientes	52,0	33,5	6,180	131,4
10. Fert. comercial	15,0	4,9	6,175	122,6

TABLA 33. NODULACION, PESO SECO Y CONTENIDO DE NITROGENO DE PLANTAS DE FREJOL CULTIVAR OPALO, AL ESTADO DE FLORACION, CULTIVADAS EN MACETAS CON MUESTRA DE SUELO NEGRETE (Nº 3) SEGUN LA TECNICA DEL ELEMENTO FALTANTE. DATOS PROMEDIOS POR MACETA.

TRATAMIENTO	Nodulación		Parte aérea	
	Número	Peso	Peso	N total
		mg	g	mg
1. Fert. completa	73,0	118,4	7,125	122,2
2. Fert. completa S.I.	89,5	111,2	5,570	110,5
3. Testigo	67,5	69,1	5,860	103,8
4. Sin fósforo	50,5	71,8	5,920	105,3
5. Sin potasio	183,0	195,4	6,820	119,8
6. Sin calcio	88,0	88,7	5,725	105,7
7. Sin magnesio	72,0	92,0	6,800	119,0
8. Sin azufre	137,0	153,2	6,175	118,8
9. Sin micronutrientes	84,5	98,9	6,250	113,1
10. Fert. comercial	88,0	107,3	7,175	116,8

TABLA 34. NODULACION, PESO SECO Y CONTENIDO DE NITROGENO DE PLANTAS DE FREJOL CULTIVAR OPALO, AL ESTADO DE FLORACION, CULTIVADAS EN MACETAS CON MUESTRA DE SUELO ARRAYAN (Nº 6) SEGUN LA TECNICA DEL ELEMENTO FALTANTE. DATOS PROMEDIOS POR MACETA.

TRATAMIENTO	Nodulación		Parte aérea	
	Número	Peso	Peso	N total
		mg	g	mg
1. Fert. completa	146,5	162,7	6,045	104,2
2. Fert. completa S.I.	149,5	177,1	6,180	105,5
3. Testigo	2,0	0,5	2,440	87,7
4. Sin fósforo	8,5	4,7	3,600	93,6
5. Sin potasio	207,5	192,8	6,020	103,3
6. Sin calcio	156,0	192,5	6,215	106,9
7. Sin magnesio	180,0	219,2	6,140	106,5
8. Sin azufre	109,5	136,3	6,255	107,6
9. Sin micronutrientes	87,0	161,8	6,120	107,4
10. Fert. comercial	93,0	157,9	6,655	96,7

TABLA 35. NODULACION, PESO SECO Y CONTENIDO DE NITROGENO DE PLANTAS DE FREJOL CULTIVAR OPALO, AL ESTADO DE FLORACION, CULTIVADAS EN MACETAS CON MUESTRA DE SUELO ARRAYAN (Nº 7) SEGUN LA TECNICA DEL ELEMENTO FALTANTE. DATOS PROMEDIOS POR MACETA.

TRATAMIENTO	Nodulación		Parte aérea	
	Número	Peso	Peso	N total
		mg	g	mg
1. Fert. completa	468,0	388,0	6,620	114,8
2. Fert. completa S.I.	464,5	390,2	6,485	106,5
3. Testigo	123,0	98,8	3,785	56,5
4. Sin fósforo	64,5	50,9	3,665	62,2
5. Sin potasio	503,0	480,5	6,645	115,2
6. Sin calcio	490,5	354,9	6,760	106,4
7. Sin magnesio	432,5	414,1	6,345	99,8
8. Sin azufre	402,0	340,5	6,315	95,3
9. Sin micronutrientes	456,5	375,3	6,375	90,8
10. Fert. comercial	387,5	333,9	6,665	94,7

TABLA 36. NODULACION, PESO SECO Y CONTENIDO DE NITROGENO DE PLANTAS DE FREJOL CULTIVAR OPALO, AL ESTADO DE FLORACION CULTIVADAS EN MACETAS CON MUESTRA DE SUELO ARRAYAN (Nº 8) SEGUN LA TECNICA DEL ELEMENTO FALTANTE. DATOS PROMEDIOS POR MACETA.

TRATAMIENTO	Nodulación		Parte aérea	
	Número	Peso	Peso	N total
		mg	g	mg
1. Fert. completa	135,5	117,5	6,105	97,6
2. Fert. completa S.I.	23,5	30,9	5,295	75,7
3. Testigo	0,5	0,3	4,175	63,5
4. Sin fósforo	19,5	8,9	4,980	65,8
5. Sin potasio	150,0	152,8	6,090	96,9
6. Sin calcio	84,0	94,7	6,375	94,0
7. Sin magnesio	110,5	153,8	6,315	96,0
8. Sin azufre	99,5	96,7	6,285	93,7
9. Sin micronutrientes	106,0	106,9	6,210	94,7
10. Fert. comercial	106,0	141,5	6,695	99,4

TABLA 37. NODULACION, PESO SECO Y CONTENIDO DE NITROGENO DE PLANTAS DE FREJOL CULTIVAR OPALO, AL ESTADO DE FLORACION, CULTIVADAS EN MACETAS CON MUESTRA DE SUELO COLLIPULLI (N 9) SEGUN LA TECNICA DEL ELEMENTO FALTANTE. DATOS PROMEDIOS POR MACETA.

TRATAMIENTO	Nodulación		Parte aérea	
	Número	Peso	Peso	N total
		mg	g	mg
1. Fert. completa	60,5	102,9	2,260	48,0
2. Fert. completa S.I.	11,0	5,3	1,965	41,0
3. Testigo	46,5	19,9	1,260	26,4
4. Sin fósforo	49,0	19,6	1,200	25,2
5. Sin potasio	69,0	47,1	1,615	35,1
6. Sin calcio	40,0	117,9	2,525	51,0
7. Sin magnesio	27,0	107,1	2,590	48,3
8. Sin azufre	35,5	100,1	2,495	50,5
9. Sin micronutrientes	46,0	123,2	2,050	38,5
10. Fert. comercial	23,0	40,6	1,490	34,2

TABLA 38. NODULACION, PESO SECO Y CONTENIDO DE NITROGENO DE PLANTAS DE FREJOL CULTIVAR OPALO, AL ESTADO DE FLORACION, CULTIVADAS EN MACETAS CON MUESTRA DE SUELO COLLIPULLI (Nº 10) SEGUN LA TECNICA DEL ELEMENTO FALTANTE. DATOS PROMEDIOS POR MACETA.

TRATAMIENTO	Nodulación		Parte aérea	
	Número	Peso	Peso	N total
		mg	g	mg
1. Fert. completa	48,5	143,7	2,570	53,5
2. Fert. completa S.I.	20,5	47,3	1,850	33,8
3. Testigo	43,5	117,2	1,560	33,4
4. Sin fósforo	21,5	48,2	1,565	34,4
5. Sin potasio	75,0	187,9	2,660	56,1
6. Sin calcio	98,0	174,1	2,850	59,5
7. Sin magnesio	82,0	174,3	3,115	75,8
8. Sin azufre	82,0	178,8	2,890	71,2
9. Sin micronutrientes	79,0	127,1	2,305	44,9
10. Fert. comercial	45,5	127,1	2,105	44,6

TABLA 39. NODULACION, PESO SECO Y CONTENIDO DE NITROGENO DE PLANTAS DE FREJOL CULTIVAR OPALO, AL ESTADO DE FLORACION, CULTIVADAS EN MACETAS CON MUESTRA DE SUELO SAN CARLOS (N 11) SEGUN LA TECNICA DEL ELEMENTO FALTANTE. DATOS PROMEDIOS POR MACETA.

TRATAMIENTO	Nodulación		Parte aérea	
	Número	Peso	Peso	N total
		mg	g	mg
1. Fert. completa	190,5	320,4	7,095	186,6
2. Fert. completa S.I.	297,0	278,4	6,730	183,8
3. Testigo	58,0	57,7	4,670	130,5
4. Sin fósforo	49,5	83,8	4,780	128,8
5. Sin potasio	175,0	269,2	6,810	170,4
6. Sin calcio	109,0	301,7	7,535	188,3
7. Sin magnesio	164,5	311,8	6,700	168,8
8. Sin azufre	115,0	274,9	6,845	172,5
9. Sin micronutrientes	142,0	298,9	7,125	162,9
10. Fert. comercial	168,0	247,9	6,120	141,6

TABLA 40. NODULACION, PESO SECO Y CONTENIDO DE NITROGENO DE PLANTAS DE FREJOL CULTIVAR OPALO, AL ESTADO DE FLORACION, CULTIVADAS EN MACETAS CON MUESTRA DE SUELO SAN CARLOS (Nº 12) SEGUN LA TECNICA DEL ELEMENTO FALTANTE. DATOS PROMEDIOS POR MACETA.

TRATAMIENTO	Nodulación		Parte aérea	
	Número	Peso	Peso	N total
		mg	g	mg
1. Fert. completa	193,5	225,8	4,890	94,8
2. Fert. completa S.I.	198,0	215,2	4,465	90,2
3. Testigo	36,5	99,4	4,010	88,5
4. Sin fósforo	114,0	198,7	4,365	91,0
5. Sin potasio	147,5	188,0	5,020	104,1
6. Sin calcio	262,5	261,6	4,965	103,2
7. Sin magnesio	271,5	228,4	4,945	106,2
8. Sin azufre	245,5	228,0	5,170	109,9
9. Sin micronutrientes	345,5	301,2	4,935	109,8
10. Fert. comercial	389,0	266,6	5,140	103,3

TABLA 41. NODULACION, PESO SECO Y CONTENIDO DE NITROGENO DE PLANTAS DE FREJOL CULTIVAR OPALO, AL ESTADO DE FLORACION, CULTIVADAS EN MACETAS CON MUESTRA DE SUELO COIHUECO (N 13) SEGUN LA TECNICA DEL ELEMENTO FALTANTE. DATOS PROMEDIOS POR MACETA.

TRATAMIENTO	Nodulación		Parte aérea	
	Número	Peso	Peso	N total
		mg	g	mg
1. Fert. completa	185,5	198,9	6,220	127,3
2. Fert. completa S.I.	180,0	169,5	6,125	121,9
3. Testigo	20,5	36,4	4,130	88,9
4. Sin fósforo	60,5	68,3	4,190	92,9
5. Sin potasio	192,5	237,1	6,535	131,1
6. Sin calcio	162,0	214,5	5,625	114,1
7. Sin magnesio	201,0	179,6	6,210	124,2
8. Sin azufre	141,5	152,2	5,855	118,0
9. Sin micronutrientes	210,0	216,6	6,230	119,1
10. Fert. comercial	157,5	171,0	6,120	125,2

TABLA 42. NODULACION, PESO SECO Y CONTENIDO DE NITROGENO DE PLANTAS DE FREJOL CULTIVAR OPALO, AL ESTADO DE FLORACION, CULTIVADAS EN MACETAS CON MUESTRA DE SUELO BULNES (Nº 14) SEGUN LA TECNICA DEL ELEMENTO FALTANTE. DATOS PROMEDIOS POR MACETA.

TRATAMIENTO	Nodulación		Parte aérea	
	Número	Peso	Peso	N total
		mg	g	mg
1. Fert. completa	164,5	185,1	6,810	145,1
2. Fert. completa S.I.	69,5	113,0	5,715	125,7
3. Testigo	0,0	0,0	3,975	96,0
4. Sin fósforo	24,5	11,2	4,500	104,9
5. Sin potasio	234,5	261,3	6,930	155,9
6. Sin calcio	132,0	246,1	7,045	121,1
7. Sin magnesio	135,0	183,5	6,975	130,1
8. Sin azufre	157,5	162,3	6,165	140,0
9. Sin micronutrientes	184,5	232,7	6,200	126,8
10. Fert. comercial	63,0	140,1	6,260	106,1

TABLA 43. NODULACION, PESO SECO Y CONTENIDO DE NITROGENO DE PLANTAS DE FREJOL CULTIVAR OPALO, AL ESTADO DE FLORACION, CULTIVADAS EN MACETAS CON MUESTRA DE SUELO QUELLA (N 15) SEGUN LA TECNICA DEL ELEMENTO FALTANTE. DATOS PROMEDIOS POR MACETA.

TRATAMIENTO	Nodulación		Parte aérea	
	Número	Peso	Peso	N total
		mg	g	mg
1. Fert. completa	349,5	420,5	7,090	130,5
2. Fert. completa S.I.	388,0	407,0	6,790	124,4
3. Testigo	24,5	14,5	4,730	111,9
4. Sin fósforo	96,0	38,2	5,875	118,5
5. Sin potasio	277,0	334,5	7,730	128,0
6. Sin calcio	432,5	389,6	6,070	106,3
7. Sin magnesio	410,5	402,0	7,665	138,6
8. Sin azufre	536,5	307,7	7,475	125,6
9. Sin micronutrientes	755,0	576,8	7,630	125,9
10. Fert. comercial	538,0	340,7	7,060	127,4

TABLA 44. PESO SECO DE LA PARTE AEREA DE PLANTAS DE FREJOL CULTIVAR OPALO, A LA MADUREZ FISIOLÓGICA, CULTIVADAS EN MACETAS CON MUESTRAS DE SUELOS Y FERTILIZACIÓN NITROGENADAS, SEGUN EL METODO DEL ELEMENTO FALTANTE. DATOS PROMEDIOS POR MACETA.

MUESTRA	SUELO	TRATAMIENTOS									
		C.I.	C.N.I.	T	-P	-K	-Ca	-Mg	-S	-Mic.	F.C.
		----- g/maceta -----									
1	Arenales	18,425	18,750	13,800	11,825	18,800	19,450	16,520	16,170	17,740	14,895
2	Lomerío	13,180	13,110	5,795	4,155	12,115	12,460	12,920	12,245	12,860	10,445
3	Negrete	8,690	7,250	4,355	7,625	8,310	6,840	8,095	7,930	10,700	9,640
6	Arrayán	13,890	12,675	7,310	8,060	13,155	14,710	14,345	14,555	14,128	12,595
7	Arrayán	13,610	13,920	10,500	9,225	13,480	12,325	13,405	13,700	12,600	13,070
8	Arrayán	14,160	14,280	14,600	13,510	14,930	17,100	15,960	15,810	15,240	13,450
9	Collipulli	5,370	5,385	2,015	2,375	5,310	4,025	4,870	5,025	4,970	4,935
10	Collipulli	5,735	4,385	5,735	5,190	5,145	5,970	5,590	6,270	4,555	4,605
11	San Carlos	11,050	9,860	7,750	8,155	11,260	10,230	11,320	10,460	10,405	10,810
12	San Carlos	16,073	16,430	13,345	13,485	15,560	15,890	15,420	15,080	14,910	14,930
13	Coihueco	6,220	6,125	4,130	4,190	6,535	5,625	6,210	5,855	6,230	6,120
14	Bulnes	10,360	9,695	5,390	6,180	9,995	9,795	9,045	8,470	9,130	9,155
15	Quella	10,750	9,705	5,860	7,805	9,215	9,730	10,770	6,755	10,505	9,575

T = Testigo, sin fertilización.

C.N.I. = Fertilización completa sin inoculación.

C.I. = Fertilización completa con inoculación

## RESULTADOS (Continuación)

### ETAPA IV. ENSAYOS DE TERRENO:

En este Informe solamente será posible entregar los resultados de control del estado de las plantas al momento de la floración en cuatro de los cinco ensayos de terreno, dado que en uno de ellos, Los Castaños, hubo un bajo porcentaje de germinación a pesar del adecuado grado de humedad del suelo al momento de la siembra. Un análisis de germinación en laboratorio de semillas obtenidas de las hileras de siembra mostró que estaban viables. Este hecho unido a la no germinación de malezas en el ensayo y a la emergencia tardía (enero) de plantas de frejol, indica, con bastante seguridad, que en ese predio se hizo una aplicación de una sobredosis del herbicida de preemergencia usado por el agricultor en su siembra y que afectó al ensayo.

Además, a pesar de estar todas los bloques y parcelas del ensayo delimitados por estacas y de haber avisado oportunamente al personal de los predios encargado de los cultivos que personal de la Universidad efectuaría la cosecha y que los ensayos no fueran tocados, dos de ellos, Los Lirios y Sta. Clara, fueron cosechados por el agricultor, perdiéndose los resultados. Esto se debió, al parecer, a que la cosecha fué en forma mecanizada y a cargo de terceros.

En las Tablas 45 a 48 se muestran los resultados, valores promedio de las tres repeticiones, del estado de nodulación y del

peso seco de la parte aérea y en la Tabla 49 los resultados del análisis foliar, de las plantas de frejol a la floración, de los ensayos realizados en los predios FACAVYF, Los Lirios, El Olivar y Sta. Clara. En la Tabla 50 se muestran los rendimientos alcanzados por el frejol en los ensayos FACAVYF y El Olivar.

TABLA 45. NODULACION Y PESO SECO DE LA PARTE AEREA DE PLANTAS DE FREJOL CULTIVAR PINTO 114, AL ESTADO DE FLORACION, DEL ENSAYO EFECTUADO EN EL PREDIO "FACAVYF". VALORES PROMEDIOS POR SEIS PLANTAS.

TRATAMIENTO	Nodulación		Peso aéreo
	Número	Peso	
		mg	g
1. Testigo	41,7	98,0	28,57
2. SFT 100	119,0	242,3	39,56
3. " 200	103,7	175,3	41,36
4. " 400	226,7	349,7	55,05
5. " 200 + Cal	145,7	205,7	48,46
6. SFT 100 + SPM 50	84,0	155,3	44,46
7. " 200 + " 100	167,3	263,3	44,34
8. " 400 + " 200	179,7	353,0	62,16
9. " 200 + " 100 + Cal	207,3	297,7	49,44
10. No inoculado	100,3	197,7	47,52
11. Inoculado	147,7	269,0	50,21

TABLA 46. NODULACION Y PESO SECO DE LA PARTE AEREA DE PLANTAS DE FREJOL CULTIVAR SUNRAE, AL ESTADO DE FLORACION, DEL ENSAYO EFECTUADO EN EL PREDIO "LOS LIRIOS". VALORES PROMEDIOS POR SEIS PLANTAS.

TRATAMIENTO	Nodulación		Peso aéreo
	Número	Peso	
		mg	g
1. Testigo	0,0	0,0	15,31
2. SFT 100	0,0	0,0	15,17
3. " 200	0,0	0,0	17,08
4. " 400	0,0	0,0	21,78
5. " 200 + Cal	1,7	1,3	18,14
6. SFT 100 + SPM 50	0,0	0,0	23,84
7. " 200 + " 100	5,0	3,3	27,91
8. " 400 + " 200	0,0	0,0	30,39
9. " 200 + " 100 + Cal	0,0	0,0	32,72
10. No inoculado	0,0	0,0	34,61
11. Inoculado	0,3	< 0,1	33,18

TABLA 47. NODULACION Y PESO SECO DE LA PARTE AEREA DE PLANTAS DE FREJOL CULTIVAR KENTUCKY, AL ESTADO DE FLORACION, DEL ENSAYO EFECTUADO EN EL PREDIO "EL OLIVAR". VALORES PROMEDIOS POR SEIS PLANTAS.

TRATAMIENTO	Nodulación		Peso aéreo
	Número	Peso	
		mg	g
1. Testigo	0,3	0,3	13,98
2. SFT 100	22,0	14,3	21,34
3. " 200	54,7	41,7	24,69
4. " 400	133,0	110,3	25,82
5. " 200 + Cal	84,0	50,7	25,46
6. SFT 100 + SPM 50	34,3	29,3	24,24
7. " 200 + " 100	70,7	45,0	25,95
8. " 400 + " 200	85,3	108,7	28,53
9. " 200 + " 100 + Cal	78,0	61,7	26,03
10. No inoculado	17,0	4,3	22,59
11. Inoculado	68,3	56,7	24,96

TABLA 48. NODULACION Y PESO SECO DE LA PARTE AEREA DE PLANTAS DE FREJOL CULTIVAR BENTON, AL ESTADO DE FLORACION, DEL ENSAYO EFECTUADO EN EL PREDIO "STA. CLARA". VALORES PROMEDIOS POR SEIS PLANTAS.

TRATAMIENTO	Nodulación		Peso aéreo
	Número	Peso	
		mg	g
1. Testigo	152,0	130,7	29,73
2. SFT 100	257,3	455,3	32,65
3. " 200	221,0	362,7	33,32
4. " 400	416,7	813,0	38,92
5. " 200 + Cal	334,0	556,3	35,00
6. SFT 100 + SPM 50	288,3	531,3	32,36
7. " 200 + " 100	375,7	624,0	35,54
8. " 400 + " 200	459,7	913,7	39,87
9. " 200 + " 100 + Cal	412,7	881,0	39,30
10. No inoculado	381,7	752,0	30,15
11. Inoculado	407,7	849,0	37,62

TABLA 49. CONCENTRACIONES FOLIARES DE NUTRIENTES EN FREJOL, MEDIDAS AL MOMENTO DE LA FLORACION, EN RELACION A LOS LUGARES DE ENSAYO Y TRATAMIENTOS EMPLEADOS.

PREDIO	TRATAMIENTO	CONCENTRACION FOLIAR									
		N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mg	Zn	Cu	Al
		----- % ----- ppm -----									
FACAVYP	1 Testigo	2,96	0,17	1,15	2,87	0,31	1080	192	19,2	13,6	432
	2 SPT 100	2,88	0,17	1,03	2,61	0,31	1180	172	22,8	9,2	300
	3 " 200	2,48	0,13	1,24	1,84	0,26	628	172	13,6	10,8	528
	4 " 400	2,83	0,15	1,00	2,29	0,28	432	168	16,4	21,2	220
	5 " 200 + Cal	2,79	0,14	0,97	2,68	0,30	668	140	15,6	23,2	272
	6 SPT 100 + SPM 50	3,02	0,15	0,91	2,97	0,31	1128	240	44,8	21,2	248
	7 " 200 + " 100	2,60	0,14	1,54	2,43	0,28	820	232	26,8	22,8	424
	8 " 400 + " 200	2,73	0,15	0,59	2,38	0,29	392	152	15,2	26,0	208
	9 " 200 + " 100 + Cal	2,87	0,16	0,76	2,59	0,31	552	156	20,4	18,8	392
LOS LIRIOS	1 Testigo	5,40	0,29	0,88	3,17	0,55	554	104	29,6	14,4	1124
	2 SPT 100	5,19	0,28	0,66	3,88	0,56	788	180	28,0	10,0	1604
	3 " 200	4,67	0,29	0,64	3,71	0,55	972	164	26,0	9,2	2124
	4 " 400	4,75	0,47	0,78	3,80	0,55	612	124	24,8	14,4	932
	5 " 200 + Cal	4,87	0,33	0,65	3,73	0,56	532	188	24,4	4,0	853
	6 SPT 100 + SPM 50	4,97	0,34	0,89	3,23	0,53	388	168	27,2	16,4	560
	7 " 200 + " 100	5,12	0,42	0,92	3,37	0,54	408	180	27,2	8,8	840
	8 " 400 + " 200	5,51	0,44	1,00	2,60	0,48	332	156	27,2	7,6	700
	9 " 200 + " 100 + Cal	5,42	0,34	0,98	2,83	0,51	252	152	24,0	9,2	480
EL OLIVAR	1 Testigo	3,65	0,17	0,78	1,66	0,43	312	88	22,4	22,4	368
	2 SPT 100	3,61	0,16	0,61	1,50	0,38	204	96	16,8	14,4	152
	3 " 200	3,64	0,18	0,97	1,40	0,41	280	104	19,2	11,6	328
	4 " 400	3,47	0,17	0,73	1,71	0,46	268	116	12,8	6,8	356
	5 " 200 + Cal	3,61	0,14	0,65	1,21	0,37	228	88	17,6	10,0	264
	6 SPT 100 + SPM 50	3,55	0,16	0,78	1,47	0,40	180	120	18,0	8,0	176
	7 " 200 + " 100	3,45	0,17	0,82	1,81	0,44	237	92	16,4	10,0	288
	8 " 400 + " 200	3,51	0,18	1,15	1,54	0,41	272	92	16,0	14,8	316
	9 " 200 + " 100 + Cal	3,49	0,17	0,84	1,57	0,40	240	88	15,6	15,2	284
STA. CLARA	1 Testigo	3,80	0,24	0,97	1,51	0,42	332	80	20,4	11,2	516
	2 SPT 100	3,98	0,23	0,88	1,55	0,45	388	100	17,6	16,0	452
	3 " 200	3,61	0,25	1,07	1,77	0,50	412	88	18,4	10,0	584
	4 " 400	3,82	0,26	1,06	1,57	0,46	304	84	16,4	10,8	492
	5 " 200 + Cal	3,95	0,28	1,09	1,72	0,44	296	68	18,0	8,4	552
	6 SPT 100 + SPM 50	3,66	0,24	0,88	1,46	0,44	312	84	18,8	14,0	364
	7 " 200 + " 100	3,85	0,28	0,76	1,42	0,45	364	76	20,8	6,0	440
	8 " 400 + " 200	4,13	0,29	1,22	1,81	0,48	356	96	17,2	16,4	348
	9 " 200 + " 100 + Cal	3,73	0,26	1,03	1,72	0,44	280	100	16,0	7,6	192

TABLA 50. EFECTO DE LA FERTILIZACION, ENCALADO E INOCULACION EN EL RENDIMIENTO DE GRANO DEL FREJOL EN DOS LUGARES DE ENSAYO, FACAVYF Y EL OLIVAR. PROMEDIOS DE TRES REPETICIONES.

TRATAMIENTO	RENDIMIENTO , qq/ha	
	FACAVYF	EL OLIVAR
1. Testigo	18,58	6,14
2. SFT 100	23,48	8,26
3. " 200	27,10	8,02
4. " 400	35,69	8,44
5. " 200 + Cal	28,36	10,48
6. SFT 100 + SPM 50	25,30	15,48
7. " 200 + " 100	29,21	17,52
8. " 400 + " 200	41,72	18,58
9. " 200 + " 100 + Cal	32,38	21,39
10. No inoculado	25,57	17,93
11. Inoculado	28,97	21,31

## DISCUSION

### ETAPA I. PROSPECCION DE SIEMBRAS COMERCIALES.

#### 1.- Distribución de las siembras de frejol muestradas según la textura de los suelos.

Según el INIE, la VIII Región es la que dedica la mayor superficie a la siembra de frejol en el país. Cuando está involucrada una superficie de suelos agrícolas tan extensa (30.000 Há), es necesario partir de la premisa básica que estos difieren en sus propiedades químicas y físicas. El muestreo efectuado en este trabajo debería dar una buena información de los suelos que son utilizados preferentemente por los productores de frejol para sus siembras comerciales. Por esta razón se ha estimado conveniente agrupar los 148 sitios experimentales de acuerdo a su textura, esto es, según el tamaño de las partículas constituyentes del suelo.

La Tabla 51 permite establecer que en la VIII Región las siembras de frejol se encuentran mayoritariamente en suelos de texturas finas (arcilla densa, arcilla poco densa, franco arcillosa;  $11 + 63 + 36 = 110$ ), que corresponden al 74% del total de sitios visitados (148).

#### 2.- Presencia de nodulación en el frejol y su asociación con la textura del suelo.

Un aspecto que merece atención en las siembras de frejol de la VIII Región dice relación con la frecuencia de ausencia de

TABLA 51. TEXTURA DE LOS SUELOS SEMBRADOS CON FREJOL CORRESPONDIENTES A 148 SITIOS DE LA VIII REGION.

Textura	Número	%
Arcilla densa	11	7,4
Arcilla poco densa	63	42,6
Arcillo arenosa	1	0,7
Franco arcillosa	36	24,3
Franco arcillo arenosa	2	1,4
Franca	9	6,1
Franco arenosa	11	7,4
Arena	15	10,1
<b>TOTAL</b>	<b>148</b>	<b>100,0</b>

TABLA 52. PRESENCIA DE NODULACION Y VALORES PROMEDIOS DE NUMERO Y PESO SECO DE NODULOS POR PLANTA EN MUESTRAS NODULADAS, DE ACUERDO A LA TEXTURA DE LOS SUELOS.

TEXTURA	Número muestras	Nodulación			
		Negativa		Positiva	
		No.	%	Nódulos por planta Número	Peso
Arcilla densa	11	1	9,1	7,80	3,04
Arcilla poco densa	63	12	19,1	7,80	3,04
Arcillo arenosa	1	0	0,0	12,70	9,00
Franco arcillosa	36	9	25,0	12,37	16,55
Subtotal	111	22	19,8	10,15	13,25
Franco arcillo arenosa	2	0	0,0	11,50	16,70
Franca	9	0	0,0	7,51	13,26
Franco arenosa	11	0	0,0	15,40	18,15
Arena	15	1	6,7	24,74	43,05
Subtotal	37	1	2,7	17,06	26,98
<b>TOTAL</b>	<b>148</b>	<b>23</b>	<b>15,5</b>	<b>12,11</b>	<b>17,05</b>

nodulación en las raíces de las plantas, puesto que en 23 casos (15,5 % de las siembras), las raíces no presentaban nódulos (Tabla 52). Al ordenar las muestras vegetales de acuerdo a la textura de los suelos se comprueba que la falta de nodulación se detecta más frecuentemente en plantas que crecen en suelos de textura pesada; así, se presenta en un 19,8 % de los cultivos sobre suelos de texturas más finas (arcilla densa, arcilla poco densa, arcillo arenosa y franco arcillosa), frente a solo un 2,7 % sobre suelos más livianos de las texturas franco arcillo arenosa, franca, arcillo arenosa, franco arenosa y arena. También se deduce a partir de la Tabla 52, que el número de nódulos por planta y el peso de nódulos por planta aumenta al hacerse más gruesa la textura; los nódulos, por planta, de los frejoles que crecen en suelos de textura arena son 3,17 veces más numerosos y pesan 14,16 veces más que la de aquellos que se cultivan en suelos de textura arcilla densa.

Llama la atención, en general, la pobre nodulación de las plantas que presentan nódulos. Es así como el número promedio de nódulos por planta alcanza a 12,1 y su peso promedio a 17,05 mg (Tabla 52), cifras que son muy inferiores a las obtenidas en un ensayo de evaluación de la capacidad de nodulación de 30 cultivares de frejol, realizado en la Estación Experimental de la Universidad de Concepción, en Chillán, también durante la temporada de siembra 1986-1987, y que fueron a la floración, en promedio, de 58,33 nódulos por planta, con un peso de 121,66 mg.

Los parámetros de la nodulación, en ambos casos, son los siguientes:

	Nódulos	Valores por planta	
		promedio	Rango
Proyecto FIA	Número	12,11	0,2 - 163,0
	Peso (mg)	17,05	0,1 - 452,7
Ensayo U. de C.	Número	58,33	29,1 - 122,2
	Peso (mg)	121,66	68,3 - 242,5

Solamente en dos de las 148 siembras visitadas, las muestras de plantas de frejol mostraron una número de nódulos superior al promedio del ensayo de 30 variedades, y en una el peso de los nódulos fué superior al promedio obtenido en el mismo ensayo.

Los resultados expuestos dejan abierta la interrogante que la nodulación está respondiendo a uno, o más, de los siguientes factores:

- i) Al oxígeno, por ser su concentración más elevada en suelos arenosos.
- ii) A la absorción de nutrientes (P, K, Ca, Mg, etc.) por los coloides inorgánicos abundantes en suelos de textura pesada, o bien a la inmovilización de nutrientes (S, B, Mg, etc.) en estos mismos suelos, generalmente más ricos en materia orgánica.
- iii) A otros factores químicos y/o físicos del suelo, tales como profundidad, pH, capacidad de intercambio de cationes, concentración de elementos nutritivos del complejo coloidal, etc.

### 3.- Características químicas de los suelos, medidas a la floración del frejol, separadas según la textura.

De los valores dados en la Tabla 53, y que corresponden a los valores promedio de las propiedades químicas determinadas en las 148 muestras de suelos recolectadas durante la floración del frejol, separados por clases texturales y para el total de suelos, se puede deducir que todos los valores promedio de P-Olsen

TABLA 53. CARACTERISTICAS QUIMICAS DE LOS SUELOS, MEDIDAS A LA FLORACION DEL PREJOL, SEPARADAS SEGUN LAS CLASES TEXTURALES. VALORES PROMEDIO.

Textura	pH	Mat. Org.	N-NO3	P Olsen	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
		%	---- ppm ----		----- meq/100 g -----			----- ppm -----			
Arcilla densa	6,00	5,39	19,91	7,64	0,62	9,59	3,29	242	272	3,66	8,22
Arcilla poco densa	6,06	6,09	23,23	9,25	0,72	9,97	3,05	258	163	4,87	6,63
Arcillo arenosa	6,20	8,20	13,00	27,10	0,35	10,40	1,23	168	48	7,90	6,00
Franco arcillosa	6,04	8,68	26,75	8,98	0,62	8,61	2,21	192	78	4,99	4,53
Franco arcillo arenosa	6,25	1,55	19,00	4,25	0,34	7,80	3,09	245	139	2,70	5,00
Franca	6,34	8,77	24,89	8,00	0,69	8,06	2,21	130	46	2,09	4,64
Franco arenosa	6,75	2,96	11,55	7,25	0,27	6,05	5,16	247	109	4,23	7,19
Arena	6,55	2,22	16,33	6,85	0,20	2,92	2,70	189	68	3,60	3,93
<b>TOTAL SUELOS</b>	<b>6,17</b>	<b>6,16</b>	<b>22,29</b>	<b>8,65</b>	<b>0,59</b>	<b>8,46</b>	<b>2,92</b>	<b>225</b>	<b>128</b>	<b>4,45</b>	<b>5,86</b>

son bajos, cualquiera sea la clase textural. Este punto merece especial cuidado, porque ello no dice necesariamente que dichos suelos no han sido fertilizados con fosfato, sino que la concentración de P-Olsen presente en los suelos, en el período de floración del frejol, es escasa. Es relevante esta propiedad de los suelos cultivados con frejol en la VIII Región, porque la época de mayor absorción de fósforo por el cultivo va, aproximadamente, desde los 30 hasta los 55 días de emergencia, o sea, desde el estado fisiológico anterior a la aparición de los botones florales hasta el final de la floración (14). Bien puede ocurrir que las dosis de fósforo aplicadas a la siembra sean insuficientes para satisfacer los requerimientos de fósforo del frejol en el período de máxima demanda antes descrito. Básicamente habría que contemplar dos situaciones extremas:

- i) Los suelos de textura liviana no retienen el fósforo aplicado a la siembra cuando adiciones excesivas de agua, por lluvias o riego, arrastran el nutrimento en el perfil de suelo. La posterior absorción del fósforo por el frejol se verá perjudicada porque el agua arrastró este elemento más allá de la profundidad de penetración de las raíces.
- ii) Los suelos superficialmente ricos en coloides activos, en especial sesquióxidos, van a disminuir considerablemente la concentración inicial en la fase líquida del fósforo agregado al suelo en el fertilizante, con lo cual se definen concentraciones insuficientes en la planta. Esta condición se verá agravada especialmente cuando dichos suelos tengan exceso de humedad, favoreciendo la sorción de fósforo en desmedro del frejol. Es posible que tal situación generada por un exceso de humedad pueda revertirse mediante la misma práctica de cincelado aplicada a la remolacha en suelos similares de la VIII Región, y que ha dado buenos resultados.

Las clases texturales más problemáticas para la nodulación del frejol son, precisamente, las que tienen menor pH. El análisis

sis de los datos de nodulación (Tabla 52) y de pH de los suelos (Tabla 53) indica que la nodulación se ve afectada en suelos con valores de pH inferiores a 6,3 , lo cual podría estar relacionado con la nutrición cálcica de la planta.

Muzilli, citado por Rosolem (14), considera que la cantidad de cal a aplicar a las siembras de frejol debe ser lo suficientemente elevada como para alcanzar un pH (agua) igual a 6,5 en la suspensión de suelo y neutralizar totalmente al aluminio de intercambio. Este antecedente es concordante con el de Bittencourt et al., citados por Rosolem (14), cuando estiman que la producción máxima del frejol se alcanza, en Brasil, en suelos que tienen un porcentaje de saturación del orden del 70 %.

En la Tabla 54 se muestra que, según Tosso (20), la serie Arenales, de textura liviana, se caracteriza por poseer los mayores porcentajes de saturación de cationes, aunque sin llegar en los primeros 50 cm de profundidad al valor de 70 % que indican Bittencourt et al. A excepción de la serie Arenales, en todas las series de suelos la capacidad de intercambio de cationes sobrepasa a los 30 meq/100 g de suelo. Por lo tanto, al relacionar este valor con la suma de los valores promedios de K, Ca y Mg de intercambio de la Tabla 53, excluida la textura arena, se determina que el grado de saturación es:

$$100 \times \frac{[ K + Ca + Mg ]}{[ CIC ]} = 100 \times \frac{13,2 \text{ mg}}{30,0 \text{ mg}} = 44 \%$$

y el valor para el conjunto de suelos recolectados es de:

$$100 \times \frac{11,97 \text{ mg}}{30,00 \text{ mg}} = 39,9 \%$$

TABLA 54. PORCENTAJE DE SATURACION DE BASES DE ALGUNOS SUELOS DE LA VIII REGION, A DISTINTAS PROFUNDIDADES. (Fuente: Tosso, (20)).

Serie	Profundidad		Capacidad int. cationes	Grado de saturación
	cm		meq/100 g suelo	%
Diguillín	0	- 17	37,7	33
	17	- 44	41,7	26
	44	- 60	38,0	23
Pueblo Seco	0	- 11	40,3	28
	11	- 22	37,4	24
	22	- 46	31,7	13
Arrayán	0	- 2	43,8	55
	2	- 28	44,5	25
	28	- 43	36,0	33
	43	- 85	29,8	20
Collipulli	0	- 14	35,4	27
	14	- 50	29,0	27
	50	- 97	27,1	32
	97	- 135	27,8	28
Mirador	0	- 17	36,7	42
	17	- 40	32,0	49
	40	- 60	35,0	48
	60	- 100	31,4	52
Arenales	0	- 20	7,4	51
	20	- 50	10,8	63
	50	- 70	6,6	70
	>	70	5,5	64

Estos antecedentes señalan que, de reproducirse en la VIII Región el comportamiento del frejol observado en Brasil, los contenidos de calcio en los suelos son insuficientes para una buena nodulación y crecimiento, pues el porcentaje de saturación de cationes alcanza valores muy inferiores al 70 % definido como adecuado por Bittencourt et al. Esta situación puede crear las condiciones necesarias para que se originen sensibilidades diferenciales entre variedades a la presencia de manganeso y/o aluminio en el suelo.

Vieira, citado por Rosolem (14), relaciona directamente la producción del frejol con el pH del suelo medido en una suspensión en agua. Postula que cuando el pH es inferior a 5,5 y 6,1 aumentan las concentraciones de aluminio y manganeso, respectivamente. Esta situación genera toda una problemática de tolerancia a la acidez por las distintas variedades de frejol, junto al efecto que dicha acidez tiene sobre los rizobios.

Hernani, citado por Rosolem (14), considera que el frejol es una de las plantas más sensibles a la toxicidad de aluminio, constituyendo el conocimiento de la sensibilidad de las variedades a las toxicidades de aluminio y manganeso una herramienta muy útil para el adecuado manejo del frejol bajo las distintas condiciones de campo. Sin embargo, Miranda y Lobato, citados por Rosolem (14), demuestran que la resistencia del frejol a las condiciones de acidez depende del nivel de fósforo presente en el medio; se requiere una menor cantidad de fósforo para alcanzar una determinada producción mientras menor sea la saturación del suelo con aluminio. Estos antecedentes han permitido clasificar las variedades de frejol (14) según su:

- a) Tolerancia al aluminio, en : tolerantes  
 medianamente sensibles  
 sensibles
- b) Tolerancia al manganeso, en : medianamente sensibles  
 sensibles

De los análisis de suelos dados en la Tabla 53 se deduce que no hay una deficiencia generalizada de potasio. Sin embargo, se debe reconocer que los suelos de texturas arena y franco arenosa son pobres en potasio de intercambio. Además, la concentración de potasio comparada a las de calcio y magnesio, medida por la relación de actividad de potasio según la ecuación general:

$$\text{relación de actividad de K} = \frac{[K]}{[Ca] + [Mg]}$$

donde [K] = K de intercambio (meq/100 g suelo)  
 [Ca] = Ca " "  
 [Mg] = Mg " "

es inadecuada para algunas texturas, como se observa en la Tabla 55. De acuerdo a estos valores, calculados a partir de las respectivas concentraciones promedio de las fracciones de intercambio, se espera la manifestación de una deficiencia de potasio únicamente en frejoles cultivados sobre suelos de las texturas arena y franco arenosa. Además, conviene reparar en el hecho que suelos con texturas livianas tienen más magnesio de intercambio por átomo de calcio de intercambio, que los suelos de texturas pesadas. Por lo tanto, el problema de deficiencia de magnesio debería afectar más a los frejoles creciendo en suelos arcillosos que en suelos arenosos.

Los contenidos de micronutrientes extractables, dados en la Tabla 53, no deberían crear problemas en la nutrición del frejol,

TABLA 55. RELACION DE ACTIVIDAD DE POTASIO EN SUELOS CON FREJOL, AGRUPADOS SEGUN SU TEXTURA.

Textura	Relacion actividad potasio		
	[K]		[Ca]
	[Ca] + [Mg]		[Mg]
Arcilla densa	0,1707	= 1 : 5,858	2,888
Arcilla poco densa	0,1995	= 1 : 5,013	3,269
Franco arcillosa	0,1885	= 1 : 5,305	3,896
Franca	0,2153	= 1 : 4,647	3,629
Franco arenosa	0,0806	= 1 : 12,407	1,173
Arena	0,0844	= 1 : 11,854	1,082

TABLA 56. VALORES PROMEDIO DE LOS CONTENIDOS DE NUTRIENTES EN HOJAS DE FREJOL, DURANTE LA FLORACION, EN RELACION A LA TEXTURA DE LOS SUELOS.

Textura	Número de muestras	Contenido promedio de nutrientes									
		N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Zn	Cu
		%					ppm				
Arcilla densa	11	3,93	0,20	1,86	2,25	0,58	40,5	267	100,6	33,9	12,2
Arcilla poco densa	63	3,76	0,22	1,96	2,18	0,53	53,5	238	79,1	35,1	13,3
Franco arcillosa	36	3,91	0,21	2,05	2,00	0,47	59,7	225	63,9	32,2	11,7
Franca	9	3,78	0,18	2,14	1,75	0,43	71,8	222	36,6	32,8	11,1
Franco arenosa	11	3,90	0,25	1,98	1,40	0,73	76,8	209	53,4	35,2	13,5
Arena	15	3,78	0,21	1,89	1,66	0,76	90,5	227	48,4	27,8	12,3
Otras	3	3,24	0,16	1,52	3,18	0,57	55,4	248	97,9	29,1	12,0
<b>TOTAL MUESTRAS</b>	<b>148</b>	<b>3,81</b>	<b>0,21</b>	<b>1,97</b>	<b>2,02</b>	<b>0,55</b>	<b>60,7</b>	<b>233</b>	<b>69,8</b>	<b>33,3</b>	<b>12,5</b>

ya sea por carencias o toxicidades.

4.- Contenidos promedios de nutrientes en hojas de frejol, a la floración, según la textura del suelo sobre el cual se cultiva.

Los resultados de los análisis foliares, cuyos valores promedio se indican en la Tabla 56 y la clasificación, por clases texturales, de los niveles de macronutrientes en "adecuado", "medio" y "bajo" (14) dada en la Tabla 57, permiten formular algunas observaciones.

Los valores promedios para los contenidos de fósforo en la lámina foliar deben considerarse bajos a medios, ya que solamente un 4 % de las 148 muestras analizadas tienen un contenido adecuado de este elemento ( $\geq 0,40\%$ ), en comparación con un 49 % de casos con un contenido medio ( $0,20-0,39\%$ ) y un 47 % con un contenido bajo ( $\leq 0,20\%$ ). Conviene detenerse en el hecho que los frejoles creciendo en suelos de textura franca, muchos de ellos trumaos, son los más pobres en fósforo foliar y esto ocurre aún cuando estos suelos no sean los más pobres en P-Olsen. Esta realidad recomienda conceder, en futuros trabajos, una mayor atención a la fertilización fosfatada del frejol, especialmente en lo que concierne a dosis, forma de aplicación y, sobre todo, al momento de su adición al suelo.

El contenido de calcio foliar promedio de las 148 muestras se encuentra en un nivel considerado medio. Al calcular los valores promedio por clases texturales, las muestras foliares dan un contenido bajo en suelos de textura franco arenosa, contenidos medios en frejol cultivado en suelos de texturas arcilla

TABLA 57. NIVELES DE MACRONUTRIENTES EN HOJAS DE PREJOL, EN LA EPOCA DE FLORACION, EN RELACION A LA TEXTURA DE LOS SUELOS. CLASIFICACION EN ADECUADO (A), MEDIO (M) Y BAJO (B).

TEXTURA	Total de muestras	Clasificación del nivel del nutriente foliar *														
		N			P			K			Ca			Mg		
		A	M	B	A	M	B	A	M	B	A	M	B	A	M	B
----- % -----																
Arcilla densa	11	82	18	0	0	55	45	0	45	55	27	73	0	100	0	0
Arcilla poco densa	63	84	14	2	3	49	48	5	47	48	24	66	10	97	3	0
Franco arcillosa	36	89	11	0	3	50	47	16	42	42	17	72	11	100	0	0
Franca	9	78	22	0	0	56	44	11	56	33	0	67	33	100	0	0
Franco arenosa	11	91	9	0	9	55	36	0	64	36	0	45	55	100	0	0
Arena	15	87	13	0	6	47	47	0	40	60	7	60	33	100	0	0
Otras	3	67	33	0	0	0	100	0	0	100	100	0	0	100	0	0
-----																
<b>TOTAL MUESTRAS</b>	<b>148</b>	<b>85</b>	<b>14</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>49</b>	<b>47</b>	<b>7</b>	<b>46</b>	<b>47</b>	<b>19</b>	<b>65</b>	<b>16</b>	<b>99</b>	<b>1</b>	<b>0</b>

\* Según Rosolem (14):

Nutriente	Nivel (%)		
	Bajo	Medio	Adecuado
N	< 2,0	2,00 - 2,90	3,00 - 3,50
P	< 0,2	0,20 - 0,39	0,40 - 0,70
K	< 0,2	2,00 - 2,60	2,70 - 3,50
Ca	< 1,5	1,50 - 2,40	2,50 - 3,50
Mg	< 0,2	0,20 - 0,29	0,30 - 0,60

poco densa, franco arcillosa, franca y arena, y un contenido adecuado solamente en suelos de textura arcilla densa y en los tres suelos de las texturas arcillo arenosa (1) y franco arcillo arenosa (2) ("Otras", en Tabla 56). Estos resultados sorprenden por la ausencia de trabajos realizados en la VIII Región que informen de la detección de deficiencia de calcio (3).

Sin embargo, dichos resultados son coincidentes con la conclusión obtenida a partir de los pH (agua) del suelo, donde en algunas texturas se insinúa la posibilidad de una deficiencia de calcio, porque sus valores a 6,3. Debe agregarse a lo anterior, que la deficiencia es de calcio y no de magnesio, pues todos los niveles foliares de magnesio encontrados son adecuados (Tabla 12, Resultados). Schenkel, Baherle y Gajardo (18), en ensayos en macetas con trébol rosado, determinaron que la deficiencia de magnesio no es frecuente en suelos del sur de Chile.

De acuerdo a los valores críticos de potasio foliar en frejol dados por Rosolem (14), las siembras de frejoles de la VIII Región sufren, en general, de una deficiencia de este elemento (Tabla 57). Es así que solamente el 7 % de las 148 muestras analizadas tienen un nivel adecuado de potasio y todos los valores promedios son deficientes, cualquiera sea la textura del suelo donde los frejoles han crecido (Tabla 56). Aunque se había advertido, a partir del cálculo de la actividad de potasio, que los suelos con texturas arena y franco arenosa serían deficientes (Tabla 56), se comprueba ahora que suelos pertenecientes a las otras clases texturales también lo son, pese a ser más ricos en potasio de intercambio. Si se aceptan como válidos los niveles de potasio foliar, a la floración, dados por Rosolem, habría que

reconocer que los resultados obtenidos con el análisis foliar del frejol contradicen a los del análisis de suelo. Esta contradicción es sólo aparente, porque la inclusión de un gran número de suelos de textura fina, ricos en arcilla, hacen previsible que la fijación y liberación del potasio del suelo puedan estar afectadas por los procesos sucesivos de secado y humidificación del suelo. Desde este punto de vista, bien puede ocurrir que el secado de la muestra de suelo, etapa normal de su análisis, no sea la mejor forma para evaluar la liberación del potasio desde el suelo para satisfacer las necesidades nutricionales del frejol. En el futuro, trabajos que relacionen la sorción y desorción del potasio en suelos con distintos contenidos y tipos de arcilla podrían concurrir a una mejor interpretación de lo que ocurre con la nutrición potásica del frejol en nuestros suelos.

Sorprende mucho que los valores individuales y promedio de nitrógeno total foliar del frejol sean tan altos. El 85 % de las muestras tienen un contenido adecuado, un 14 % un contenido medio y sólo un 1 % un contenido bajo (Tabla 57). Además, todos los valores promedio de N, total de muestras o por texturas, son adecuados (Tabla 56). Esta realidad puede tener dos significados muy distintos:

- i) Las siembras de frejol han recibido fertilización esta interpretación están los elevados contenidos de sodio foliar en muchas muestras (Tablas 12 Resultados y 56), los cuales sugieren la aplicación de salitre. Se desconoce, en este estudio, por no contar con la respectiva información, la cantidad de fertilizantes nitrogenados aplicada al frejol por los agricultores a las siembras visitadas; en todo caso, dosis medias y altas de nitrógeno inhiben la nodulación del frejol (Longeri y Herrera, datos no publicados).
- ii) Las siembras de frejol se ven afectadas por

deficiencias distintas al nitrógeno, o por falta de agua, que impidieron su crecimiento normal. Por lo antes dicho, tales elementos podrían ser uno o más de los siguientes:

fósforo - potasio - calcio

sin, por ello, excluir a otros no investigados. Como dicho factor deficitario no permitiría el desarrollo normal de la planta, y hay una buena absorción de nitrógeno, se produce una alta concentración de nitrógeno en el tejido.

Los contenidos foliares de fierro y manganeso no son altos cuando se los compara con los medidos por France y Tay (5) y Sadzawka (15), en lentejas afectadas por "marea negra". Además, el manganeso foliar no alcanzan una concentración toxica para el poroto soya, que es, según Muchovej et al. (11) de 200 ppm si hay suficiente calcio disponible. Pero, puesto que las plantas son pobres en calcio ¿ cómo deben considerarse estas concentraciones?

#### 5.- Asociación entre número y peso de los nódulos por planta y los análisis de suelo.

La Tabla 58 muestra que, para el conjunto de 122 siembras visitadas cuyas plantas de frejol presentaron nódulos en sus raíces, el número de nódulos por planta se asocia positivamente a las variables de suelo pH ( $p \leq 5\%$ ) y arena ( $p \leq 1\%$ ), y negativamente a M.O. ( $p \leq 5\%$ ), Ca ( $p \leq 5\%$ ), limo ( $p \leq 1\%$ ) y arcilla ( $p \leq 1\%$ ).

Lo que más se destaca aquí es que el número de nódulos por planta se beneficia cuando el frejol crece en suelos ricos en arena, esto es, de textura gruesa. Por lo tanto, la presencia abundante de limo y/o arcilla, propia de suelos de texturas más finas, es menos apropiada para el desarrollo de una buena nodula-

TABLA 58. ASOCIACION ENTRE EL NUMERO Y PESO DE LOS NODULOS POR PLANTA Y LOS ANALISIS DE SUELO, CUANDO SE SEPARAN LOS SUELOS EN CLASES TEXTURALES. (§)

Textura	Nodulos por planta	Análisis químico										Textura					
		pH	Mat. org.	N-NO3	P Olsen	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	Aren.	Limo	Arc.		
----- coeficiente de correlacion (r) -----																	
Arcilla densa	Número	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0,77*	.	.
	Peso	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0,65*	.	.	0,67*	.	.
Arcilla poco densa	Número	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Peso	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Franco arcillosa	Número	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0,49**	.	.
	Peso	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0,40*	.	.
Franca	Número	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Peso	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Franco arenosa	Número	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Peso	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Arena	Número	.	.	.	.	0,63*	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Peso	.	.	.	.	0,71**	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
-----																	
TOTAL MUESTRAS	Número	0,21*	-0,18*	.	.	.	-0,21*	.	.	.	.	.	.	.	0,28**	-0,30**	-0,24**
	Peso	.	.	.	.	.	-0,18*	.	.	.	.	.	.	.	0,24**	-0,24**	-0,21*

(§) Solamente se consideraron en el análisis de correlación los datos correspondientes a lugares nodulados y se muestran en la Tabla las correlaciones significativas (\*= $p \leq 0,05$ ; \*\*= $p \leq 0,01$ ).

ción en las siembras comerciales de frejol de la VIII Región.

La característica ya indicada, que el pH (Tabla 53) y el porcentaje de saturación de cationes (Tabla 54) de los suelos son bajos, adquiere relevancia en esta oportunidad, cuando se determina que el número de nódulos aumenta a medida que crece el pH. Por la misma razón, un mayor contenido de materia orgánica, generalmente propio de suelos más ácidos, aparece como depresor de la nodulación, al igual que el calcio de intercambio, más abundante en suelos de textura fina.

El peso de nódulos por planta, para el conjunto de todos los sitios con plantas noduladas, se asoció positivamente al contenido de arena ( $p \leq 1\%$ ) y negativamente a los contenidos de Ca ( $p \leq 5\%$ ), limo ( $p \leq 1\%$ ) y arcilla ( $p \leq 1\%$ ) de los suelos.

Estos resultados son coincidentes en mostrar que los factores de suelo mencionados afectan en forma similar al número y al peso de los nódulos del frejol.

Una consideración especial merecen los suelos de textura arena, donde tanto el número de nódulos, como su peso, correlacionaron significativamente con el contenido de potasio de intercambio. Esta asociación viene a ratificar la deficiencia de potasio advertida cuando se calculó su razón de actividad en suelos de esta clase textural (Tabla 55).

Para entender el efecto negativo del calcio de intercambio sobre el número y peso de nódulos, es necesario recurrir a la matriz de correlación de las propiedades de los suelos muestreados (Tabla 59). El contenido de calcio presenta correlación positiva con la materia orgánica ( $p \leq 1\%$ ), potasio ( $p \leq 1\%$ ), magnesio ( $p \leq 1\%$ ), fierro ( $p \leq 5\%$ ), cobre ( $p \leq 1\%$ ), arcilla ( $p \leq$

TABLA 59. MATRIZ DE CORRELACION ENTRE LAS PROPIEDADES QUIMICAS Y FISICAS DE LAS 148 MUESTRAS DE SUELO.

Propiedad	pH	M.O.	N-NO3	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
----- coeficiente de correlación (r) -----											
pH		-0,26**	-0,41**	.	-0,21*	.	0,38**	.	.	.	.
M.O.	-0,26**		0,17*	.	0,31**	0,26**	-0,32**	-0,31**	-0,32**	.	-0,24**
N-NO3	-0,41**	0,17*		0,18*	0,18*	.	.	.	.	.	.
P	.	.	0,18*		.	.	.	.	.	.	.
K	-0,21*	0,31**	0,18*	.		0,45**	.	.	-0,17*	.	.
Ca	.	0,26**	.	.	0,45**		0,21**	0,16*	.	.	0,31**
Mg	0,38**	-0,32**	.	.	.	0,21**		0,32**	0,32**	.	0,53**
Fe	.	-0,31**	.	.	.	0,16*	0,32**		0,51**	0,21**	0,60**
Mn	.	-0,32**	.	.	-0,17*	.	0,32**	0,51**		.	0,66**
Zn	.	.	.	.	.	.	.	0,21**	.		.
Cu	.	-0,24**	.	.	.	0,31**	0,53**	0,60**	0,66**	.	
Arena	0,50**	-0,35**	.	.	-0,38**	-0,68**	.	.	-0,32**	.	-0,33**
Limo	-0,24**	0,55**	0,17*	.	0,45**	0,64**	.	.	.	.	.
Arcilla	-0,48**	.	.	.	0,29**	0,62**	.	0,19*	0,46**	.	0,40**

\* p < 0,05

\*\* p < 0,01

1%) y limo ( $p \leq 1\%$ ), y correlación negativa con la fracción arena ( $p \leq 1\%$ ). De aquí se desprende que suelos más ricos en calcio son menos arenosos. Hay más calcio de intercambio en suelos ricos en limo y arcilla (texturas más pesadas), pero, como se había visto anteriormente al discutir la asociación entre nodulación y propiedades del suelo (Tabla 52 y 59), en estas texturas finas el frejol presenta menos nódulos y menos masa nodular. En todo caso, llama la atención que no aparezca una relación significativa entre el pH del suelo y el contenido de calcio de intercambio.

#### 6.- Asociación entre el número y peso de nodulos por planta y el análisis foliar del frejol, a la floración.

La nodulación, ya sea el número de nódulos o su peso, al considerar las muestras noduladas, se asoció negativamente con los contenidos foliares de Ca, Zn o Cu (Tabla 60). Además, en siembras sobre suelos con textura arcilla poco densa se encuentra que altas concentraciones de N o Mg deprimen la masa nodular. Tales relaciones se pueden explicar cuando se recurre a la matriz de correlación de todos los análisis foliares que se presenta en el Tabla 61. Es así como el calcio foliar se asocia negativamente con los contenidos de N ( $p \leq 5\%$ ), P ( $p \leq 5\%$ ) y K ( $p \leq 1\%$ ) y positivamente con los contenidos de Fe ( $p \leq 5\%$ ) y Mn ( $p \leq 1\%$ ).

Por lo tanto, plantas más ricas en calcio tienen menor contenido de fósforo, potasio y nitrógeno, pero mayor contenido de fierro y, sobre todo, manganeso. Los niveles foliares de fósforo y potasio encontrados en este estudio aparecen como deficientes a medios, de donde aparece más urgente corregir sus

TABLA 60. ASOCIACION ENTRE EL NUMERO Y PESO DE LOS MODULOS POR PLANTA Y LOS NUTRIENTES POLIARES, CUANDO SE SEPARAN EN CLASES TEXTURALES LOS SUELOS SOBRE LOS QUE CRECIA EL PREJOL. (‡)

Textura	Nódulos por planta	Análisis foliar									
		N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Zn	Cu
		----- coeficiente de correlación (r) -----									
Arcilla densa	Número	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Peso	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Arcilla poco densa	Número	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Peso	-0,36**	.	.	-0,41**	-0,49**	.	.	.	-0,35**	-0,39**
Franco arcillosa	Número	.	.	.	-0,46*	.	.	.	.	.	.
	Peso	.	.	.	-0,45*	.	.	.	.	.	.
Franca	Número	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Peso	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Franco arenosa	Número	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Peso	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Arena	Número	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Peso	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
		-----									
TOTAL MUESTRAS	Número	.	.	.	-0,29**	.	.	.	.	.	.
	Peso	.	.	.	-0,27**	.	.	.	.	-0,20*	-0,20*

(‡) Solamente se consideraron en el análisis de correlación los datos correspondientes a plantas noduladas.

\* p < 0,05

\*\* p < 0,01

TABLA 61. MATRIZ DE CORRELACION ENTRE LOS CONTENIDOS NUTRICIONALES DE 148 MUESTRAS DE HOJAS DE PREJOL COLECTADAS DURANTE LA FLORACION.

NUTRIENTE	N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Zn	Cu
----- coeficiente de correlación (r) -----										
N		0,58**	.	-0,17*	0,32**	.	.	.	0,38**	0,61**
P	0,58**		.	-0,20*	0,32**	.	.	.	.	0,57**
K	.	.		-0,35**	-0,31**	.	.	-0,18*	0,19*	.
Ca	-0,17*	-0,20*	-0,35**		.	.	0,19*	0,35**	.	.
Mg	0,32**	0,32**	-0,31**	.		0,28**	.	.	.	0,54**
Na	.	.	.	.	0,28**		.	-0,18*	0,19*	.
Fe	.	.	.	0,19*	.	.		0,41**	.	0,22**
Mn	.	.	-0,18*	0,35**	.	-0,18*	0,41**		.	0,22**
Zn	0,38**	.	0,19*	.	.	0,19*	.	.		0,48**
Cu	0,61**	0,57**	.	.	0,54**	.	0,22**	0,22**	0,48**	

\* p < 0,05

\*\* p < 0,01

deficiencias en las siembras de frejol en suelos de la VIII Región que aumentar el calcio.

La metodología empleada no se desarrolló con el propósito de estudiar el efecto del cobre. Sin embargo, los antecedentes reunidos muestran una correlación positiva ( $p \leq 1\%$ ) del Cu foliar con los niveles foliares de N, P, Mg, Zn, Mn y Fe, aunque la correlación fue más estrecha con el N (valor de r más alto). Así se explica que el peso nodular se relacione negativamente con el contenido de cobre foliar (Tabla 60), porque las plantas han sido beneficiadas por un mayor enriquecimiento de nitrógeno, nutriente que tiene un efecto inhibitorio de la nodulación.

Los tres coeficientes más altos de la matriz de correlación de los contenidos nutricionales foliares corresponden al nitrógeno, fósforo y cobre:

$$\begin{aligned}r ( N \text{ vs } Cu ) &= 0,605^{**} \\r ( N \text{ vs } P ) &= 0,579^{**} \\r ( P \text{ vs } Cu ) &= 0,573^{**}\end{aligned}$$

Esto sugiere que la fuente de nitrógeno para las plantas es la mineralización de la materia orgánica del suelo, porque estos tres elementos son liberados en este proceso. Este argumento se soporta con la realidad de que los contenidos de materia orgánica de los suelos son altos, cuando se excluyen los de textura arenosa y franco arenosa.

Con todo, la posición del cobre en la nutrición del frejol en suelos de la VIII Región es compleja, puesto que, en el suelo, altos contenidos de cobre coexisten con altos contenidos de calcio ( $r=0,31^{**}$ ), magnesio ( $r=0,53^{**}$ ), fierro ( $r=0,60^{**}$ ) y manganeso ( $r=0,66^{**}$ ). El contenido de cobre, además es mayor en suelos mas ricos en la fracción arcilla ( $r=0,40^{**}$ ) que en la

fracción arena ( $r=-0,33^{**}$ ) y disminuye con el aumento del contenido de materia orgánica ( $r=-0,24^{**}$ ). Pero, sin duda, la principal propiedad del suelo que determina la concentración de cobre foliar es el fierro ( $r=0,55^{**}$ ), seguido por el cobre ( $r=0,38^{**}$ ), por el magnesio ( $r=0,32^{**}$ ) y por el manganeso ( $r=0,30^{**}$ ). El contenido de cobre foliar se asocia negativamente con el contenido de materia orgánica del suelo ( $r=-0,28^{**}$ ) (Tabla 62).

El magnesio foliar crece a medida que aumenta la cantidad de magnesio de intercambio del suelo ( $r=0,48^{**}$ ) y decrece al aumentar el contenido de materia orgánica ( $r=-0,47^{**}$ ) y el potasio de intercambio ( $r=-0,52^{**}$ ). La formación de complejos materia orgánica-magnesio, que ha sido postulada por Zunino et al. (25) para suelos chilenos, se ve confirmada a la luz de este trabajo. Sin embargo, como se indicó anteriormente, los resultados de los análisis foliares indican que el frejol, en suelos de la VIII Región, recibe un suministro adecuado de magnesio.

TABLA 62. MATRIZ DE CORRELACION ENTRE LAS PROPIEDADES QUIMICAS Y FISICAS DE LOS SUELOS Y EL ANALISIS POLIAR DEL FREJOL.

Propiedad del suelo	Análisis foliar									
	N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Zn	Cu
	----- coeficiente de correlación (r) -----									
pH	.	.	.	-0,31**	0,31**	0,21**	.	-0,31**	.	.
H.O.	.	.	0,27**	.	-0,47**	-0,20*	.	-0,20*	.	-0,28**
N-NO3	0,22**	.	0,22**	.	.	.	.	.	.	.
P	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
K	.	.	0,38	.	-0,52**	-0,25**	.	.	.	.
Ca	.	.	.	0,20*	-0,21**	-0,38**	.	.	0,20*	.
Mg	.	.	.	.	0,48**	0,32**	.	.	0,20*	0,32**
Fe	0,26**	0,42**	.	.	0,35**	.	.	0,30**	0,26**	0,55**
Mn	.	.	-0,24**	.	0,25**	.	.	0,36**	.	0,30**
Zn	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Cu	.	0,19*	.	.	0,29**	.	.	0,20*	.	0,38**
Arena	.	.	.	-0,38**	0,37**	0,37**	.	-0,36**	.	.
Limo	.	.	.	0,25**	-0,50**	-0,31**	.	.	.	.
Arcilla	.	.	.	0,42**	-0,25**	-0,36**	.	0,45**	.	.

\* p < 0,05

\*\* p < 0,01

## DISCUSION (Continuación)

### ETAPA II. PRUEBA DE EFECTIVIDAD Y SELECCION DE LAS CEPAS DE RIZOBIOS.

#### 1. Problemas de crecimiento del frejol en frascos Leonard preparados con arena cuarzosa y usando solución nutritiva de Erdman.

Las plantas de frejol cv Opalo cultivadas en frascos Leonard preparados con arena cuarzosa y solución nutritiva exenta de nitrógeno de Erdman, fueron afectadas fuertemente en su desarrollo, presentando síntomas foliares. Estos síntomas se caracterizaron por el desarrollo de una clorosis intervenal en las hojas mas viejas seguida de necrosis y defoliación y desarrollo restringido de las plantas, siendo semejantes a los observados en siembras de frejol afectadas por el "bronceado", enfermedad asociada a niveles altos de manganeso foliar.

Los resultados de análisis efectuados a hojas de estas plantas que mostraban diversos grados de intensidad de los síntomas se indican en el Tabla 14 (Resultados). La comparación de los valores medios de estas determinaciones con los valores dados por algunos autores como normales para el frejol (6 y 14), se muestra en la Tabla 63. El nitrógeno aparece como deficitario, pero este hecho se explica porque las plantas al crecer en una solución nutritiva exenta de nitrógeno combinado tienen que abastecerse de este nutriente mediante la fijación biológica que se desarrolla en los nódulos, proceso que tiene que haberse visto afectado por el estado general de las plantas. Los contenidos de

K, Ca, Mg y Fe se encuentran dentro de los rangos adecuados, aunque el Ca se encuentra levemente bajo y el Fe en el límite alto. Sin embargo, el contenido de Mn supera ampliamente los niveles dados como máximos aceptables. Este hecho confirmó las sospechas de una toxicidad de este elemento .

TABLA 63. COMPARACION DE LOS VALORES MEDIOS DE LAS CONCENTRACIONES DE N, K, Ca, Mg, Fe y Mn EN HOJAS DE FREJOL CULTIVADAS EN FRASCOS LEONARD, EN ARENA CUARZOSA Y SOLUCION DE ERDMAN, CON VALORES DADOS COMO ADECUADOS.

Nutriente	Nivel medio en frejol Opalo	Rango adecuado según autor	
		(14)	(6)
N %	2,02	2,0 - 2,9	3,0 - 6,0
K %	2,20	2,0 - 2,6	1,8 - 2,5
Ca %	0,72	1,5 - 2,4	0,8 - 3,0
Mg %	0,36	0,2 - 0,3	0,3 - 0,7
Fe ppm	436	300 - 500	300 - 450
Mn ppm	656	200 - 300	30 - 300

## 2. Selección de un sustrato arenoso bajo en contenido de Mn.

El análisis de la solución nutritiva del frasco reservorio de los conjuntos Leonard donde crecían las plantas afectadas mostró que su contenido de Mn (valor medio 0,92 ppm, ver Tabla 14, Resultados) superaba el de la solución nutritiva de Erdman (0,5 ppm, ver Tabla 2, Materiales y Métodos) con que se regaron al inicio de la experiencia, sugiriendo que la arena cuarzosa empleada como soporte de las plantas aportó Mn a la solución.

Este hecho llevó a buscar un sustrato arenoso bajo en Mn.

Con este fin se recolectaron muestras de arena cuarzosa de mar y de arena negra (andesítica-basáltica) de río. Además, se contó con una muestra de roca de cuarzo molida, usada en la fabricación de vidrio. En estas cuatro muestras de sustrato arenoso se midió (a) el contenido de Mn extractable y (b) su aporte de Mn a la solución nutritiva de Erdman, preparada sin Mn, de frascos Leonard, sometidos o no a esterilización (ver Tabla 15, Resultados).

En comparación a las otras arenas, el cuarzo molido presentó un nivel bajo de Mn extractable (0,4 ppm) y aportó una concentración mínima de este elemento a la solución nutritiva (0,02 ppm). El valor más alto de Mn extractable se determinó en la arena negra de río, seguida por la arena de mar y la arena cuarzosa de río, con valores de 11,7, 9,9 y 7,4 ppm, respectivamente. La arena cuarzosa de río aportó más Mn a la solución nutritiva, seguida por la arena negra de río y la arena de mar, alcanzándose concentraciones, promedios en los frascos esterilizados, de 0,94, 0,49 y 0,28 ppm, respectivamente, después de tres días de preparados los frascos. Estos resultados nos llevaron a usar, en los siguientes experimentos, cuarzo molido como sustrato soporte de las plantas.

### 3. Problemas de toxicidad en plantas de frejol usando cuarzo molido y solución nutritiva de Erdman.

En un segundo experimento de selección de cepas se usaron frascos Leonard preparados con cuarzo molido y solución nutritiva de Erdman. A pesar de usar un sustrato soporte bajo en Mn, las plantas nuevamente desarrollaron agudos síntomas de bronceado. Este ensayo de selección, al igual que el anterior, también

tuvo que ser desechado.

Análisis foliares (ver Tabla 16, Resultados) volvieron a indicar concentraciones excesivas de Mn y, además en este caso, de Fe, no encontrándose, en ese momento, una explicación al fenómeno.

Experiencias realizadas en la misma época, en nuestra Universidad (22), sobre requerimientos nutricionales del helecho acuático fijador de nitrógeno, Azolla filiculoides permitieron encontrar una solución al problema. Azolla desarrollaba síntomas de toxicidad de Fe, y acumulaban altos tenores foliares, en solución nutritiva conteniendo niveles adecuados y recomendados de Fe (2-5 ppm) cuando este se encontraba a la forma de Sequestrene 330 (dietilen-triamina-pentaacetato de Na y Fe, Geigy Chem. Corp.), debiéndose reducir la concentración de Fe a solamente 0,25 ppm para obtener un desarrollo óptimo. Estos autores concluyeron que el Sequestrene 330 provoca una mayor absorción de Fe que otros compuestos de este elemento empleados corrientemente en las soluciones nutritivas, tales como citrato de Fe o Fe-EDTA.

En el caso del frejol, es posible que el Sequestrene 330 también contribuyó, mediante un proceso de quelación, a una mayor absorción del Mn que se agregó inicialmente a la solución nutritiva a la forma de cloruro.

Las consideraciones anteriores, unidas a la susceptibilidad del frejol al exeso de Mn (23) permiten explicar el desarrollo de toxicidad en las condiciones del ensayo. Además, hicieron aconsejable probar, para el frejol, otra solución nutritiva exenta de nitrógeno que considerara niveles más bajos de Fe y Mn aplicados a formas no queladas. Se eligió la solución de Broughton y

Dillworth , también usada en estudios de selección de cepas de rizobios (19).

**4. Desarrollo de las plantas de frejol en frascos Leonard preparados con cuarzo molido y solución nutritiva de Broughton y Dillworth.**

Las plantas de frejol cv Opalo cultivadas en estas condiciones se desarrollaron normalmente y no mostraron sintomatología de bronceado. Los contenidos foliares de Mn y Fe en estas plantas se situaron en rangos considerados normales (ver Tabla 17, Resultados y Tabla 63).

La solución nutritiva de Broughton y Dillworth difiere de la de Erdman en su menor concentración de todos los elementos nutricionales, excepto el Co. Contiene, aproximadamente, 1/2 la concentración de Fe y 1/10 la concentración de Mn y el fierro se emplea a la forma de citrato (ver Tablas 2 y 3, Materiales y Métodos). Esta solución se empleó, por lo tanto, en los estudios de selección de cepas, preparando los frascos Leonard con cuarzo molido.

**5. Prueba de la efectividad de las 94 cepas de rizobios aisladas. Selección de las 25 mejores.**

La prueba de efectividad de fijación de nitrógeno de las 94 cepas aisladas se hizo comparando el comportamiento entre sí de dos grupos de 47 cepas inoculadas a frejol cv Opalo cultivado en frascos Leonard preparados con cuarzo molido y usando la solución nutritiva de Broughton y Dillworth. En ambos grupos de esta primera etapa de selección, se incluyeron dos cepas controles

(UCD-332 y UCD-1899) de eficiencia conocida, pertenecientes a la colección que mantiene la Facultad de Agronomía. Los resultados, al estado de floración, de peso seco de las plantas, número y peso seco nodular y contenido total de nitrógeno se entregaron en las Tablas 18 y 19 (Resultados).

Como criterio de selección de la capacidad de fijación de nitrógeno de las cepas se usó el contenido total de las plantas, dado que, por cultivarse ellas en una solución libre de nitrógeno combinado asimilable, representa en mejor forma que los otros parámetros a esta actividad biológica. Es más, los análisis de correlación simple entre estas variables, aplicados al primer grupo de cepas, cuyos resultados se presentan en la Tabla 64, indican que el peso seco puede ser un predictor de la fijación de nitrógeno ( $r = 0,881$ ) pero que tanto el peso de nódulos ( $r = 0,479$ ) y, especialmente, el número de nódulos ( $r = 0,031$ ) no pueden emplearse como único criterio para este propósito.

Los resultados de la prueba de rango múltiple de Duncan para diferencias entre medias ( $P \leq 0,05$ ) de los valores de contenido total de nitrógeno se entregaron en las Figuras 3 y 4 (Resultados).

Llama la atención que, en ambos grupos de selección, las cepas no se agrupan en clases definidas (ejemplo = buenas, regulares o malas) sino que existe una variación gradual de la cantidad de nitrógeno fijado, que hace que la prueba de Duncan defina múltiples grupos que se van traslapando. Las cepas variaron entre unas que fijaron muy poco nitrógeno, de tal manera que el contenido de nitrógeno de las plantas no difería del de plantas controles no inoculadas, a valores 5 a seis veces mayores.

Aunque en nuestro país la información respecto a la selección de cepas de rizobios es escasa, un estudio sobre la flora nativa de rizobios del frejol (13), donde se analizaron 39 cepas, también encontró una amplia gama de capacidad de fijación de nitrógeno, desde valores muy bajos hasta valores altos que eran 10 veces superiores, no distinguiéndose grupos característicos.

También, en el conjunto de ambos grupos, 8 cepas aisladas de siembras comerciales de frejol mostraron un comportamiento superior al de las cepas efectivas usadas como controles, lo que indica que es posible encontrar cepas "nativas" eficientes fijadoras de nitrógeno.

Una cepa, UCD-1070, a pesar que después de su aislamiento se probó en su capacidad infectante, no indujo la formación de nódulos (Tabla 18, Resultados). Es un fenómeno conocido y común que las cepas de rizobios mantenidas en medios de cultivo pierdan su capacidad infectante o de fijación de nitrógeno.

En las Figuras 3 y 4 (Resultados) se señala, con un asterisco, las 25 cepas que se seleccionaron para una segunda etapa de prueba. Ellas corresponden a 24 cepas aisladas de siembras comerciales y a la cepa control UCD-332. La cepa control UCD-1899 no quedó entre las seleccionadas.

Los resultados del peso seco total, número y peso nodular y contenido total de nitrógeno, de las plantas de frejol al estado de floración, inoculadas con cada una de la 25 cepas seleccionadas, se entregaron en la Tabla 20 (Resultados) y de la prueba de Duncan para cada uno de estos parámetros, en las Figuras 5, 6, 7 y 8 (Resultados), respectivamente.

TABLA 64. MATRIZ DE CORRELACIONES SIMPLES ENTRE CONTENIDO TOTAL DE NITROGENO, PESO SECO TOTAL, NUMERO DE NODULOS Y PESO DE NODULOS, DE PLANTAS DE FREJOL OPALO CORRESPONDIENTES AL PRIMER GRUPO DE 47 CEPAS PROBADAS EN FRASCOS LEONARD.

	Peso seco	Numero nódulos	Peso nódulos
Nitrógeno total	0,881	0,031	0,479
Peso seco	-	0,239	0,735
Número nódulos	0,239	-	0,368

#### 6. Selección de las 5 mejores cepas de un grupo de 25 preseleccionadas.

Como principal criterio de selección se empleó el contenido total de nitrógeno de la planta. En la Figura 5 se observa que 8 cepas ( UCD-1071, 1107, 1014, 1132, 1137, 1108, 1125 y 1066 ) constituyeron la mejor categoría de comportamiento. Entre estas 8 cepas, que no difieren entre sí ( $p \leq 0,05$ ), se eligieron la 5 mejores, tomando en cuenta además, en este caso, la ubicación de de las cepas según la prueba de Duncan aplicada a los otros parámetros medidos. Hay que hacer notar que este grupo de cepas mostró un comportamiento muy homogéneo en su capacidad de fijación de nitrógeno, con un rango de 90,13 a 102,36 mg/frasco Leonard (2 plantas) y con una variación de sólo el 11,36 %, hecho que hizo aconsejable considerar otros antecedentes para su selección.

En la Tabla 65 se ubican estas 8 cepas en orden decreciente según el contenido total de nitrógeno de las plantas y su cate-

gorización de acuerdo a los otros parámetros. Las cinco cepas seleccionadas, identificadas en la Tabla con un asterisco, fueron UCD-1071, 1107, 1014, 1137 y 1125. Las tres primeras cepas se seleccionaron por ubicarse en los 3 primeros lugares en acumulación de nitrógeno, la cepa UCD-1137 por su comportamiento un poco mejor al considerar el peso seco de las plantas y la cepa UCD-1125 por su buena ubicación tanto en el número como en el peso de nódulos.

TABLA 65. CLASIFICACION DE LAS MEJORES CEPAS SELECCIONADAS DE ACUERDO AL CONTENIDO TOTAL DE NITROGENO (VALORES MEDIOS,  $P \leq 0,05$ ), SEGUN EL PESO SECO TOTAL, NUMERO DE NODULOS Y PESO DE NODULOS. SELECCION DE LA 5 MEJORES.

Mejores cepas 8 según contenido total nitrógeno		Clasificación de las cepas según		
		peso seco total	No. nódulos	Peso nodulos
1	UCD-1071 a * #	cd	bcde	bcd
2	UCD-1107 a #	a	abc	bcd
3	UCD-1014 a #	ab	abcd	a
4	UCD-1132 a	abcd	bcde	bcd
5	UCD-1137 a #	abc	cde	bcd
6	UCD-1108 a	abc	e	cd
7	UCD-1125 a #	abc	ab	bc
8	UCD-1066 a	cdefg	abc	bcd

\* Cepas con letras distintas difieren al nivel del 5 %.

# 5 cepas seleccionadas

## 7. Validez de los criterios de selección de cepas.

Con el fin de enfatizar lo señalado en la Tabla 64, en la Tabla 66 se indican los coeficientes de correlación entre el

contenido de nitrógeno total y el peso seco total, número de nódulos y peso de nódulos de las plantas, calculados para los dos grupos de la primera etapa de selección y para la segunda etapa de selección. Nuevamente queda de manifiesto que el peso seco total de las plantas es un criterio aceptable de la fijación de nitrógeno y que puede ser usado cuando no hay facilidades para análisis de nitrógeno en forma masiva, y que el peso nodular y especialmente el número de nódulos no pueden usarse por las bajas correlaciones. Más aún, el número de nódulos no correlaciona con el contenido de nitrógeno ( valores de r cercanos a 0 ) o correlaciona negativamente. Es un hecho muy conocido que la nodulación inefectiva se caracteriza por un mayor número de nódulos que la nodulación efectiva.

TABLA 66. VALORES DE LOS COEFICIENTES DE CORRELACION SIMPLE ENTRE EL CONTENIDO TOTAL DE NITROGENO Y EL PESO SECO TOTAL Y NUMERO Y PESO DE NODULOS DE PLANTAS DE FREJOL OPALO, CORRESPONDIENTES A LOS DOS GRUPOS DE LA PRIMERA ETAPA Y A LA SEGUNDA ETAPA DE SELECCION DE CEPAS DE RIZOBIOS.

Grupo de seleccion de cepas	Número cepas	Correlación con nitrógeno total		
		Peso total	Número nódulos	Peso nódulos
Primer grupo primera etapa	48	0,881	0,031	0,479
Segundo grupo primera etapa	49	0,914	0,022	0,669
Segunda etapa	25	0,777	-0,136	0,226

## 8. Relación entre la eficiencia de las cepas aisladas y su origen.

En la Tabla 67 se indica el número de cepas aisladas de la prospección de siembras de frejol y de las seleccionadas en la primera y segunda etapas de selección, según las clases texturales de los suelos destinados al cultivo.

Se ve claramente que no hay una asociación entre la calidad de las cepas y el suelo de origen, dado que el porcentaje de cepas seleccionadas en la primera etapa, de las cepas aisladas en cada clase textural, es muy constante y similar al promedio (25,5 %). También se observa que las cinco mejores cepas provinieron de suelos donde se logró un mayor número de aislamientos (texturas arcilla poco densa y franco arcillosa) y que la proporción de cepas de alto rendimiento en estos dos grupos es bastante similar (7,8 y 9,5 %). Por lo tanto, la probabilidad que una de las cinco mejores cepas perteneciera a grupos de cepas aisladas de suelos de otras clases texturales, a causa del número total de aislamientos, es menor a uno.

Se puede concluir que en los suelos de la VIII Región, independientemente de sus características, las cepas nativas de rizobio del frejol varían ampliamente en su efectividad y que la proporción de cepas sobresalientes es bastante constante.

## 9. Prueba de las mejores cepas de rizobios en 10 cultivares de frejol.

En la Tabla 68 se indican los resultados de la prueba de Duncan aplicada a los valores medios de los contenidos totales de

TABLA 67. PROPORCION DE CEPAS SELECCIONADAS POOR SU EFICIENCIA DE FIJACION DE NITROGENO DE ACUERDO AL TOTAL DE CEPAS AISLADAS POR CLASE TEXTURAL DE LOS SUELOS DE LAS SIEMBRAS DE FREJOL.

Clases texturales	Cepas aisladas	Cepas seleccionadas			
		Primera etapa		Segunda etapa	
		No.	%	No.	%
Arcilla densa	6	1	16,7	-	-
Arcilla poco densa	39	11	28,2	3	7,8
Franco arcillosa	21	5	23,8	2	9,5
Franca	7	2	28,6	-	-
Franco arenosa	7	2	28,6	-	-
Arena	13	3	23,1	-	-
Otras	1	-	-	-	-
<b>Total</b>	<b>94</b>	<b>24</b>	<b>25,5</b>	<b>5</b>	<b>5,3</b>

nitrógeno acumulados en los 10 cultivares de frejol, al ser inoculados con las diferentes cepas de rizobios en estudio, señalándose, además, el nivel de significancia del análisis de variación.

En todos los cultivares, excepto en Blanco INIA, las cepas difirieron significativamente en su capacidad de fijar nitrógeno (F significativo a  $p \leq 5\%$ ). También la prueba de comparación múltiple de Duncan, aplicando un nivel de  $5\%$ , mostró diferencias significativas entre los valores medios, llegando a separar hasta cuatro grupo, en algunos casos. Estas categorías se indican en la Tabla con letras minúsculas, siendo la "a" la de valores de nitrógeno más altos, y correspondiendo, por lo tanto, a las mejores cepas, y las otras decreciendo en orden alfabético.

En relación a la prueba de Duncan, ella puede ser aplicada a los valores medios aunque el análisis de varianza resulte en un

valor de F no significativo.

Un análisis de la Tabla 68 muestra que las cepas varían su comportamiento relativo de acuerdo al cultivar de frejol simbiote, lo que señala que existe interacción cepa-cultivar, fenómeno interesante en la selección de cepas para inoculantes. Sin embargo, también se observa en la Tabla, que unas cepas tienen, en el conjunto de cultivares, un mejor comportamiento que otras. Para visualizar esta diferencia se calculó una "efectividad relativa", promediando, para cada cepa, los valores resultantes de  $a = 1$  ,  $b = 2$  ,  $c = 3$  y  $d = 4$ . Esta efectividad relativa resultó muy variable en las cepas (1,40 a 3,13) destacándose por su buena capacidad fijadora de nitrógeno en los 10 cultivares de frejol, las cepas UCD-1071 y UCD-1132; en tercer lugar se ubica la cepa UCD-1107 y luego las cepas UCD-1137, UCD-1014 y UCD-1125, en orden decreciente. En la prueba de selección de las 25 mejores cepas preseleccionadas, estas cepas no difirieron significativamente entre sí en su capacidad de fijar nitrógeno (Figura 5, Resultados), pero la cepa UCD-1071 fue la que fijó más nitrógeno en valor absoluto. Estos resultados indican que, aunque existe interacción cepa-cultivar, hay cepas con un mejor comportamiento general en diversos cultivares, cepas, tales como la UCD-1071 y UCD-1132, que serían muy adecuadas para la preparación de inoculante de frejol de uso general en los diferentes cultivares. Esto es importante, dado que permanentemente se están cambiando los cultivares de frejol sembrados en el país, especialmente por la continua introducción de material del exterior, lo que dificulta seleccionar cepas de rizobios específicas para cada uno de ellos.

En las Tablas 69, 70 y 71 se muestran los resultados de la aplicación de la prueba de Duncan, y del análisis de varianza, a los valores de peso seco aéreo, número de nódulos y peso seco de los nódulos de las plantas, respectivamente. En muchos casos, especialmente en los análisis de número y peso de nódulos, el análisis de varianza no arroja diferencias significativas en el comportamiento de las diferentes cepas en cada cultivar; lo mismo sucede al comparar los valores medios usando la prueba de Duncan.

En la Tabla 72 se indica, para cada cultivar, los valores de los coeficientes de correlación, y su nivel de significancia, entre las variables nitrógeno total de la parte aérea y número de nódulos, peso seco de nódulos y peso seco aéreo de las plantas.

El número de nódulos no correlacionó significativamente, excepto en el cultivar Burro Argentino, con el contenido de nitrógeno, observándose incluso valores negativos; en un 60% de los cultivares el peso de nódulos correlacionó el nitrógeno, mientras que en todos los cultivares el peso seco aéreo se relacionó estrechamente ( $p \leq 0,01$ ) con el nitrógeno. Estos resultados son muy similares a los encontrados en las etapas de preselección de las cepas y vuelven a señalar que ni el número ni el peso de los nódulos pueden usarse como criterios de selección de cepas de frejol y que, al no haber facilidades de análisis de nitrógeno, el peso de las plantas puede ser un criterio aceptable.

TABLA 68. DIFERENCIAS ENTRE VALORES MEDIOS DE NITROGENO TOTAL DE LA PARTE AEREA DE 10 CULTIVARES DE FREJOL INOCULADOS CON CEPAS SELECCIONADAS DE RIZOBIOS Y CULTIVADOS EN FRASCOS LEONARD, AL APLICAR LA PRUEBA DE DUNCAN A UN NIVEL DE SIGNIFICANCIA DEL 5 %.

Cultivares de frejol	Cepas de rizobios						ANOVA F
	1014	1071	1107	1125	1137	1132	
Blanco INIA	abc	a	c	bc	----	ab	NS
Orfeo INIA	c	b	b	d	----	a	≤ 1 %
Tórtola INIA	bc	b	ab	c	----	a	≤ 1 %
Arroz	c	a	ab	----	b	a	≤ 1 %
Apolo	c	ab	bc	----	c	a	≤ 1 %
Negro de Argel	c	b	a	----	a	ab	≤ 1 %
Araucano INIA	bc	a	abc	----	ab	c	≤ 1 %
Coscorrón INIA	c	a	ab	----	bc	bc	≤ 1 %
Burro Argent.	a	a	b	----	b	b	≤ 1 %
<hr/>							
<b>EFFECTIVIDAD RELATIVA</b>	2,50	1,40	1,85	3,13	2,00	1,55	

TABLA 69. DIFERENCIAS ENTRE VALORES MEDIOS DE PESO SECO TOTAL DE LA PARTE AEREA DE 10 CULTIVARES DE FREJOL INOCULADOS CON CEPAS SELECCIONADAS DE RIZOBIOS Y CULTIVADOS EN FRASCOS LEONARD, AL APLICAR LA PRUEBA DE DUNCAN A UN NIVEL DE SIGNIFICANCIA DEL 5 %.

Cultivares de frejol	Cepas de rizobios						ANOVA F
	1014	1071	1107	1125	1137	1132	
Blanco INIA	ns	ns	ns	ns	----	ns	NS
Orfeo INIA	ab	ab	ab	b	----	a	NS
Pinto 114	ab	a	ab	b	----	ab	NS
Tórtola INIA	ns	ns	ns	ns	----	ns	NS
Arroz	b	a	ab	----	ab	ab	NS
Apolo	bc	ab	abc	----	c	a	≤ 5 %
Negro de Argel	b	a	a	----	a	a	≤ 5 %
Araucano INIA	a	a	a	----	a	b	≤ 5 %
Coscorrón INIA	b	a	ab	----	ab	b	NS
Burro Argent.	a	b	cd	----	d	d	≤ 1 %
<hr/>							
<b>EFFECTIVIDAD RELATIVA</b>	1,69	1,25	1,56	2,00	2,00	1,75	

TABLA 70. DIFERENCIAS ENTRE VALORES MEDIOS DE NUMERO DE NODULOS EN 10 CULTIVARES DE FREJOL INOCULADOS CON CEPAS SELECCIONADAS DE RIZOBIOS Y CULTIVADOS EN FRASCOS LEONARD, AL APLICAR LA PRUEBA DE DUNCAN A UN NIVEL DE SIGNIFICANCIA DEL 5 %.

Cultivares de frejol	Cepas de rizobios						ANOVA F
	1014	1071	1107	1125	1137	1132	
Blanco INIA	a	bc	c	ab	----	c	≤ 1 %
Orfeo INIA	ns	ns	ns	ns	----	ns	NS
Pinto 114	ab	a	ab	ab	----	b	NS
Tórtola INIA	a	ab	ab	b	----	ab	NS
Arroz	b	ab	ab	----	ab	a	NS
Apolo	ns	ns	ns	----	ns	ns	NS
Negro de Argel	ns	ns	ns	----	ns	ns	NS
Araucano INIA	ns	ns	ns	----	ns	ns	NS
Coscorrón INIA	ns	ns	ns	----	ns	ns	NS
Burro Argent.	a	ab	b	----	ab	ab	NS
<hr style="border-top: 1px dashed black;"/>							
<b>EFFECTIVIDAD RELATIVA</b>	1,30	1,60	1,90	1,67	1,50	1,80	

TABLA 71. DIFERENCIAS ENTRE VALORES MEDIOS DE PESO SECO DE NODULOS EN 10 CULTIVARES DE FREJOL INOCULADOS CON CEPAS SELECCIONADAS DE RIZOBIOS Y CULTIVADOS EN FRASCOS LEONARD, AL APLICAR LA PRUEBA DE DUNCAN A UN NIVEL DE SIGNIFICANCIA DEL 5 %.

Cultivares de frejol	Cepas de rizobios						ANOVA F
	1014	1071	1107	1125	1137	1132	
Blanco INIA	ns	ns	ns	ns	----	ns	NS
Orfeo INIA	a	bc	ab	c	----	ab	≤ 5 %
Pinto 114	ns	ns	ns	ns	----	ns	NS
Tórtola INIA	ns	ns	ns	ns	----	ns	NS
Arroz	ns	ns	ns	----	ns	ns	NS
Apolo	ns	ns	ns	----	ns	ns	NS
Negro de Argel	ns	ns	ns	----	ns	ns	NS
Araucano INIA	a	ab	ab	----	ab	b	NS
Coscorrón INIA	ns	ns	ns	----	ns	ns	NS
Burro Argent.	a	ab	b	----	b	b	≤ 1 %
<hr style="border-top: 1px dashed black;"/>							
<b>EFFECTIVIDAD RELATIVA</b>	1,00	1,83	1,67	3,00	1,75	1,83	

TABLA 72. VALORES Y NIVEL DE SIGNIFICANCIA DE LOS COEFICIENTES DE CORRELACION ENTRE LOS VALORES DE NITROGENO TOTAL Y NUMERO DE NODULOS, PESO DE NODULOS Y PESO AEREO, EN 10 CULTIVARES DE FREJOL.

Cultivares de frejol	Coeficientes de correlacion, N total vs.				
	Nº nódulos	Peso nódulos	Peso aéreo		
Blanco INIA	0,06	0,13	0,83	**	
Orfeo INIA	-0,06	0,49 *	0,61	**	
Pinto 114	0,01	0,51 *	0,66	**	
Tórtola INIA	0,41	0,23	0,63	**	
Arroz corriente	0,40	0,45 *	0,72	**	
Apolo	-0,01	0,49 *	0,94	**	
Negro de Argel	0,10	0,45 *	0,73	**	
Araucano INIA	0,14	0,24	0,63	**	
Coscorrón INIA	0,31	0,26	0,84	**	
Burro Argentino	0,78 **	0,93 **	0,91	**	

\* significativo al nivel de 5 %

\*\* significativo al nivel de 1 %

## DISCUSION (Continuación)

### ETAPA III. DETECCION DE FACTORES DE SUELO LIMITANTES.

En la Tabla 6 (Resultados), se indicó los resultados de la caracterización química de las 15 muestras de suelo recolectadas en la zona. Los contenidos nutricionales categorizaron en bajos (B), medios (M) y altos (A), según los criterios usados en el Laboratorio de Suelos de la Universidad de Concepción, y se señalan en la Tabla 73. Un análisis general señala que los suelos aparecen deficitarias en Zn, P-Olsen y N-NO<sub>3</sub>, en orden de prioridad; tienen niveles medios de K, Fe y Cu, y altos o medios de Ca, Mg, Al y Mn. Por lo tanto, sería de esperar en las pruebas en macetas deficiencias de P, N y Zn, posibles respuestas a K, Fe y Cu y toxicidades de Al y Mn en algunos suelos.

En la discusión de los resultados del presente ensayo se han considerado 5 propiedades de las plantas de frejol, ya mencionadas en Materiales y Métodos, cultivadas en cada uno de los 13 suelos y bajo los 10 tratamientos incluidos. Estos parámetros, medidos en plantas que recibieron o no fertilización adicional nitrogenada, son los siguientes:

**Sin fertilización nitrogenada, medidos a la floración:**

- a) Número de nódulos.
- b) Peso de los nódulos.
- c) Peso de la parte aérea.
- d) Nitrógeno total de la parte aérea.

**Con fertilización nitrogenada, medido a la madurez fisiológica:**

- e) Peso seco aéreo.

TABLA 73. CATEGORIZACION DE LOS NIVELES NUTRICIONALES DE LAS 15 MUESTRAS DE SUELOS, EN BAJOS (B), MEDIOS (M) Y ALTOS (A).

MUESTRA	Serie de suelo	P		K	Ca	Hg	Al	Fe	Mn	Zn	Cu
		N-NO3	Olsen								
		ppm		meq/100 g				ppm			
1	Arenales	B	B	M	A	M	A	M	M	B	M
2	Lomerío	A	B	B	M	A	M	M	M	B	M
3	Negrete	A	A	M	M	M	M	M	M	B	M
4	Mañil	A	B	A	A	A	A	M	M	B	M
5	Mañil	B	B	M	M	M	B	M	M	B	B
6	Arrayán	M	B	M	M	M	A	M	M	B	M
7	Arrayán	M	B	M	M	A	A	M	M	B	M
8	Arrayán	B	A	A	A	M	M	M	M	B	B
9	Collipulli	B	B	M	M	A	M	M	A	B	M
10	Collipulli	B	M	M	M	A	M	M	M	B	M
11	San Carlos	A	A	M	M	A	M	M	A	M	M
12	San Carlos	B	B	M	M	A	M	M	A	M	M
13	Coihueco	A	M	M	M	M	M	M	M	B	M
14	Bulnes	B	B	M	M	A	M	M	M	B	M
15	Quella	M	B	M	A	A	A	M	A	B	M
Número de muestras con niveles	Altos	5	3	2	11	9	5	-	4	-	-
	Medios	3	2	12	4	6	9	15	11	2	13
	Bajos	7	10	1	-	-	1	-	-	13	2

y sus resultados se entregaron en las Tablas 31 a 44.

La interpretación de estos resultados se efectuó comparando selectivamente tratamientos entre sí: fertilización completa con o sin inoculación de la semilla con el fin evaluar la población nativa de rizobios del frejol en los suelos y medir el efecto de la inoculación de la semilla; fertilización completa con los tratamientos donde se excluye un nutriente, o con el tratamiento testigo, con el fin de identificar los nutrientes deficitarios o exesivos; etc.

La discusión se efectuó para cada uno de los parámetros, arriba indicados, en forma separada, empleando la premisa básica que ellos alcanzan su valor óptimo con la fertilización completa inoculada. Por esta razón se les ha asignado el valor 100 % en este tratamiento, recibiendo en el resto de los tratamientos valores porcentuales proporcionales. Los tratamientos que presentan valores menores al 90 % del tratamiento de referencia, indican la existencia de deficiencia para el nutriente, u otra variable, excluido en dicho tratamiento (17).

La expresión de los resultados de número y peso de nódulos, peso aéreo y nitrógeno total de la parte aérea de plantas en floración y de peso aéreo de plantas en madurez fisiológica, en forma porcentual, se muestran en las Tablas 74 a 78.

#### 1. Número de nódulos del frejol a la floración.

El efecto que tienen los distintos tratamientos sobre la cantidad de nódulos formados en el frejol, se puede analizar mediante las siguientes comparaciones de los datos porcentuales

TABLA 74. NUMERO DE NODULOS, A LA FLORACION, DE PLANTAS DE FREJOL CV. OPALO CULTIVADO EN MACETAS CON MUESTRAS DE SUELOS. DATOS EXPRESADOS COMO PORCENTAJE DEL TRATAMIENTO COMPLETO INOCULADO (100 %).

MUESTRA	SUELO	TRATAMIENTOS									
		C.I.	C.N.I.	T.	-P	-K	-Ca	-Mg	-S	-Mic.	P.C.
1	Arenales	100,0	94,7	<u>20,5</u>	<u>45,6</u>	100,3	<u>88,8</u>	113,5	116,8	97,3	98,7
2	Lomerío	100,0	102,0	<u>0,0</u>	<u>17,3</u>	<u>59,2</u>	<u>80,6</u>	113,2	153,1	106,1	<u>30,6</u>
3	Negrete	100,0	122,6	92,5	<u>69,2</u>	250,7	120,5	98,6	187,7	115,7	120,5
6	Arrayán	100,0	102,2	<u>1,4</u>	<u>5,8</u>	141,6	106,5	122,9	<u>74,7</u>	<u>59,4</u>	<u>63,5</u>
7	Arrayán	100,0	99,3	<u>26,3</u>	<u>13,8</u>	107,5	104,8	92,4	<u>85,9</u>	97,5	<u>82,8</u>
8	Arrayán	100,0	<u>17,3</u>	<u>0,4</u>	<u>12,2</u>	117,3	<u>62,0</u>	<u>81,5</u>	<u>73,4</u>	<u>78,2</u>	<u>78,2</u>
9	Collipulli	100,0	<u>18,2</u>	<u>76,9</u>	<u>81,0</u>	114,0	<u>66,1</u>	<u>44,6</u>	<u>58,7</u>	<u>76,0</u>	<u>38,0</u>
10	Collipulli	100,0	<u>42,3</u>	<u>89,7</u>	<u>44,3</u>	154,6	202,1	169,1	169,1	162,9	93,8
11	San Carlos	100,0	155,9	<u>30,9</u>	<u>26,0</u>	91,9	<u>57,2</u>	<u>86,4</u>	<u>60,4</u>	<u>74,5</u>	<u>88,2</u>
12	San Carlos	100,0	102,3	<u>18,9</u>	<u>58,9</u>	<u>76,2</u>	135,6	140,3	126,9	177,5	201,0
13	Coihueco	100,0	97,0	<u>11,1</u>	<u>32,6</u>	103,8	<u>87,3</u>	108,4	<u>76,3</u>	113,2	<u>84,9</u>
14	Buñes	100,0	<u>42,2</u>	<u>0,0</u>	<u>14,9</u>	142,6	<u>80,2</u>	<u>82,1</u>	95,7	112,2	<u>38,3</u>
15	Quella	100,0	111,0	<u>7,0</u>	<u>27,5</u>	<u>79,3</u>	123,7	117,5	153,5	216,0	153,9

T = Testigo, sin fertilización.

C.N.I. = Fertilización completa sin inoculación.

C.I. = Fertilización completa con inoculación

TABLA 75. PESO DE NODULOS, A LA FLORACION, DE PLANTAS DE FREJOL CV. OPALO CULTIVADO EN MACETAS CON MUESTRAS DE SUELOS. DATOS EXPRESADOS COMO PORCENTAJE DEL TRATAMIENTO COMPLETO INOCULADO (100 %).

MUESTRA	SUELO	TRATAMIENTOS									
		C.I.	C.N.I.	T.	-P	-K	-Ca	-Mg	-S	-Mic.	P.C.
1	Arenales	100,0	100,8	<u>19,6</u>	<u>39,1</u>	105,3	91,7	106,1	111,8	94,2	96,0
2	Lomerío	100,0	109,4	<u>0,0</u>	<u>3,5</u>	<u>34,6</u>	<u>49,4</u>	95,7	146,3	<u>62,0</u>	<u>9,1</u>
3	Negrete	100,0	93,9	<u>58,4</u>	<u>60,6</u>	165,0	<u>74,9</u>	<u>77,7</u>	129,4	<u>83,5</u>	90,6
6	Arrayán	100,0	108,8	<u>0,3</u>	<u>2,9</u>	118,5	118,3	134,7	<u>83,8</u>	99,4	97,0
7	Arrayán	100,0	100,6	<u>25,5</u>	<u>13,1</u>	123,8	91,5	106,7	<u>87,7</u>	96,7	<u>86,1</u>
8	Arrayán	100,0	<u>26,3</u>	<u>0,3</u>	<u>7,6</u>	130,0	<u>80,6</u>	130,8	<u>82,3</u>	91,0	120,4
9	Collipulli	100,0	<u>5,1</u>	<u>19,3</u>	<u>19,0</u>	<u>45,8</u>	114,6	104,0	97,2	119,7	<u>39,5</u>
10	Collipulli	100,0	<u>32,9</u>	<u>91,6</u>	<u>33,5</u>	130,7	121,2	121,3	124,4	<u>88,4</u>	<u>88,4</u>
11	San Carlos	100,0	<u>86,9</u>	<u>18,0</u>	<u>26,1</u>	<u>84,0</u>	94,2	97,3	<u>85,8</u>	93,3	<u>77,4</u>
12	San Carlos	100,0	95,3	<u>44,0</u>	<u>88,0</u>	<u>83,3</u>	115,9	101,2	100,9	133,4	118,1
13	Coihueco	100,0	<u>85,2</u>	<u>18,3</u>	<u>34,3</u>	119,2	107,8	90,3	<u>76,5</u>	108,9	<u>86,0</u>
14	Bulnes	100,0	<u>61,4</u>	<u>0,0</u>	<u>6,1</u>	141,2	132,92	99,11	<u>87,7</u>	125,7	<u>75,7</u>
15	Quella	100,0	96,8	<u>3,4</u>	<u>9,1</u>	<u>79,5</u>	92,7	95,6	<u>73,1</u>	137,1	<u>81,0</u>

T = Testigo, sin fertilización.  
 C.N.I. = Fertilización completa sin inoculación.  
 C.I. = Fertilización completa con inoculación

TABLA 76. PESO PARTE AEREA, A LA FLORACION, DE PLANTAS DE FREJOL CV. OPALO CULTIVADO EN MACETAS CON MUESTRAS DE SUELOS. DATOS EXPRESADOS COMO PORCENTAJE DEL TRATAMIENTO COMPLETO INOCULADO (100 %).

MUESTRA	SUELO	TRATAMIENTOS									
		C.I.	C.N.I.	T.	-P	-K	-Ca	-Mg	-S	-Mic.	P.C.
1	Arenales	100,0	101,6	<u>66,1</u>	<u>73,1</u>	99,8	92,3	94,8	110,7	96,8	113,5
2	Lomerío	100,0	104,3	<u>50,9</u>	<u>47,5</u>	96,1	96,5	96,1	95,3	100,1	100,0
3	Negrete	100,0	<u>78,1</u>	<u>82,2</u>	<u>83,1</u>	95,7	<u>80,4</u>	95,4	<u>86,7</u>	<u>87,7</u>	100,7
6	Arrayán	100,0	102,2	<u>40,4</u>	<u>59,6</u>	99,6	102,8	101,6	103,5	101,2	110,1
7	Arrayán	100,0	98,0	<u>57,2</u>	<u>55,4</u>	100,4	102,1	95,8	95,4	96,3	100,7
8	Arrayán	100,0	<u>86,7</u>	<u>68,4</u>	<u>81,6</u>	99,8	104,4	103,4	102,9	101,7	109,6
9	Collipulli	100,0	<u>86,9</u>	<u>55,8</u>	<u>53,1</u>	<u>71,5</u>	111,7	114,6	110,4	90,7	<u>65,9</u>
10	Collipulli	100,0	<u>72,0</u>	<u>60,7</u>	<u>60,9</u>	103,5	110,9	121,2	112,5	<u>89,7</u>	<u>81,9</u>
11	San Carlos	100,0	94,9	<u>65,8</u>	<u>67,4</u>	96,0	106,2	94,4	96,5	100,4	<u>86,3</u>
12	San Carlos	100,0	91,3	<u>82,0</u>	<u>89,3</u>	102,7	101,5	101,1	105,7	100,9	105,1
13	Coihueco	100,0	98,5	<u>66,4</u>	<u>67,4</u>	105,1	90,4	99,8	94,1	100,2	98,4
14	Bulnes	100,0	<u>83,9</u>	<u>58,4</u>	<u>66,1</u>	101,8	103,5	102,4	90,5	91,0	91,9
15	Quella	100,0	95,8	<u>66,7</u>	<u>82,9</u>	109,0	<u>85,0</u>	108,1	105,4	107,6	99,6

T = Testigo, sin fertilización.

C.N.I. = Fertilización completa sin inoculación.

C.I. = Fertilización completa con inoculación

TABLA 77. NITROGENO TOTAL PARTE AEREA, A LA FLORACION, DE PLANTAS DE FREJOL CV. OPALO CULTIVADO EN MACETAS CON MUESTRAS DE SUELOS. DATOS EXPRESADO COMO PORCENTAJE DEL TRATAMIENTO COMPLETO INOCULADO (100 %).

MUESTRA	SUELO	TRATAMIENTOS									
		C.I.	C.N.I.	T.	-P	-K	-Ca	-Mg	-S	-Mic.	F.C.
		----- % -----									
1	Arenales	100,0	100,9	<u>63,3</u>	<u>62,8</u>	108,1	92,5	99,0	115,6	103,6	106,2
2	Lomerío	100,0	97,7	<u>66,3</u>	<u>57,8</u>	103,3	104,5	91,7	102,7	97,2	90,7
3	Negrete	100,0	90,4	<u>84,9</u>	<u>86,2</u>	98,0	<u>86,5</u>	97,3	97,2	92,6	95,6
6	Arrayán	100,0	101,2	<u>84,2</u>	<u>89,8</u>	99,1	102,6	102,2	103,3	103,1	92,8
7	Arrayán	100,0	92,7	<u>49,2</u>	<u>54,2</u>	100,3	92,7	<u>86,9</u>	<u>83,0</u>	<u>79,1</u>	<u>82,5</u>
8	Arrayán	100,0	<u>77,6</u>	<u>65,1</u>	<u>67,4</u>	99,3	96,3	98,3	96,0	97,0	101,8
9	Collipulli	100,0	<u>85,4</u>	<u>55,0</u>	<u>52,5</u>	<u>73,1</u>	106,3	100,6	105,2	<u>80,2</u>	<u>71,3</u>
10	Collipulli	100,0	<u>63,1</u>	<u>62,4</u>	<u>64,3</u>	104,9	111,2	141,7	133,1	<u>83,9</u>	<u>83,4</u>
11	San Carlos	100,0	91,5	<u>69,9</u>	<u>69,0</u>	91,3	100,9	90,4	92,4	<u>87,3</u>	<u>75,9</u>
12	San Carlos	100,0	92,4	<u>86,5</u>	<u>88,9</u>	101,8	106,5	103,8	107,4	107,3	106,5
13	Coihueco	100,0	95,8	<u>69,8</u>	<u>73,0</u>	103,0	<u>89,6</u>	97,6	92,7	93,6	98,4
14	Bulnes	100,0	<u>86,6</u>	<u>66,1</u>	<u>72,3</u>	107,4	<u>83,5</u>	<u>89,7</u>	96,5	<u>87,4</u>	<u>72,0</u>
15	Quella	100,0	95,3	<u>85,7</u>	90,8	98,1	<u>81,5</u>	106,2	96,2	96,5	97,6

T = Testigo, sin fertilización.

C.N.I. = Fertilización completa sin inoculación.

C.I. = Fertilización completa con inoculación

TABLA 78. PESO SECO PARTE AEREA, A LA MADUREZ FISIOLÓGICA, DE PLANTAS DE FREJOL CV. OPALO CULTIVADO EN MACETAS CON MUESTRAS DE SUELOS Y FERTILIZACIÓN NITROGENADA. DATOS EXPRESADOS COMO PORCENTAJE DEL TRATAMIENTO COMPLETO INOCULADO (100 %).

MUESTRA	SUELO	TRATAMIENTOS									
		C.I.	C.N.I.	T.	-P	-K	-Ca	-Mg	-S	-Mic.	P.C.
1	Arenales	100,0	101,8	<u>74,9</u>	<u>64,2</u>	102,0	105,6	<u>89,7</u>	<u>87,8</u>	96,3	<u>80,8</u>
2	Lomerío	100,0	99,5	<u>43,9</u>	<u>31,5</u>	92,2	94,5	98,0	92,9	97,6	<u>79,2</u>
3	Negrete	100,0	<u>83,4</u>	<u>50,1</u>	<u>87,7</u>	95,6	<u>78,7</u>	93,1	91,3	123,1	110,9
6	Arrayán	100,0	91,4	<u>52,6</u>	<u>58,0</u>	94,7	105,9	103,3	104,8	101,7	90,7
7	Arrayán	100,0	102,3	<u>77,1</u>	<u>67,8</u>	99,0	90,6	98,5	100,7	92,6	96,0
8	Arrayán	100,0	100,8	103,1	95,4	105,4	120,8	112,7	132,8	78,2	78,2
9	Collipulli	100,0	100,3	<u>37,5</u>	<u>44,2</u>	98,9	<u>74,9</u>	90,7	93,6	92,6	91,9
10	Collipulli	100,0	92,2	<u>76,5</u>	90,5	<u>89,7</u>	104,1	97,5	109,3	<u>79,4</u>	<u>80,3</u>
11	San Carlos	100,0	<u>89,2</u>	<u>70,1</u>	<u>73,8</u>	101,9	92,6	102,4	94,7	94,2	97,8
12	San Carlos	100,0	102,2	<u>83,0</u>	<u>83,9</u>	96,8	98,9	95,9	93,8	92,8	92,9
13	Coihueco	100,0	103,5	<u>70,5</u>	<u>73,9</u>	99,4	92,7	<u>77,6</u>	<u>81,7</u>	94,4	92,7
14	Bulnes	100,0	93,6	<u>52,0</u>	<u>59,7</u>	96,5	94,5	<u>87,3</u>	<u>81,8</u>	<u>88,1</u>	<u>88,4</u>
15	Quella	100,0	90,3	<u>54,5</u>	<u>72,6</u>	<u>85,7</u>	90,5	100,2	<u>62,8</u>	97,7	<u>89,7</u>

T = Testigo, sin fertilización.

C.N.I. = Fertilización completa sin inoculación.

C.I. = Fertilización completa con inoculación

dados en la Tabla 74:

**1.1. Tratamiento Completo Inoculado (CI) vs. Completo no Inoculado (CNI).**

La comparación del número de nódulos, por maceta, de las plantas de frejol inoculadas respecto de las no inoculadas, dividen a los suelos en 3 situaciones distintas:

- a) Igual número de nódulos: suelos Arenales (1), Lomerío (2), Arrayán (6), Arrayán (7), San Carlos (12) y Coihueco (13).
- b) Mayor número de nódulos cuando no se inocula. Las cepas nativas son más infectantes que las agregadas con el inoculante: suelos Negrete (3), San Carlos (11) y Quella (15).
- c) Menor número de nódulos cuando no se inocula. En este último caso faltan cepas de rizobios en el suelo respectivo, o si existen, poseen una concentración baja inadecuada o tienen baja capacidad infectante: suelos Arrayán (8), Collipulli (9), Collipulli (10) y Bulnes (14).

En 6 de los 13 suelos (46,2 %) las plantas tienen igual número de nódulos con las cepas nativas que con las cepas inoculadas, en 4 (30,8 %) es ventajosa la inoculación y sólo 3 (23,0 %) tienen cepas nativas más infectantes que las introducidas mediante la inoculación.

**1.2. Tratamientos Testigo (T) vs. Completo Inoculado (CI).**

- a) En 2 suelos, Lomerío (2) y Bulnes (14), las plantas del tratamiento Testigo presentan una ausencia total de nódulos y en otros 4 suelos alcanzan, en el mejor de los casos, al 11% del tratamiento CI.
- b) En un único suelo, Negrete (3), se tiene un número similar de nódulos en ambos tratamientos, con probabilidad que pueda considerarse a un segundo suelo, Collipulli (10), de igual respuesta.
- c) La diferencia entre los tratamientos T y CI no es la inoculación, pues en ambos la semilla fue tratada con

las mismas cepas de rizobios y cantidad de inoculante. Por lo tanto se abre la interrogante: ¿cuál es el elemento químico responsable de la escasa nodulación del frejol en los suelos de la VIII Región?

### 1.3. Tratamiento Sin Fosforo (-P) vs. Completo Inoculado (CI).

- a) En todos los suelos, incluso Negrete (3) y Collipulli (10), las plantas muestran una fuerte disminución en el número de nódulos, cuando falta exclusivamente el fósforo en la fertilización completa; talvez podría exceptuarse de esta regla al suelo Collipulli (9).
- b) La posición que asume el P en la nutrición del frejol cultivado sobre los suelos de la VIII Región es única, pues no existe ningún otro elemento químico investigado en los demás tratamientos que pueda tener un rol similar.
- c) El resultado obtenido es totalmente ajeno a la textura del suelo y compromete por igual a todos los suelos de la VIII Región.

### 1.4. Tratamiento Fertilización Comercial (FC) vs. Completo Inoculado (CI).

- a) La fertilización comercial con superfosfato triple + sulpomag, con trariamente a lo esperado, no mejora la nodulación del frejol en todos los suelos. Este resultado permite contemplar la influencia de 3 factores que pueden estar actuando separadamente o en forma conjunta, según la particular situación de cada suelo:
  - i) La presencia de una deficiencia múltiple y no simple, donde la del fósforo es acompañada por otra(s) carencia(s) nutritiva(s).
  - ii) Un efecto depresivo del bajo pH que tiene la mezcla comercial (FC), principalmente atribuible al superfosfato triple.
  - iii) Presencia de cantidades insuficientes (deficiencia) o excesivas (toxicidad) de micronutrientes.

### 1.5. Tratamientos -K, -Ca, -Mg, -S y -Micro vs. Completo Inoculado (CI) y Fertilización Comercial (FC)..

- a) Mediante una evaluación de la nodulación en los diferentes tratamientos fertilizantes que caracteriza a

cada suelo, se puede establecer el siguiente esquema:

SUELO	Deficiencia múltiple (además del Fósforo)	Efecto depresivo causado por excesos de:
1	Ca	Mg, S
2	K, Ca	Mg, S
3	---	K, Ca, S, Micro
6	S, Micro	K, Mg
7	S	¿K?
8	Ca, Mg, S, Micro	K
9	Ca, Mg, S, Micro	K
10	---	K, Ca, Mg, S, Micro
11	Ca, Mg, S, Micro	---
12	K	Ca, Mg, S, Micro
13	Ca, S	¿Mg?, Micro
14	Ca, Mg	K, Micro
15	K	Ca, Mg, S, Micro

El suelo 2 (Lomerío) presenta además un efecto antagónico del K con Mg y S.

- b) Por lo tanto, el número de nódulos en frejol cultivado en la VIII Región se ve afectado por:
- i) Deficiencia de fósforo.
  - ii) La falta de otros nutrientes. y/o
  - iii) El exceso de algunos nutrientes distintos de P.
- c) Los elementos más frecuentemente deficitarios que acompañan a la pobreza generalizada de fósforo disponible para las plantas en los suelos de la VIII Región y que deprimen el número de nódulos, son:
- i) El calcio en 7 suelos.
  - ii) El Mg en 4 suelos.
  - iii) El S en 6 suelos.
  - iv) Los microelementos en 4 suelos.
  - v) El K en 3 suelos.
- d) El efecto depresivo sobre el número de nódulos en plantas de frejol causado por la fertilización comercial, podría explicarse no sólo por el bajo pH, sino también por contener un exceso de algún nutriente; el cual causaría toxicidad, aunque se corrija la deficiencia de fósforo.
- e) Se observa que la dosis, aplicada en el ensayo, de cada uno de los siguientes nutrientes es depresiva, porque hay una nodulación más numerosa en el frejol cuando se le excluye que cuando se les incluye en la fertilización completa (CI):
- i) El K es depresivo en 6 suelos (tal vez en 7 suelos).

- ii) El Ca es depresivo en 4 suelos (tal vez en 5 suelos).
- iii) El Mg es depresivo en 6 suelos (tal vez en 7 suelos).
- iv) El S es depresivo en 6 suelos.
- v) Los microelementos son depresivos en 6 suelos (tal vez en 7 suelos).

Esto significa que no es suficiente corregir la deficiencia de fósforo, porque debe atenderse además a la existencia de un adecuado balance entre los diferentes nutrientes. Especial importancia debe concederse en este sentido a evitar la presencia excesiva de manganeso, porque la sensibilidad del frejol a este micronutriente es muy grande cuando sobrepasa la concentración crítica de la toxicidad en el tejido.

## 2. Peso de nódulos por planta, a la floración.

Se procederá igual que en el caso anterior, comparando los resultados obtenidos con los distintos tratamientos.

### 2.1. Tratamiento Completo Inoculado (CI) vs. Completo no Inoculado (CNI).

La mejor nodulación que se habían observado, en algunos suelos, en el tratamiento no inoculado cuando se atendía al número de nódulos/planta, desaparecen cuando se atiende al peso de los nódulos/planta (Tabla 75), dado que:

- a) En ningún suelo es superior el peso de los nódulos de las plantas en el tratamiento CNI que en el CI.
- b) Por el contrario, en 6 suelos (46,2 %), Arrayán (8), Collipulli (9), Collipulli (10), San Carlos (11), Coihueco (13) y Bulnes (14), es considerablemente menor el peso nodular en el tratamiento no inoculado.

Estos resultados enfatizan el efecto favorable de la inoculación de la semilla en la nodulación del frejol cultivado en los suelos de la VIII Región, puesto que el peso nodular es un parámetro que se asocia mejor con la eficiencia de la nodulación que el número de nódulos.

## 2.2. Tratamiento Testigo (T) vs. Completo Inoculado (CI).

Está fuera de toda duda que el principal factor que controla la masa nodular de las plantas del tratamiento CI es la fertilización, pues en todos los suelos es menor el peso del nódulo para el tratamiento Testigo no fertilizado que para el tratamiento CI a pesar que en ambos tratamientos la semilla fue inoculada.

## 2.3 Tratamiento Sin Fósforo (-P) vs Completo Inoculado (CI).

Al efectuar la comparación entre los pesos de nódulos en las plantas de los tratamientos -P y CI, de cada suelo, se demuestra en forma inequívoca que al fósforo le corresponde un rol prioritario en la nutrición del frejol cultivado sobre los suelos de la VIII Región. Irremediablemente decrece siempre en forma ostensible el peso de los nódulos cuando falta fósforo, aunque se agreguen todos los demás nutrimentos. La acción de todos ellos queda condicionada a que también haya una adición de fósforo.

## 2.4. Tratamiento Fertilización Comercial (FC) vs. Completo Inoculado (CI).

La fertilización comercial empleada en el ensayo solamente en cinco suelos, Arenales (1), Negrete (3), Arrayán (6), Arrayán (8) y San Carlos (12), es capaz de proporcionar, al momento de la floración, pesos de nódulos semejantes al tratamiento completo inoculado (CI).

Al igual que en el caso del número de nódulos de las planta, procede aquí una indagación de las causas que podrían originar la inesperada mala respuesta del frejol a la fertilización comercial que, como se sabe, corrige la deficiencia de fósforo. Se usarán

los criterios de deficiencia múltiple (otros elementos nutritivos deficientes, aparte del fósforo) y presencia excesiva de algunos elementos químicos que causan un efecto depresivo sobre la fertilización completa.

Por lo tanto, la situación de cada suelo en relación al peso del tejido nodular desarrollado en el frejol, interpretada de acuerdo a un diagnóstico de fertilidad sería así:

SUELO	Otras deficiencias (Todos pobres en P)	Exceso
1	---	S
2	K, Ca, Micro	S
3	Ca, Micro	K, S
6	S	K, Ca, Mg
7	S	K, ¿Mg?
8	Ca, S	K, Mg
9	K	Ca, Micro
10	Micro	K, Ca, Mg, S
11	K, S	---
12	K	Ca, Micro
13	S	K, ¿Ca, Micro?
14	S	K, Ca, Micro
15	K, S	Micro

Hay fuertes variaciones en cada suelo, donde a la deficiencia de fósforo se unen, a veces, deficiencias de otros elementos nutritivos, y otras veces hay un efecto antagónico provocado por el exceso de algún micro o macronutriente.

La búsqueda de variedades de frejol tolerantes a la presencia de cantidades abundantes de micro y macronutrientes, puede ser una alternativa promisoría.

### 3. Peso aéreo del frejol a la floración.

El análisis de los resultados de los efectos, en los dis-

tintos suelos, de los diferentes tratamientos sobre la producción de materia seca aérea, al momento de la floración (Tabla 76), se ha hecho mediante las siguientes comparaciones:

### 3.1. Tratamiento Completo no Inoculado (CNI) vs. Completo Inoculado (CI).

Al igual que el número de nódulos y el peso seco de ellos, la no inoculación de la semilla afectó el peso seco de la parte aérea del frejol, medido a la floración. Es así que en 5 suelos (38 %), Negrete (3), Arrayán (8), Collipulli (9), Collipulli (10) y Bulnes (14), el peso seco de las planta del tratamiento CNI fue menos del 90 % del peso en el tratamiento CI. Excepto en el suelo Negrete, la nodulación del frejol, tanto en número como peso de nódulos, también fué menor en el tratamiento CNI.

### 3.2. Tratamiento Testigo (T) vs. Completo Inoculado (CI).

Absolutamente en todos los suelos se deprime el peso seco aéreo del frejol, medido al momento de la floración, cuando no se fertiliza el suelo.

### 3.3. Tratamiento Sin Fosfato (-P) vs. Completo Inoculado (CI).

El elemento químico fundamental para mejorar la fertilidad de los suelos de la VIII Región es el fósforo. En efecto, la adición de todos los demás nutrientes -faltando únicamente el fósforo- no causa un aumento de peso aéreo similar al de la fertilización completa.

### 3.4. Tratamientos Sin Fosfato (-P) vs. Testigo (T).

La exclusión del P produce rendimientos de materia seca similares a la no aplicación de fertilización (T), hecho que reafirma el rol preponderante de la nutrición fosfatada en el crecimiento del frejol y la carencia generalizada de este nutriente en suelos de la VIII Región.

Queda, por lo tanto, muy claro que la mala producción de tejido aéreo del frejol en el tratamiento T es la consecuencia de una falta de fósforo. Este resultado enfatiza el concepto desarrollado por Chaminade y aplicado por Schenkel y Baherle (16), de la jerarquía de las deficiencias nutritivas. Existe un elemento deficitario que debe ser corregido con prioridad a otros, porque el efecto de los últimos queda condicionado a la presencia de una cantidad suficiente del primero. En este caso está claro que la corrección de la deficiencia de fósforo es de la máxima prioridad.

### 3.5. Tratamiento Fertilización Comercial (FC) vs. Completo Inoculado (CI).

Una confirmación de la urgencia que tiene la corrección de fósforo en los suelos empleados en esta investigación la proporciona el tratamiento FC. Al agregar fósforo con la fertilización comercial (FC), en cantidad equivalente al de la fertilización completa inoculada (CI), se llega, a excepción de los suelos Collipulli (9), Collipulli (10) y San Carlos (11), a producciones de materia seca similares para ambos tratamientos de un mismo suelo.

### 3.6. Tratamientos -K, -Ca, -Mg, -S y -Micro vs. Completo Inoculado (CI) y Fertilización Comercial (FC)..

El análisis de los resultados de la comparación de los tratamientos excluyentes de un nutriente con el tratamiento CI, permite distinguir las siguientes deficiencias o excesos nutricionales en los diferentes suelos:

#### i) Deficiencias múltiples (además del Fósforo)

---

K - en 1 suelo  
Ca - en 2 suelos  
Mg - en 0 suelo  
S - en 1 suelo  
Micronutrientes en 2 suelos

---

#### ii) Efecto depresivo causado por exceso de

---

K en 0 suelos  
Ca en 2 suelo  
Mg en 2 suelos  
S en 3 suelos  
Micronutrientes en 0 suelo

---

Atendiendo únicamente a la producción de materia seca aérea a la floración, podría deducirse que la FC es eficiente para llevar la producción a su valor máximo, salvo en tres suelos, donde la producción de masa aérea estar limitada por otras deficiencias o excesos nutricionales:

Suelo Collipulli (9) = def. de K.  
" Collipulli (10) = def. de micronutrientes.  
" San Carlos (11) = def. de ¿Ca? y exceso de ¿Mg?

En apoyo de esta deducción debe tenerse presente que en el suelo Collipulli (9) el peso aéreo a la floración en los tratamientos FC y -K son similares, del mismo modo que lo son los tratamientos -Micro y FC en el suelo Collipulli (10).

### 4. Nitrogeno total de la parte aérea, a la floración.

A priori debe aceptarse que este parámetro se origina por la suma de los aportes del nitrógeno proveniente de la simbiosis y

del nitrógeno mineral o mineralizado del suelo a la nutrición nitrogenada del frejol.

Prosiguiendo con la comparación entre los diferentes tratamientos (Tabla 77), puede establecerse varios hechos:

#### 4.1. Tratamiento Completo no Inoculado (CNI) vs. Completo Inoculado (CI).

La inoculación de la semilla en los suelos con fertilización completa, en general mejoró los contenidos de nitrógeno total en el frejol, como se desprende de los resultados obtenidos para ambos tratamientos. En dos suelos (15,4 %), el nitrógeno total de las plantas del tratamiento CNI fué, porcentualmente, igual al de las del tratamiento CI, en 7 suelos (53,8 %) se mantuvo entre un 90 y 100 % y en 4 suelos (30,8 %) fué entre un 63,1 y 86,6 %. Hay, por consiguiente, un beneficio evidente de la inoculación con cepas eficientes, respecto de las nativas, hecho que ya se había demostrado en la nodulación de las plantas. Por esta razón, la práctica de la inoculación de la semilla debiera ser de rutina en siembras comerciales de frejol en la VIII Región.

#### 4.2. Tratamiento Testigo (T) vs. Completo Inoculado (CI).

Los contenidos de nitrógeno total son considerablemente inferiores en el frejol del tratamiento no fertilizado (T), aunque inoculado, respecto del respectivo tratamiento CI. La diferencia en la riqueza de nitrógeno total entre ambos tratamientos debe atribuirse a la fertilización y le confiere a la fertilización la principal responsabilidad en el enriquecimiento de nitrógeno total del tejido foliar, ya sea debido a un

mayor desarrollo de la masa nodular y fijación de nitrógeno o a su efecto estimulante sobre la mineralización del nitrógeno orgánico del suelo.

#### 4.3. Tratamiento Sin Fósforo (-P) vs. Completo Inoculado (CI).

Al comparar estos dos tratamientos en cada suelo, se ve que el contenido de nitrógeno total aéreo es siempre menor en el tratamiento -P. Por tanto, al igual que lo observado con la producción y nodulación del frejol, también el fósforo se convierte en el elemento clave para mejorar la fertilidad de los suelos estudiados, provenientes de la VIII Región y que se cultivan con frejol.

#### 4.4. Tratamiento Sin Fósforo (-P) vs. Testigo (T).

Aunque experimentalmente hay pequeñas diferencias entre los contenidos de nitrógeno total de la parte aérea, al momento de la floración, éstas son suficientemente como para permitir la identificación del fósforo como el elemento predominantemente deficitario dentro del cuadro carencial múltiple que puedan ofrecer los distintos suelos.

#### 4.5. Tratamientos -K, -Ca, -Mg, -S y -Micro vs. Completo Inoculado (CI).

Otras deficiencias o excesos nutricionales que afectan el contenido de nitrógeno total de la parte aérea, a la floración, del frejol, cultivado en macetas con muestras de suelos de la VIII Región, son:

i) Deficiencias múltiples  
(además del Fósforo)

---

K - en 1 suelo  
Ca - en 4 suelos  
Mg - en 3 suelo  
S - en 1 suelo  
Micronutrientes en 5 suelos

---

ii) Efecto depresivo causado  
por exceso de

---

K en 0 suelos  
Ca en 1 suelo  
Mg en 1 suelos  
S en 2 suelos  
Micronutrientes en 0 suelo

---

5. Peso seco aéreo del frejol, a la madurez fisiológica, fertilizado con nitrógeno a la floración.

La quinta propiedad considerada es el peso seco aéreo, a la madurez fisiológica, de plantas de frejol que recibieron fertilización nitrogenada a la floración. Con este tratamiento se buscó independizar la nutrición nitrogenada del frejol de la fijación simbiótica de nitrógeno, y así detectar los nutrientes que afectan su desarrollo vegetativo independientemente del efecto indirecto que pueden tener sobre este parámetro al actuar sobre la fijación simbiótica. Nuevamente se elige el método comparativo para analizar los resultados (Tabla 78).

5.1. Tratamiento Completo no Inoculado (CNI) vs. Completo Inoculado (CN).

En general, cuando no se inocula y se aplica una fertilización completa, hay una menor severidad en la disminución del peso seco aéreo del frejol al momento de la madurez fisiológica que al momento de la floración. Las ventajas de la inoculación en el aumento de peso seco del frejol tienden a disiparse cuando la planta se independiza de la fijación simbiótica de nitrógeno.

## 5.2. Tratamiento Testigo (T) vs. Completo Inoculado (CI).

El peso aéreo a la madurez fisiológica es muy afectado por la ausencia de fertilización, pero sin que la tendencia observada sea la misma para todos los suelos, respecto del peso seco al momento de la floración.

La incidencia que tiene la no fertilización sobre el peso seco aéreo a madurez fisiológica del frejol:

- Se agrava en 5 suelo
- Se debilita en 6 suelos
- Se iguala en 1 suelo y
- Desaparece en 1 suelo

respecto de lo que ocurre con igual parámetro en el momento de la floración en plantas que no recibieron fertilización nitrogenada adicional y dependieron de la simbiosis.

De todas maneras, la fertilización es el factor más importante para mejorar la producción de materia seca a la madurez fisiológica, al igual de lo que ocurre a la floración.

## 5.3. Tratamiento Sin Fósforo (-P) vs. Completo Inoculado (CI).

Aquí debe atenderse a dos cuestiones distintas:

- a) El fósforo sigue siendo el nutrimento más importante para corregir la fertilidad de los suelos de la VIII Región, incluidos en el ensayo de macetas, y
- b) El fósforo modifica en general su importancia relativa para un mismo suelo, cuando se juzga su efecto por el peso aéreo en el frejol en dos épocas distintas: una a la floración y la otra a la madurez fisiológica.

La importancia que tiene la fertilización fosfatada sobre el peso seco aéreo a madurez fisiológica del frejol,

- Es mayor en 6 suelos.
- Es menor en 4 suelos.
- Es igual en 1 suelo.
- Desaparece en 1 suelo.

con respecto a lo que se observa en los mismos suelos en la floración.

#### 5.4. Tratamientos Sin Fósforo (-P) vs. Testigo (T) y Completo Inoculado (CI).

A madurez fisiológica, el peso seco aéreo del frejol mantiene, en los tratamientos T y -P, básicamente las mismas tendencias observadas a la floración del frejol. La discrepancias mayores corresponden al suelo Arrayán (8) donde el peso seco en ambos tratamientos es similar al alcanzado en el tratamiento CI, por lo que este suelo no presentaría una deficiencia de fósforo ni respuesta a la fertilización, si el peso seco aéreo se mide a la madurez fisiológica en vez de floración, y al suelo Collipulli (10), donde la adición de todos los demás nutrientes excepto el fósforo, es capaz de provocar peso seco muy próximo al del tratamiento CI, mayor, en todo caso, que en el tratamiento T sin fertilizante alguno.

#### 5.5. Tratamiento Sin Fósforo (-P) vs. Fertilización Comercial (FC).

La fertilización comercial es menos eficiente cuando su efecto se evalúa como peso seco aéreo del frejol a la madurez fisiológica, que a la floración. En un total de 5 suelos subsiste una deteriorada producción de materia seca aérea del frejol, cuando se controló a madurez fisiológica, frente a sólo 3 suelos en floración.

Los resultados anteriores tienen relevancia, porque al

introducir el concepto tiempo, se modifica la importancia relativa que tiene el suministro de nutrimentos en cantidad adecuada, pues su absorción debe ser en el momento oportuno, o sea, cuando la planta lo requiere.

5.6. Tratamientos -K, -Ca, -Mg, -S y -Micro vs. Completo Inoculado (CI).

Un diagnóstico de fertilidad lleva a establecer que las deficiencias múltiples -que incluyen al fósforo- y los excesos que deprimen las producciones de materia seca aérea, a la madurez fisiológica, se distribuyen como sigue:

SUELO	Otras deficiencias (Todos pobres en P) *	Exceso
1	Mg, S	¿Ca?
2	---	---
3	Ca	Micro
6	---	¿Ca?
7	---	---
8	---	Ca, Mg, S, Micro
9	Ca, ¿Mg?	---
10	K, Micro	¿Ca?, S
11	---	---
12	---	---
13	¿Ca?, Mg, S	---
14	Mg, S, Micro	---
15	K, S	---

\* Excepto suelos 8 y 10

## DISCUSION (Continuación)

### ETAPA IV. ENSAYOS DE TERRENO

#### 1. Contenidos nutricionales foliares del frejol al estado de floración.

Al discutir los resultados de los ensayos en macetas (Etapa III) se expresaba que el frejol era muy afectado en su crecimiento en los suelos Mañil, atribuyéndose las causas (i) a una aparente deficiencia de calcio y (ii) a toxicidad de aluminio. Se observaron tenores menores de calcio y más elevados de aluminio en las hojas de las plantas afectadas, situación que se presentó también en algunas siembras comerciales de frejol de la provincia de Ñuble.

Atendiendo a la generalizada deficiencia de fósforo que caracteriza a los suelos de la zona, es importante observar lo que ocurre con las concentraciones foliares de nutrientes en el frejol cuando se agregan dosis crecientes de fosfato (superfosfato triple (SFT)), algunas de ellas acompañadas con carbonato de calcio y sulfato de potasio y magnesio (sulpomag (SPM)), de acuerdo a los tratamientos indicados en Materiales y Método para los ensayos de terreno. En esta oportunidad se pretende analizar, separadamente, los cambios en las concentraciones foliares de Al y P por efecto de: (a) dosis crecientes de fertilización fosfatada (SFT); (b) la aplicación de sulpomag (SPM) acompañando al SFT; (c) el encalado, en presencia de SFT o SFT + SPM.

### 1.1. Efecto de dosis crecientes de fertilización fosfatada (SFT).

En la Tabla 79 se proporcionan las concentraciones foliares de P y de Al, en frejol al estado de floración, alcanzadas en los cuatro lugares de ensayo en los distintos tratamientos de fertilización fosfatada con superfosfato triple.

TABLA 79. EFECTO DE DOSIS CRECIENTES DE FOSFATO (SFT) SOBRE LAS CONCENTRACIONES FOLIARES DE P Y Al EN LOS CUATRO LUGARES DE ENSAYO.

TRATAMIENTOS Kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha *	LUGARES							
	FACAVYF		LOS LIRIOS		EL OLIVAR		STA. CLARA	
	P	Al	P	Al	P	Al	P	Al
	%	ppm	%	ppm	%	ppm	%	ppm
0	0,17	432	0,29	1124	0,17	368	0,24	516
100	0,17	300	0,28	1604	0,16	152	0,23	452
200	0,13	528	0,29	2124	0,18	328	0,25	584
400	0,15	220	0,47	932	0,17	356	0,26	492

\* como superfosfato triple.

Aunque la dosis de SFT aplicada modifica la concentración de Al foliar en el frejol en forma distinta según el suelo, en 3 de los 4 suelos se obtienen valores máximos de Al al aplicar una dosis de 200 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha, superando, de esta manera, a las concentraciones de los tratamientos Testigo y 100 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha. Es así que, en general, y contrariamente a lo esperado, la concentración foliar de Al tiende a aumentar con la fertilización con SFT a un máximo con la dosis de 200 kg para luego decrecer en la dosis de 400 kg. Esta situación se puede apreciar en el gráfico A de la Figura 10.

Es interesante señalar y particularmente sorprendente, que

Figura 10.

Variación del contenido de Al foliar (ppm) en frejol en cuatro lugares de ensayo, por efecto de la aplicación de dosis crecientes de (A) superfosfato triple (B) superfosfato triple + sulphomag, o del encalado adicional ( A y B ). En los tratamientos, la primera cifra indica kg  $P_2O_5$ /ha, como SFT, y la segunda indica kg sulphomag/ha.

trabajos realizados hace algunos decenios por INIA (7) dieran resultados totalmente coincidentes, en cuanto a que la mayor concentración foliar de Al en trigo se alcanza con una dosis de 200 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha, aplicada como superfosfato triple.

El efecto de las dosis de SFT sobre la concentración foliar de P sigue una tendencia distinta a la del Al. En el hecho, no hay una tendencia definida del efecto de la dosis de SFT, puesto que la concentración de P es máxima con la dosis de 400 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en los suelos FACAF, Los Lirios y Sta. Clara y con la dosis de 200 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en el suelo El Olivar.

### 1.2. Efecto de la aplicación de sulpomag (SPM) acompañando al superfosfato triple (SFT).

En la Tabla 80 se señalan las concentraciones foliares de P y de Al en frejol, al estado de floración, alcanzadas en los cuatro lugares de ensayo, cuando la fertilización fosfatada con SFT va acompañada con sulfato de K y Mg (sulpomag).

TABLA 80. EFECTO DEL SULPOMAG APLICADO JUNTO A DOSIS CRECIENTES DE FOSFATO (SFT) SOBRE LAS CONCENTRACIONES FOLIARES DE P Y Al EN LOS CUATRO LUGARES DE ENSAYO.

TRATAMIENTOS P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> * SPM	LUGARES							
	FACAVYF		LOS LIRIOS		EL OLIVAR		STA. CLARA	
	P	Al	P	Al	P	Al	P	Al
	%	ppm	%	ppm	%	ppm	%	ppm
0 + 0	0,17	432	0,29	1124	0,17	368	0,24	516
100 + 50	0,15	248	0,34	560	0,16	176	0,24	364
200 + 100	0,14	424	0,42	840	0,17	288	0,28	440
400 + 200	0,15	208	0,44	700	0,18	316	0,29	348

\* como superfosfato triple.

Al comparar las Tablas 79 y 80 se observa que, para una misma dosis de fertilización con SFT, la adición de SPM disminuyó notoriamente la concentración de Al foliar del frejol en comparación con la sola aplicación de SFT. Además, a diferencia también de la sola fertilización con SFT, en todos los tratamientos con SPM la concentración foliar de Al fué menor que en tratamiento no fertilizado.

Habrá que suponer que si el sulpomag tiene algún efecto beneficioso sobre las concentraciones de Al foliar, debiera modificar en especial a los suelos más ricos en Al. Es exactamente lo que ocurrió: el efecto beneficioso del SPM es especialmente notorio en los suelos Los Lirios, Sta. Clara y FACAVYF, siendo menos importante en el suelo El Olivar, como se deduce al comparar las concentraciones foliares de Al para dosis iguales de fosfato aplicadas (Tablas 79 y 80; gráficos A y B de Figura 10).

La acción beneficiosa del SPM en suelos que causan acumulación de Al foliar, necesariamente debe explicarse por la disminución que causa el ión sulfato aportado al suelo sobre la concentración de las especies tóxicas del aluminio. En efecto, Whitten y Ritchie (24) han observado, en suelos de Australia, que cuando se agrega sulfato se favorece la formación de la especie iónica  $AlSO_4^+$ , por lo que tal fertilización reduce las concentraciones de otras especies iónicas del Al mucho más fitotóxicas, tales como  $Al^{+++}$ ,  $Al(OH)^{++}$  y  $Al(OH)_2^+$ .

Por lo tanto, la hipótesis que mediante el SPM se reduce las concentraciones de las especies más tóxicas del Al para el frejol en los suelos de la VIII Región tiene validez cuando se repara en el hecho de que justamente en los suelos donde se

acumula más aluminio foliar en el tratamiento testigo se produce, precisamente, la mayor disminución de este aluminio cuando la fertilización fosfatada con SFT se acompaña con sulpomag.

El sulpomag aumentó la concentración de P foliar, pero esta modificación es inversamente proporcional al contenido de Al foliar acumulado por las plantas del tratamiento Testigo. De todos modos, la acción del SPM es considerablemente menor sobre la concentración de P que sobre la concentración de Al foliares. Este efecto del SPM es interesante porque indica con claridad que hay dos aspectos nutricionales que deben separarse: la deficiencia de fósforo y la toxicidad de aluminio.

### 1.3. Efecto del encalado, en presencia de superfosfato triple o superfosfato triple + sulpomag.

Los datos, presentados en la Tabla 81, muestran que el encalado es beneficioso para el frejol dado que disminuye el contenido de Al foliar.

TABLA 81. EFECTO DEL ENCALADO APLICADO JUNTO A IGUAL DOSIS DE FERTILIZACION FOSFATADA (SFT) SIN O CON SULPOMAG (SPM) SOBRE LAS CONCENTRACIONES FOLIARES DE P Y Al EN LOS CUATRO LUGARES DE ENSAYO.

TRATAMIENTOS	LUGARES							
	FACAVYF		LOS LIRIOS		EL OLIVAR		STA. CLARA	
	P	Al	P	Al	P	Al	P	Al
	%	ppm	%	ppm	%	ppm	%	ppm
SFT	0,13	528	0,29	2124	0,18	328	0,25	584
SFT + Cal	0,14	272	0,33	852	0,14	264	0,28	552
SFT-SPM	0,14	424	0,42	840	0,17	288	0,28	440
SFT-SPM+Cal	0,16	392	0,34	480	0,17	284	0,26	192

Este efecto de la aplicación de carbonato de calcio sobre la absorción de Al es mayor cuando se fertilizó solamente con SFT, pero la adición de SPM produce, excepto en el suelo El Olivar, una reducción adicional de la concentración de Al foliar (ver Figura 10, gráficos A y B).

Al igual que lo observado en la aplicación de sulpomag, el encalado no modificó drásticamente los tenores de P foliar del frejol en relación al mismo tratamiento de fertilización no encalado, ya sea en los suelos con bajo o alto índice de toxicidad de aluminio. Por el contrario, parece más bien que las concentraciones de P foliar más altas se asocian a concentraciones de Al foliar también más altas. Esto puede ser posible si las plantas han tenido un menor desarrollo vegetativo causado por la toxicidad de Al, acumulándose de esta manera el P.

Esta hipótesis pareciera corroborarse cuando se atiende a la matriz de correlación general (cuatro lugares en conjunto) entre contenidos foliares de los distintos elementos químicos (Tabla 82). Se ve como el Al se asocia en forma positiva ( $p \leq 0,01$ ) con el N, P, Ca, Mg y Zn y con el Fe ( $p \leq 0,05$ ). En consecuencia tiene validez atribuir a la toxicidad de Al un efecto de aumento de las concentraciones foliares de nutrientes por la disminución que ocasiona en el crecimiento de la parte aérea de la planta. A su vez, cuando se alivia la toxicidad de Al, la planta de frejol produce más tejido y se produce un efecto de dilución de los nutrientes y, como es nuestro caso, menores tenores foliares.

La consideración anterior tiene relevancia en la interpretación del análisis foliar del frejol, en particular, y de otros cultivos, en general, cuando éste se usa como un método de diag-

nóstico del estado nutricional de un cultivo. En efecto, el P foliar se comporta como una variable dependiente del Al foliar y al no considerar este último parámetro, situación común en el análisis de tejido vegetal, se cae en el error de sobreestimar el significado de la concentración foliar de P. La correlación positiva entre P y Al deja en claro que el contenido foliar de P debe relacionarse con el correspondiente contenido de Al.

TABLA 82. MATRIZ DE CORRELACION GENERAL ENTRE LOS CONTENIDOS FOLIARES DE NUTRIENTES EN EL FREJOL AL MOMENTO DE LA FLORACION.

ELEMENTO	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	Al
N	***		***	***			***	-***	***
P	—		***	***			**	-***	***
K		—		-*					
Ca			—	**	***	***	***		***
Mg				—				-***	***
Fe					—	***			***
Mn						—	***		
Zn							—		**
Cu								—	

\*, \*\*, \*\*\* = significativo al nivel del 10%, 5% y 1%.

Por consiguiente es posible que exista alta concentración de Al foliar, asociada a daño radicular debido a la presencia abundante de Al tóxico en el suelo, y que como resultado de la reducción del crecimiento de la planta aparezca una concentración adecuada o alta de P foliar causada por un efecto de acumulación, pero que la disponibilidad de P del suelo no sea necesariamente suficiente para el desarrollo normal del vegetal.

Llama la atención que el contenido de K foliar no correlacione, excepto con el Mg ( $p \leq 0,01$ ), con los de otros elementos.

A priori podría ser atribuido a una deficiencia de K, lo cual se confirma cuando se atiende a los valores críticos de su concentración foliar en frejol dados por Roselem (ver Tabla 57, Discusión) y que son:

bajo = menos de 2 %  
 medio = de 2 % hasta 2,6 %  
 adecuado = de 2,7 % hasta 3,5 %

Según la Tabla 49 (Resultados), la concentración máxima de K foliar se alcanzó en el tratamiento 7 del suelo FACAVYF (1,54 %) y en la mayoría de los casos no supera el 1 %, siendo el suelo del ensayo Los Lirios el de mayor pobreza en K. La matriz de correlación para este suelo en particular (Tabla 83) indica que el contenido foliar de K se asocia negativamente al nivel del 1 % con el Ca, Mg y Fe y al nivel del 5 % con el Al.

TABLA 83. MATRIZ DE CORRELACION, PARA EL ENSAYO LOS LIRIOS, ENTRE LOS CONTENIDOS FOLIARES DE NUTRIENTES EN EL FREJOL AL MOMENTO DE LA FLORACION.

ELEMENTO	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	Al
N		**	-***	-*	-*				
P	—								
K		—	-***	-***	-***				-**
Ca			—	***	***				*
Mg				—	**				
Fe					—				***
Mn						—		-*	
Zn							—		
Cu								—	

\*, \*\*, \*\*\* = significativo al nivel del 10%, 5% y 1%.

Esta relación da lugar a pensar que hay dos mecanismos distintos, y probablemente independientes, que pueden afectar la

concentración foliar de K en el frejol: (i) bajos contenidos de K de intercambio en el suelo llevan a la planta mantener constante la absorción de cationes favoreciendo el enriquecimiento en Ca y Mg, y (ii) el daño causado por la alta concentración de Al en el suelo, como resultado de sus formas tóxicas, impide, por daño radicular, la absorción normal del K.

Esta última interpretación se ve respaldada por los resultados de las matrices de correlación entre los nutrientes foliares del frejol en los ensayos Sta. Clara (Tabla 84) y El Olivar (Tabla 85), que difieren considerablemente de las antes discutidas. Las plantas de ambos ensayos son más pobres en Al foliar y su contenido no correlaciona con el K y Ca. Tampoco correlaciona con el Mg y Fe en el ensayo Sta. Clara, pero si lo hace con estos elementos en el suelo El Olivar (Mg,  $p \leq 0,05$  ; Fe  $p \leq 0,01$ ).

TABLA 84. MATRIZ DE CORRELACION, PARA EL ENSAYO STA. CLARA, ENTRE LOS CONTENIDOS FOLIARES DE NUTRIENTES EN EL FREJOL AL MOMENTO DE LA FLORACION.

ELEMENTO	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	Al
N									
P	—								
K		—	***				-*		
Ca			—	*			-*		
Mg				—	*				
Fe					—				
Mn						—	-*		-*
Zn							—		
Cu								—	

\*, \*\*, \*\*\* = significativo al nivel del 10%, 5% y 1%.

TABLA 85. MATRIZ DE CORRELACION, PARA EL ENSAYO EL OLIVAR , ENTRE LOS CONTENIDOS FOLIARES DE NUTRIENTES EN EL FREJOL AL MOMENTO DE LA FLORACION.

ELEMENTO	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	Al
N			-*				***		
P	—	**	*	*	*				
K		—							
Ca			—	***					
Mg				—					**
Fe					—				***
Mn						—		-**	
Zn							—	**	
Cu								—	

\*, \*\*, \*\*\* = significativo al nivel del 10%, 5% y 1%.

La matriz general de correlación (Tabla 82) permite aclarar otras dudas importantes que acompañan a la interpretación del análisis foliar. Hay una relación positiva ( $p \leq 0,01$ ) entre los contenidos de Fe y Mn, pero esta asociación no es significativa ( $p \geq 0,10$ ) en los ensayos considerados individualmente. Por otro lado, el contenido de Al se asocia positivamente con el de Fe ( $p \leq 0,01$ ), pero no así con el de Mn, lo que hace que el Al y el Mn actúen en forma separada en la nutrición del frejol. Suelos ricos en formas tóxicas de Mn pueden causar una perturbación nutricional independiente de aquella originada por el Al. Aunque en el suelo Los Lirios el frejol alcanza la mayor riqueza de Al foliar y también un alto contenido de Mn, es en el suelo del ensayo FACAVYF donde se presenta las más altas concentraciones de Mn (hasta 240 ppm) en las hojas sin alcanzar igual gravedad la acumulación de Al.

Ello lleva a deducir que los suelos dedicados al cultivo del frejol en la Provincia de Ñuble pueden presentar una diversidad

de problemas, que incluyen deficiencias de P y K y toxicidades de Al y Mn.

Atendiendo a que en el suelo del ensayo FACAVYF se originan las mayores concentraciones de Mn foliar, es de interés analizar separadamente para cada suelo los efectos del SFT, del SFT más SPM y del encalado (Tabla 86).

TABLA 86. EFECTO DE LOS DISTINTOS TRATAMIENTOS DE FERTILIZACION Y ENCALADO SOBRE LOS CONTENIDOS FOLIARES DE Mn EN FREJOL.

	FACAVYF	LOS LIRIOS	EL OLIVAR	STA. CLARA
TESTIGO	192	104	88	80
SFT 100	172	180	96	100
SFT 200	172	164	104	88
SFT 400	168	124	116	84
SFT 100 + SPM 50	240	168	120	84
SFT 200 + SPM 100	232	180	92	76
SFT 400 + SPM 200	152	156	92	96
SFT 200	172	164	104	88
SFT 200 + cal	140	188	88	68
SFT 200 + SPM 100	232	180	92	76
SFT 200 + SPM 100 + cal	156	152	88	100

De estos datos se desprende que las dosis de SFT tienen un efecto variable, dependiendo del suelo, sobre la concentración de Mn foliar del frejol. En el suelo El Olivar aumenta con la dosis de SFT, En Los Lirios disminuye, mientras que en los suelos FACAVYF y Sta. Clara se mantiene relativamente constante. La adición de SPM al SFT aumenta las concentraciones de Mn foliar en el suelo FACAVYF en las dos dosis más bajas, y en el suelo El Olivar, en la dosis menor, mientras que en los dos otros suelos

casi no hay cambios.

La concentración de Fe foliar disminuye notablemente con la dosis de SFT, especialmente en los suelos Los Lirios y FACAVYF (Tabla 87). Nuevamente el suelo FACAVYF reacciona distinto del suelo Los Lirios frente a la adición complementaria de SPM al SFT. En el suelo FACAVYF disminuye escasamente la concentración de Fe foliar por efecto de SPM, cuando se le compara con SFT únicamente, a dosis iguales de fósforo. En cambio, en el suelo Los Lirios, es espectacular la disminución de Fe foliar originada por la adición de SPM, en comparación con los niveles observados en los tratamientos con SFT.

TABLA 87. EFECTO DE LOS DISTINTOS TRATAMIENTOS DE FERTILIZACION Y ENCALADO SOBRE LOS CONTENIDOS FOLIARES DE Fe EN FREJOL.

	FACAVYF	LOS LIRIOS	EL OLIVAR	STA. CLARA
TESTIGO	1080	544	312	332
SFT 100	1180	788	204	388
SFT 200	628	972	280	412
SFT 400	432	612	268	304
SFT 100 + SPM 50	1128	388	180	312
SFT 200 + SPM 100	820	408	237	364
SFT 400 + SPM 200	392	332	272	356
SFT 200	628	972	280	412
SFT 200 + cal	668	532	228	296
SFT 200 + SPM 100	820	408	237	364
SFT 200 + SPM 100 + cal	552	252	240	280

#### 1.4. Valores foliares promedios de nutrientes en frejol.

En la Tabla 88 se concentran los contenidos foliares prome-

dios de todos los nutrientes, calculados por suelo, a partir de los 9 tratamientos de fertilización o encalado incluidos en los ensayos. Cuando estos valores se comparan con los dados por Rosolem (14) (ver Tabla 57, Discusión) se advierte que al frejol le afectaron diversos problemas nutricionales:

- a) Deficiencia de K en todos los suelos, especialmente en los suelos de los ensayos El Olivar y Los Lirios.
- b) Concentraciones excesivas de Mn, especialmente en los suelos FACAVYF, Los Lirios y El Olivar, que deben considerarse tóxicas para el frejol, de acuerdo a experiencias que se están desarrollando en forma paralela.
- c) La situación del suelo Los Lirios se agrava notoriamente porque a la deficiencia de K y a la toxicidad de Mn se suma la toxicidad de Al. Este efecto combinado fue, con toda probabilidad, el causante de la ausencia de nodulación del frejol que creció en este suelo.
- d) La situación nutritiva del frejol en el suelo Los Lirios es distinta a la observada en el suelo FACAVYF o El Olivar, donde el daño causado al frejol por toxicidad de Mn también existe, pero tiene menor relevancia la toxicidad de Al.
- e) Las concentraciones de N foliar, en estos ensayos, que no fueron fertilizados con nitrógeno, son adecuada a muy altas y en ningún caso deficitarias. Estas elevadas concentraciones de N foliar en el ensayo Los Lirios obedece a la acumulación de N en la planta como consecuencia de las toxicidades de Al y Mn que afectaron el crecimiento. El ligero enriquecimiento en el ensayo Sta. Clara debe asociarse también al elevado contenido de Al foliar y no a una toxicidad de Mn.
- f) Todos los niveles de P foliar deben considerarse medios, aún en el suelo Los Lirios.
- g) Un aspecto que merece atención es la posible deficiencia de Ca. Al observar los valores promedios foliares de este elemento (Tablas 49, Discusión y 88) se ve que no hay ningún valor bajo 1,5 %, considerado por Rosolem como el límite crítico de la categoría pobre en calcio. Por el contrario, el frejol proveniente de los suelos FACAVYF y, sobre todo Los Lirios, tiene un contenido adecuado de Ca. Ahora bien, como en el suelo FACAVYF al frejol le afecta una grave toxicidad de Mn mientras en el suelo Los Lirios actúan las de Mn y Al, significa que los contenidos de Ca foliar deben considerarse en el contexto del ambiente adverso en el cual creció la

planta. Al producirse una detención del crecimiento, por toxicidad, hubo una acumulación de Ca en el tejido, por lo que no es apropiado usar el criterio de su concentración como un índice de deficiencia o suficiencia sin tomar en cuenta las concentraciones foliares de Mn y Al.

- h) Otro elemento que se encuentra en concentraciones foliares altas es el Fe, especialmente donde también son altas las concentraciones de Mn foliar.
- i) Únicamente en el ensayo FACAVYF pareciera haber deficiencia de Mg, ubicándose con su valor 0,29 % justo en el límite.
- j) Los contenidos foliares de Cu y Zn se encuentran en concentraciones normales.

TABLA 88. CONTENIDOS FOLIARES PROMEDIOS DE LOS DISTINTOS NUTRIENTES EN FREJOL, EN LOS CUATRO LUGARES DE ENSAYO.

ELEMENTO	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	Al
FACAVYF	2,80	0,15	1,02	2,48	0,29	640	180	21,6	18,5	336
LOS LIRIOS	5,10	0,36	0,82	3,37	0,54	536	157	26,5	10,4	1024
EL OLIVAR	3,55	0,17	0,81	1,54	0,41	247	98	17,2	12,6	281
STA. CLARA	3,84	0,26	1,00	1,61	0,45	338	86	18,2	11,2	438
TODOS	3,82	0,23	0,91	2,25	0,42	440	131	20,9	13,2	520

Nota : el frejol no noduló en el suelo Los Lirios.

## 2. Nodulación y peso de la parte aérea, a la floración, y rendimiento en grano.

En esta discusión se hará referencia a otras propiedades de las plantas de frejol evaluadas durante el ensayo, tales como el estado de la simbiosis rizobio-planta, medido a través del número

y peso nodular al momento de inicio de la floración, del peso aéreo alcanzado a la floración y el rendimiento final en grano (Tabla 89).

### 2.1. Análisis considerando valores promedios por suelo.

En el suelo Los Lirios no noduló el frejol, a pesar de haber sido inoculada la semilla. Este suelo se había caracterizado anteriormente por causar toxicidad de Al y Mn. Además, hay que recordar que suelos con textura fina se asocian a mala nodulación (ver Discusión Etapa I).

TABLA 89. VALORES PROMEDIOS DE NODULACION Y PESO AEREO A LA FLORACION Y RENDIMIENTO FINAL DE GRANO DEL FREJOL EN CUATRO ENSAYOS.

SUELOS	Nodulación		Peso aéreo	Rendimiento qq/ha	Cont. arcilla %
	Número	Peso			
FACAVYF	142	238	45,9	29,1	32,6
LOS LIRIOS	0	0	22,5	----*	40,5
EL OLIVAR	63	51	24,0	12,7	27,9
STA. CLARA	324	585	35,2	----*	23,9

\* en estos ensayos se perdió la cosecha.

El suelo los Lirios es el más rico en arcilla, mientras que la nodulación más abundante se presentó en el frejol del suelo de textura más gruesa (ensayo Sta. Clara).

También el mayor peso de nódulos se determina en plantas del suelo Sta. Clara, alcanzando a 585 mg por muestra (6 plantas),

disminuye a 238 en el suelo FACAVYF y llega a tan solo 51 en el suelo El Olivar. El mayor peso que alcanza en plantas del suelo Sta. Clara se explica por su textura gruesa, su mejor nutrición potásica y, sobre todo, por la ausencia de toxicidades de Mn y Al. Del mismo modo, lo menor masa nodular medida en el ensayo El Olivar se atribuye a una deficiencia de K y a una toxicidad de Mn, pues no habría limitantes por textura ni por toxicidad de Al. Sin embargo, este argumento no es válido cuando se analiza la situación del frejol en el suelo FACAVYFR, por que aquí las plantas cuadruplican el peso nodular del OLIVAR, a pesar que tienen un mayor contenido de Mn foliar y la textura del suelo FACAVYF es más fina que la del Olivar, condiciones que se estiman adversas para la nodulación. La única diferencia importante que beneficia al suelo FACAVYF está en la mayor riqueza en K y Ca foliar, pese a disminuye drásticamente el contenido de Mg.

Pese a que el frejol no noduló en el suelo Los Lirios, su peso aéreo, a la floración, alcanzó a 22,5 g/6 plantas. Tal hecho es atribuible al nitrógeno mineral del suelo y proporciona alguna medida de la capacidad de suministro de nitrógeno asimilable que éste tiene. Desde un punto de vista práctico tiene interés este resultado porque observadores poco prolijos podrían pensar que la producción aérea del frejol depende exclusivamente del nitrógeno proveniente de la simbiosis., Aquí se demuestra lo contrario, con el agravante que hay un agotamiento de las reservas de N del suelo. Dado que las plantas de frejol del suelo El Olivar tienen un peso aéreo casi igual a las del suelo Los Lirios, a pesar de estar noduladas y tener un contenido de N foliar alto, se puede sostener que factores ajenos a la nodulación y fijación de N

están limitando el desarrollo del frejol.

El mayor peso aéreo promedio se alcanzó en plantas del suelo FACAVYF. Hay que hacer notar que la comparación de peso aéreo para plantas de los distintos ensayos se complica dado que en cada uno de ellos se sembró una variedad distinta de frejol.

La mayor producción de grano se obtuvo en el ensayo FACAVYF. Este resultado responde a lo esperado cuando se atiende a los pesos aéreos a la floración. A pesar de no contar con los datos de rendimiento en todos los ensayos, es válido sostener que estos debieran haber sido proporcionales a la masa aérea correspondiente alcanzada a la floración.

Plantas de frejol del suelo FACAVYF se caracterizan por su gran riqueza de Mn foliar lo cual podría llevar a deducir que debieran haber sido afectadas por toxicidad de Mn que conduciría a bajos rendimientos. Sin embargo se postula (12) que el exceso de Mn induce una deficiencia de Fe y que, por lo tanto, la toxicidad de Mn depende más de la relación Fe/Mn que de la concentración absoluta de Mn, relación que es una de las más altas en el ensayo FACAVYF.

## 2.2. Correlación entre contenidos foliares y parámetros de nodulación y peso aéreo a la floración y rendimiento final en grano.

La Tabla 90 muestra que en cada suelo y en el conjunto de suelos, el número de nódulos se asocia significativamente ( $p \leq 0,01$ ) con el peso de nódulos y también con el peso aéreo. De esta asociación se excluye al suelos Los Lirios, donde no hubo nodulación.

TABLA 90. MATRIZ DE CORRELACION ENTRE PARAMETROS DE NODULACION, PESO AEREO, COSECHA Y CONTENIDOS FOLIARES DE NUTRIENTES.

PARAMETRO	ENSAYO	Peso nod.	Peso aéreo	Rend. qq/ha	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	Al
NUMERO NODULOS	FACAVYP	***	***	***										
	EL OLIVAR	***	***		-**							-***	-*	
	STA. CLARA	***	***	ND		**						-*		-*
	TODOS	***	**		**	***			**					
PESO NODULOS	FACAVYP	---	***	***										
	EL OLIVAR	---	**		-**							-***		
	STA. CLARA	---	***	ND		*						-**		-*
	TODOS	---	**		*	***			*					
PESO AEREO	FACAVYP	---	---	***			-*			-*			**	
	LOS LIRIOS	---	---	ND		*	***	-**	-***	-***				-**
	EL OLIVAR	---	---	*	-**							-**	-**	
	STA. CLARA	---	---	ND		**						-**		
	TODOS	---	---		-***	-**	**		-***				***	***
GRANO	FACAVYP	---	---	---									**	
	EL OLIVAR	---	---	---	-**									
	TODOS	---	---	---	-***	-**		***	-***		***		***	

ND: no disponible por pérdida de cosecha.

\*, \*\*, \*\*\* = significativo al nivel del 10%, 5% y 1%.

Cuando se averigua la asociación que existe entre el número de nódulos y el contenido de nutrientes foliares, no hay una relación general válida para todos los suelos. En el suelo EL Olivar hay correlaciones negativas entre número de nódulos y Zn ( $p \leq 0,01$ ), N ( $p \leq 0,05$ ) y Cu ( $p \leq 0,1$ ) foliares. En el suelo Sta. Clara este parámetro se asocia positivamente con el P ( $p \leq 0,05$ ) y negativamente con Zn y Al ( $p \leq 0,1$ ). En el suelo FACAVYP no se determinan correlaciones significativas. Al analizar en conjunto los datos de los tres ensayos nodulados, aparecen correlaciones positivas entre número de nódulos y los contenidos

foliares de P ( $p \leq 0,01$ ) y N y Mg ( $p \leq 0,05$ ). El peso nodular se asocia de un modo semejante al número de nódulos con los contenidos foliares de nutrientes. Así, los nutrientes N, P y Mg son los más influyentes en la magnitud de la nodulación del frejol.

Si se analizan las correlaciones existentes entre el peso aéreo del frejol alcanzado a la floración, en cada tratamiento y en cada lugar de ensayo, tampoco hay una tendencia común válida para todos los suelos. Sin embargo llama la atención la gran cantidad de asociaciones negativas entre este parámetro y las concentración foliares de nutrientes esenciales. Para entender estos resultados es conveniente referirse a lo que ocurre con las correlaciones calculadas para el conjunto de suelos, donde vuelven a aparecer asociaciones negativas con el N y Mg ( $p \leq 0,01$ ) y P ( $p \leq 0,05$ ) y sólo dos positivas con el K ( $p \leq 0,05$ ) y Cu ( $p \leq 0,01$ ). Esto se explica por un efecto de acumulación en el tejido foliar causado por toxicidad de aluminio, dado que el desarrollo vegetativo fué inversamente proporcional a la acumulación de Al ( $p \leq 0,01$ ). Esta situación también se expresa, en líneas generales, en las correlaciones entre rendimientos y contenidos foliares a la floración.

### 2.3. Efecto de los tratamientos de fertilización sobre los parámetros de nodulación y peso aéreo a la floración y rendimiento en grano.

Para comprender mejor la importancia que tienen algunos tratamientos de fertilización y encalado sobre el frejol se efectuó análisis de varianza separadamente al número de nódulos, peso de nódulos, peso aéreo y rendimientos (Tablas 91 a 94).

Invariablemente se encuentra, para cualquier parámetro

TABLA 91 DIFERENCIAS ESTADISTICAS ENTRE VALORES PROMEDIOS DE NUMERO DE NODULOS DE PLANTAS DE FREJOL A LA FLORACION.

TRATAMIENTOS	ENSAYO		
	FACAVYF	EL OLIVAR	STA.CLARA
1. Testigo	f	e	f
2. SFT 100	cde	d	de
3. " 200	def	c	ef
4. " 400	a	a	ab
5. " 200 + Cal	bcde	b	bcd
6. SFT 100 + SPM 50	ef	d	cde
7. " 200 + " 100	abcd	bc	bcd
8. " 400 + " 200	abc	b	a
9. " 200 + " 100 + Cal	ab	b	ab

Prueba de Duncan,  $p \leq 0,05$ .

TABLA 92 DIFERENCIAS ESTADISTICAS ENTRE VALORES PROMEDIOS DE PESO DE NODULOS DE PLANTAS DE FREJOL A LA FLORACION.

TRATAMIENTOS	ENSAYO		
	FACAVYF	EL OLIVAR	STA.CLARA
1. Testigo	e	e	d
2. SFT 100	bcd	de	bc
3. " 200	cde	bcd	c
4. " 400	a	a	a
5. " 200 + Cal	bcd	bc	b
6. SFT 100 + SPM 50	de	bcd	b
7. " 200 + " 100	abc	bc	b
8. " 400 + " 200	a	a	a
9. " 200 + " 100 + Cal	ab	b	a

TABLA 93 DIFERENCIAS ESTADISTICAS ENTRE VALORES PROMEDIOS DE PESO AEREO DE PLANTAS DE FREJOL A LA FLORACION.

TRATAMIENTOS	ENSAYO			
	FACAVYF	EL OLIVAR	STA.CLARA	LOS LIRIOS
1. Testigo	d	d	d	e
2. SPT 100	cd	c	cd	e
3. " 200	c	abc	bcd	de
4. " 400	ab	ab	abc	bcd
5. " 200 + Cal	bc	ab	abcd	cde
6. SPT 100 + SPM 50	bc	bc	d	bc
7. " 200 + " 100	bc	ab	abcd	ab
8. " 400 + " 200	a	a	a	a
9. " 200 + " 100 + Cal	bc	ab	ab	a

TABLA 94 DIFERENCIAS ESTADISTICAS ENTRE VALORES PROMEDIOS DE RENDIMIENTO EN GRANO DE PLANTAS DE FREJOL, EN LOS ENSAYOS FACAVYF Y EL OLIVAR.

TRATAMIENTOS	ENSAYO	
	FACAVYF	EL OLIVAR
1. Testigo	d	c
2. SFT 100	cd	c
3. " 200	bcd	c
4. " 400	abcd	c
5. " 200 + Cal	bcd	bc
6. SFT 100 + SPM 50	d	ab
7. " 200 + " 100	bcd	a
8. " 400 + " 200	a	a
9. " 200 + " 100 + Cal	abc	a

evaluado, que el peor tratamiento corresponde al testigo. Este resultado indica que las fertilizaciones incluídas en los ensayos benefician a la nodulación, al crecimiento y al rendimiento del frejol, aunque no todos los tratamientos de fertilización o encalado originan los mismos efectos.

Es así como los tratamientos que llevan la menor dosis de  $P_2O_5$  (100 kg/ha), ya sea como SFT solo o acompañado con SPM, tienen menos efecto sobre la nodulación en el suelo Sta. Clara que en los suelos FACAVYF y El Olivar.

El peso aéreo de frejol en el suelo Sta. Clara y los rendimientos en el suelo FACAVYF son muy superiores en el tratamiento con 400 kg de  $P_2O_5$ /ha como SFT que con dosis menores, lo cual no ocurre con el rendimiento en el suelo El Olivar ni con el peso aéreo en Los Lirios. De este modo las elevadas dosis de fertilizantes fosfatados no tienen un único patrón de comportamiento, pudiendo existir suelos en los cuales tienen un efecto mayor sobre la nodulación que sobre el desarrollo vegetativo. Una situación similar fue observada por Loneragan y Dowling (8) al estudiar el efecto del calcio sobre el trébol subterráneo. Hay entonces una necesidad de analizar cómo actúan los tratamientos de fertilización o encalado separadamente sobre cada uno de estos parámetros.

El efecto de la dosis de fertilización fosfatada como superfosfato triple y de la aplicación complementaria de sulpomag se visualiza en la Tabla 95, y el efecto del encalado en la Tabla 96.

En general se observa una estimulación de la nodulación, tanto en número como en peso, causada por la dosis de fósforo. La

TABLA 95 DIFERENCIAS ESTADISTICAS ENTRE VALORES PROMEDIOS DE PESO DE NODULOS, NUMERO DE NODULOS Y PESO AEREO DE PLANTAS DE FREJOL A LA FLORACION, EN TRATAMIENTOS CON APLICACION DE SFT Y SFT + SPM.

TRATAMIENTOS	ENSAYO			
	PACAVYF	EL OLIVAR	STA.CLARA	LOS LIRIOS
<b>NUMERO DE NODULOS</b>				
2. SFT 100	b	d	c	
3. " 200	b	c	c	
4. " 400	a	a	a	
6. SFT 100 + SPM 50	b	d	bc	
7. " 200 + " 100	ab	bc	ab	
8. " 400 + " 200	ab	b	a	
<b>PESO DE NODULOS</b>				
2. SFT 100	ab	b	cd	
3. " 200	b	b	d	
4. " 400	a	a	a	
6. SFT 100 + SPM 50	b	b	bc	
7. " 200 + " 100	ab	b	b	
8. " 400 + " 200	a	a	a	
<b>PESO AEREO</b>				
2. SFT 100	c	c	b	e
3. " 200	c	b	b	de
4. " 400	ab	ab	a	cd
6. SFT 100 + SPMg 50	bc	bc	b	bc
7. " 200 + " 100	bc	ab	ab	ab
8. " 400 + " 200	a	a	a	a

TABLA 96 DIFERENCIAS ESTADISTICAS ENTRE VALORES PROMEDIOS DE PESO DE NODULOS, NUMERO DE NODULOS Y PESO AEREO DE PLANTAS DE FREJOL A LA FLORACION, EN TRATAMIENTOS CON Y SIN APLICACION DE CAL.

TRATAMIENTOS	ENSAYO				
	PACAVYP	EL OLIVAR	STA.CLARA	LOS LIRIOS	
<b>NUMERO DE NODULOS</b>					
3. SPT 200		b	b	b	
5. " 200 + Cal		ab	a	ab	
6. SPT 200 + SPM 50		ab	ab	ab	
7. " 200 + " 50 + Cal		a	ab	a	
<b>PESO DE NODULOS</b>					
3. SPT 200		b	b	c	
5. " 200 + Cal		ab	ab	bc	
6. SPT 200 + SPM 50		ab	b	b	
7. " 200 + " 50 + Cal		a	a	a	
<b>PESO AEREO</b>					
3. SPT 200		a	a	a	b
5. " 200 + Cal		a	a	a	b
6. SPT 200 + SPMg 50		a	a	a	a
7. " 200 + " 50 + Cal		a	a	a	a

diferencia significativa ( $p \leq 0,05$ ) observada para la dosis 400 kg  $P_2O_5$ /ha respecto a las dos dosis menores tiene repercusiones prácticas importantes, dado que indica que la fertilización fosfatada usada corrientemente por el agricultor, cercana a 100 kg  $P_2O_5$ , es insuficiente. La importancia del P en la nodulación del frejol y su deficiencia en suelos de la zona, ha sido destacada en el presente Informe.

Igual efecto se observa sobre el peso aéreo, pero habiendo una acción beneficiosa adicional cuando se agrrega SPM a la fertilización con SFT. El beneficio de la adición del SPM en el desarrollo vegetativo fué mayor en el suelo Los Lirios, caracterizado anteriormente por una fuerte toxicidad de aluminio y donde las plantas de frejol no nodularon. Hay que recordar que el SPM conduce a una marcada disminución del contenido de Al foliar (Fig 10, gráficos A y B).

El encalado tuvo un efecto beneficioso sobre la nodulación, (Tabla 96) especialmente en presencia de SPM, pero no modificó significativamente el peso aéreo.

### 3. Efecto de la inoculación de la semilla.

En la Tabla 97 se muestran los efectos de la inoculación de la semilla del frejol con cepas seleccionadas de Rhizobium leguminosaru biovar phaseoli, sobre la nodulación, expresados tanto como número o masa nodular, sobre el peso seco aéreo a la floración y sobre el rendimiento final de grano. Esta comparación del efecto de la inoculación de la semilla se hizo aplicando una fertilización común consistente en 200 kg  $P_2O_5$ , como SFT y 100 kg

TABLA 97 DIFERENCIAS ESTADISTICAS ENTRE VALORES PROMEDIOS DE PESO DE NODULOS, NUMERO DE NODULOS, PESO AEREO DE PLANTAS DE FREJOL A LA FLORACION Y RENDIMIENTO, EN TRATAMIENTOS SIN Y CON INOCULACION DE LA SEMILLA.

PARAMETRO TRATAMIENTOS	ENSAYO		
	FACAVYF	EL OLIVAR	STA. CLARA
<b>NUMERO DE NODULOS</b>			
10. No inoculado	100,3	17,0	381,7
11. Inoculado	147,7 **	68,3 **	407,7 NS
<b>PESO DE NODULOS</b>			
10. No inoculado	197,7	4,3	752,0
11. Inoculado	269,0 *	56,7 ***	849,0 NS
<b>PESO AEREO</b>			
10. No inoculado	47,52	22,59	30,15
11. Inoculado	50,21 *	24,96 NS	37,62 *
<b>RENDIMIENTO</b>			
10. No inoculado	25,57	17,93	
11. Inoculado	28,97 NS	21,31 NS	

El tratamiento indicado es estadísticamente superior al nivel de 10% (\*), 5% (\*\*) o 1% (\*\*\*). NS significa una probabilidad mayor al 10%.

de sulpomag por hectárea, mas encalado.

Aunque la inoculación de la semilla tuvo un efecto positivo en todos los parámetros mencionados, no en todos los casos la diferencia alcanzó un nivel estadísticamente significativo. En los ensayos FACAVYF y El Olivar la inoculación incrementó tanto el número de nódulos ( $p \leq 0,05$  y  $p \leq 0,05$ ) como la masa nodular ( $p \leq 0,10$  y  $p \leq 0,01$ ), mientras que en el ensayo Sta. Clara la diferencia no fué significativa, lo que indica que en este último suelo la población nativa de rizobios del frejol era adecuada.

El incremento del peso seco aéreo, medido a la floración, sólo alcanzó un nivel de significancia del 10 % en los ensayos FACAVYF y Sta. Clara, mientras que los aumentos en rendimiento de grano no fueron significativos al análisis estadístico.

Estos resultados concuerdan con lo ya señalado en este Informe, en el sentido que, en la VIII Región, la nodulación en las siembras comerciales es pobre, que la efectividad de las cepas es muy variable, y que la inoculación de la semilla, en pruebas con suelo en macetas, mejora el comportamiento simbiótico del frejol en un 30 a 46 % de los casos. Por lo tanto, además de una fertilización adecuada, la inoculación de la semilla del frejol debiera ser una práctica rutinaria en las siembras de frejol si se desea hacer el mejor uso del nitrógeno molecular en la nutrición de esta planta mediante el proceso simbiótico rizo-bio-leguminosa.

## CONCLUSIONES

### ETAPA I. PROSPECCION DE SIEMBRAS COMERCIALES.

1. Las siembras de frejol de la VIII Región ocupan, preferentemente, suelos de texturas finas; un 74 % de los 148 sitios visitados en la temporada 1986/1987 corresponden a las clases texturales (sistema internacional) arcilla densa, arcilla poco densa y franco arcillosa.
2. El examen del sistema radicular de las plantas de frejol, efectuado durante el período de floración, indica que la nodulación es generalmente deficiente.

La frecuencia de muestras no noduladas alcanza a un 15,5%. La ausencia de nodulación está relacionada con la textura, pues compromete a un mayor porcentaje (19,8 %) de siembras en suelos de texturas pesadas frente a tan sólo un 2,7 % en suelos de texturas livianas.

En las siembras de frejol noduladas, la deficiente nodulación se manifiesta, además, en los valores promedios de número (12,1) y masa nodular (17,05 mg peso seco) por planta, cifras que son muy inferiores a las determinadas (58,33 y 121,66, respectivamente) en ensayos experimentales de evaluación de la capacidad nodulante de 30 variedades de frejol efectuados en Chillán, en la misma temporada. El número y la masa nodular también fueron menores en suelos de texturas pesadas.

- 3.- El análisis químico de los suelos muestra que ellos son pobres en P-Olsen y tienen un bajo grado de saturación de cationes. Además, la relación de la actividad del potasio es baja para algunas texturas, especialmente arena. Los contenidos de N-nítrico son intermedios, al igual que los de potasio, calcio y magnesio de intercambio. El problema nutritivo con los cationes mencionados proviene de la existencia de una inadecuada relación entre ellos y no de sus contenidos absolutos.
- 4.- Mediante el análisis foliar se encuentra que las siembras de frejol son deficientes en fósforo, potasio y calcio y suficientes en nitrógeno, magnesio y los microelementos hierro, manganeso, zinc y cobre, resultados que, en líneas generales, concuerdan con los del análisis de suelo.
5. La deficiencia de calcio puede conducir a la sensibilidad diferencial de los cultivares de frejol a altos contenidos de aluminio y manganeso (toxicidades).

6. El alto contenido de nitrógeno foliar de las muestras de frejol se contrapone a la nodulación deficiente de las plantas, pero la mala nodulación puede originarse por el conocido efecto inhibitorio que el nitrógeno tiene sobre la nodulación. Este alto contenido de nitrógeno puede atribuirse a prácticas de fertilización nitrogenada empleadas por los agricultores, o bien a su acumulación en el tejido por el menor crecimiento de las plantas resultante de carencias nutricionales.
7. Por medio de análisis estadísticos se determina que la nodulación es beneficiada en su número y/o peso con el aumento de pH y el enriquecimiento de la proporción arena en el suelo. Por el contrario, estas características de la nodulación son menores en suelos más ricos en limo, arcilla, materia orgánica o calcio.

## ETATA II. PRUEBA DE EFECTIVIDAD Y SELECCION DE CEPAS DE RIZOBIOS.

8. La población nativa de Rhizobium leguminosarum biovar phaseoli que nodula a siembras de frejol de la VIII Región presenta una amplia variabilidad en su capacidad de fijar nitrógeno, desde cepas inefectivas a cepas altamente efectivas.
9. La variación amplia y gradual de la capacidad de fijación de nitrógeno de las cepas nativas, con un rango de 5 a 6 veces en el contenido de nitrógeno total de las plantas inoculadas, puede ser un factor que esté afectando los rendimientos de las siembras de frejol y justifique la recomendación de la práctica de inoculación de la semilla a la siembra.
10. Las cinco mejores cepas seleccionadas sobrepasaron a cepas controles de conocida eficiencia, por lo que es aconsejable y conveniente realizar trabajos de selección de cepas nativas, seguramente mejor adaptadas a nuestros suelos, con el fin de usarlas como inoculantes.
11. El grado de eficiencia de las cepas parece no estar relacionado a las características de los suelos de las siembras de frejol. Es así como la proporción de cepas eficientes del total de cepas provenientes de suelos de diferentes clases texturales es bastante similar.
12. Dada la susceptibilidad del frejol a toxicidad de Mn y Fe, en las pruebas de selección en frascos Leonard debe tenerse especial cuidado en los contenidos de estos elementos en el sustrato arenoso y en la solución nutritiva empleados. Es aconsejable que la solución nutritiva no contenga a estos elementos, en especial al Fe en forma quelada.

### ETAPA III. DETECCION DE FACTORES DE SUELO LIMITANTES.

Los ensayos en maceta muestran que:

13. La deficiencia de fósforo es generalizada en suelos de la VIII Región. Un nivel adecuado de P en los suelos es indispensable para obtener una buena nodulación, fijación de nitrógeno y crecimiento en plantas de frejol. Todos estos parámetros fueron fuertemente afectados cuando los suelos se fertilizaron con macro y micronutrientes con exclusión del P.
14. Otras deficiencias que se presentan en los suelos, aunque no en todos ellos, y que comprometen el comportamiento simbiótico del frejol son, en orden de importancia Ca, S, micronutrientes, K y Mg. Ninguna de estas deficiencias, en forma individual, compromete a más del 50 % de los suelos analizados.
15. Considerando solamente el crecimiento de la parte aérea del frejol, independientemente de la fijación de nitrógeno, las deficiencias nutricionales que acompañan a la del P se presentan con menor frecuencia y alteran su orden de importancia : micronutrientes, S, Ca, K y Mg. Ningún nutriente, en forma individual, afecta a más del 38 % de los suelos.
16. Estos resultados concuerdan con las deficiencias nutricionales detectadas en suelos y en hojas de 148 siembras de frejol de la VIII Región, durante la prospección realizada en la primera etapa de este Proyecto. También, explican, principalmente a través de la deficiencia de P, la pobre nodulación del frejol encontrada en dicha prospección.
17. Los ensayos en macetas muestran, en algunos suelos, efectos perjudiciales de la adición de algunos nutrientes en la fórmula fertilizante (K, Ca, Mg, S, micronutrientes). Esta situación puede reflejar un desbalance nutricional causado por las dosis, más altas que las comunmente usadas en los ensayos tipo Chaminade, por lo que no es apropiado extrapolar estos resultados a condiciones de campo.
18. La inoculación, de la semilla, en ausencia de restricciones nutricionales, mejora el comportamiento simbiótico del frejol entre un 30 % y un 46 %, según sea el parámetro evaluado: número de nódulos, peso de noódulos, peso o nitrógeno total de la parte aérea. Estos resultados son, también, concordantes con la amplia variabilidad de la capacidad de fijar nitrógeno, desde inefectiva a altamente efectiva, de las cepas de rizobios aisladas de siembras de frejol durante la prospección mencionada.

19. Para asegurar un adecuado crecimiento del frejol y aprovechar al máximo el potencial de la fijación simbiótica del nitrógeno, es, por lo tanto, necesario que el agricultor (a) inocule la semilla y (b) suministre una buena fertilización fosfatada, conjuntamente con la de otros elementos químicos deficitarios, esencialmente Ca y S y, con menos prioridad, K y Mg.
20. Hay que llamar la atención sobre la ocurrencia, en los suelos de la VIII Región, de niveles de aluminio tóxicos para el frejol. En dos de las 15 muestras de suelo (13 %), correspondientes a la serie Mañil (Andepts), las plantas de frejol fueron fuertemente afectadas por exeso de este elemento. Toxicidad de aluminio también se detectó en siembras comerciales de la provincia de Ñuble durante la temporada 1989-1990.

#### **ETAPA IV. ENSAYOS DE TERRENO.**

21. En este trabajo se determina que al frejol, sembrado en suelos de la VIII Región, lo afectan los siguientes problemas:
  - toxicidad de aluminio.
  - toxicidad de manganeso
  - inadecuada relación Fe/Mn cuando se está en presencia de contenidos elevados de Mn.
  - deficiencia de fósforo
  - deficiencia de potasio
  - elección de suelos de textura inadecuada por ser demasiado arcillosa.
22. Las dosis de fertilización fosfatada empleadas comunmente por los agricultores en las siembras de frejol son muy inferiores a la dosis de máxima respuesta observada en los ensayos. La mejor respuesta se obtuvo con una dosis de 400 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha, de entre las tres utilizadas (100, 200 y 400).
23. La fertilización fosfatada con superfosfato triple tiene incidencia en la concentración de aluminio foliar. La máxima concentración de aluminio se determinó en la fertilización con una dosis equivalente a 200 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha, para decrecer con una dosis mayor. Este efecto pone en duda la conveniencia de emplear este fertilizante fosfatado en la fertilización del frejol y aconseja una mayor experimentación en el futuro.
24. La adición de sulpomag al superfosfato triple tiene una acción correctora sobre la toxicidad de aluminio, al disminuir su concentración foliar, efecto que es mayor en suelos más ricos en Al. Este efecto corrector se atribuye a una disminución de las concentraciones de las especies iónicas del Al del suelo más fitotóxicas.

25. El encalado, adicionado a la fertilización con superfosfato triple o superfosfato triple + sulpomag, no modifica sustancialmente la concentración de fósforo foliar, pero tiene un efecto reductor de la concentración de Al foliar, lo que hace recomendable esta práctica en el cultivo del frejol.
26. La concentración foliar de Mn en el frejol no parece ser un parámetro adecuado para medir, por sí mismo, su efecto sobre el crecimiento y nodulación de la planta, porque no puede marginarse su contenido foliar de la disponibilidad de macronutrientes, de la presencia o ausencia de toxicidad de aluminio y de la concentración foliar de Fe.
27. La evaluación de las concentraciones foliares de macronutrientes en el frejol como un criterio de suficiencia o deficiencia demuestra ser inadecuada para el caso de suelos de la VIII Región con toxicidad de aluminio. Los resultados de este trabajo señalan que la toxicidad de aluminio genera una acumulación de nitrógeno, fósforo y magnesio en la planta por un efecto derivado del menor crecimiento vegetativo. La generalización de este fenómeno a otros cultivos crea grandes complicaciones para la interpretación de los análisis foliares.
28. Por la misma razón, no se pudo corroborar la existencia de una deficiencia de calcio, porque aunque sus niveles foliares son medios bajo una condición limitante del crecimiento vegetativo (toxicidad de aluminio), ellos podrían pasar a deficientes cuando no exista tal restricción.
29. Se postula que los bajos niveles de potasio foliar pueden deberse a dos causas independientes:
  - pobreza en K de intercambio de los suelos.
  - impedimento en la absorción del K debido al daño radicular causado por toxicidad de Al.
30. La ausencia de nodulación en el frejol en un ensayo se atribuye a una fuerte toxicidad de aluminio.
31. La mejor nodulación se presentó en el suelo de textura más gruesa, lo que ratifica la influencia de la textura sobre la nodulación, expresada en Informes anteriores.
32. El número de nódulos se asocia ( $p \leq 0,05$ ) con el peso nodular y también con el peso aéreo, y también hay una relación directa entre peso aéreo alcanzado a la floración y el rendimiento en grano.
33. Las dosis de fertilización fosfatada pueden tener distinto patrón de comportamiento, dependiendo del suelo, pero tienen un efecto mayor sobre la nodulación que sobre el desarrollo vegetativo del frejol.
34. La fertilización del frejol que permite mejorar su nodulación y rendimiento, pero trabajos futuros deberán definir

los mejores tipos de fertilizantes, especialmente fosfatos, y fórmulas de fertilización y encalado y dosis, necesarios para resolver los problemas nutricionales detectados. En este sentido, parece ser que el superfosfato triple no es la fuente más adecuada de fósforo, por su efecto agravante sobre la toxicidad de aluminio, presente en muchos suelos de la Región.

35. Nuevos estudios deben prestar especial atención en la detección de la gravedad y frecuencia de las toxicidades de aluminio y manganeso.
36. La inoculación de la semilla tuvo un efecto positivo sobre la nodulación, desarrollo vegetativo y rendimiento de grano, alcanzando especialmente en el caso de la nodulación y desarrollo vegetativo, en algunos lugares de ensayo, diferencias significativas al análisis estadístico. Por lo tanto, la inoculación de la semilla debe constituir una práctica rutinaria en las siembras de frejol de la VIII Región.

## CONCLUSIONES GENERALES

1. Las siembras comerciales de frejol en la VIII Región presentan, en general, una nodulación deficiente, caracterizada por la ausencia de nódulos (en un 19,8% de los casos) o por escasos número de nódulos y masa nodular por planta, asociada preferentemente con suelos de texturas pesadas. La mejor nodulación se asoció siempre a suelos de texturas livianas y/o con mayor pH.
2. Los suelos dedicados al cultivos del frejol son corruientemente pobres en P-Olsen y tienen, a menudo, un bajo porcentaje de saturación de cationes. Los análisis foliares y los ensayos en maceta y campo comprueban que son frecuentemente pobres en fósforo, potasio y calcio y disponen de suficiente nitrógeno, magnesio y micronutrientes Fe, Mn, Zn y Cu.
3. A la deficiencia de calcio se le asigna importancia porque puede conducir al desarrollo de toxicidades en suelos con alto contenido de manganeso y aluminio.
4. La población nativa de Rhizobium leguminosarum biovar phaseoli que nodula las siembras de frejol de la Región presenta una amplia variabilidad en su capacidad de fijar nitrógeno, desde cepas inefectivas hasta cepas altamente efectivas, llegando algunas de estas últimas a sobrepasar a cepas controles de reconocida eficacia. Esta variabilidad puede ser un factor que está afectando los rendimientos y justifique la práctica de inoculación de la semilla.
5. El grado de eficiencia de las cepas nativas parece no estar relacionada con las características de los suelos.
6. Los ensayos con soluciones nutritivas (frascos Leonard) y en macetas demuestran que el frejol tiene gran sensibilidad a las toxicidades de manganeso y aluminio; ambas toxicidades ocurren en siembras de frejol en suelos de la VIII Región.
7. Los ensayos de terreno permiten identificar los siguientes problemas que pueden afectar las siembras comerciales de frejol:
  - Deficiencia de fósforo y potasio.
  - Empleo por los agricultores de dosis bajas de fertilización fosfatada.
  - Toxicidades de aluminio y manganeso.
  - Inadecuada relación Fe/Mn cuando se está en presencia de elevados contenidos de manganeso.
  - Elección de suelos de textura demasiado arcillosa.
8. En frejol afectado por toxicidad de aluminio no hay una adecuada evaluación de su estado nutricional cuando se atiende a sus concentraciones foliares de macronutrientes, dado que la toxicidad genera acumulación de ellos a causa

del menor crecimiento vegetativo.

9. La fertilización con superfosfato triple tiene incidencia en la concentración de aluminio foliar. La máxima concentración de aluminio se determinó con una dosis equivalente a 200 kg  $P_2O_5$ /ha. Este efecto pone en duda la conveniencia de emplear este fertilizante fosfatado en el cultivo del frejol.
10. La adición de sulpomag al superfosfato triple tiene una acción correctora sobre la toxicidad de aluminio, al disminuir su concentración foliar, que se traduce en un mejoramiento de la nodulación, del crecimiento y del rendimiento del frejol.
11. El encalado también tiene un efecto reductor en la absorción de aluminio por la planta, lo que hace recomendable esta práctica en el cultivo del frejol.
12. Las prácticas de fertilización de este cultivo deben orientarse hacia tres aspectos:
  - Suministrar suficiente fósforo, potasio y calcio para los requerimientos de la planta.
  - Corregir el pH.
  - Subsananar o disminuir las toxicidades de aluminio y/o manganeso.
13. La inoculación de la semilla debería constituir una práctica rutinaria en las siembras de frejol en la VIII Región, debido a su efecto positivo sobre la nodulación, desarrollo vegetativo y rendimiento de grano.
14. Al cultivo del frejol debieran destinarse preferentemente suelos de texturas livianas.

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- ALLEN, O.N. 1957. Experiments in soil bacteriology, 3rd ed. Burgess Publishing Co., Minneapolis, USA 117 pp.
- 2.- ANONIMO. 1983. Iluminación artificial en la horticultura. Revista Internacional de Luminotecnia, Eindhoven, Holanda 34:91-103.
- 3.- ARAOS, J. 1967. Estudio de deficiencias nutritivas en muestras superficiales de suelos de Ñuble. Agr. Técnica (Chile) 27:15-20.
- 4.- DUNCAN, D.B. 1955. Multiple range and multiple F tests. Biometrics 11:1-42.
- 5.- FRANCE, A. y TAY, J. 1986. Problema nutricional en lenteja (Lens culinaris) asociado a altos contenidos de manganeso y hierro. Agr. Técnica (Chile) 46:379-383.
- 6.- GERALDSON, C.M., KLACAN, G.R. y LORENZ, O.A. 1973. In Soil testing and plant analysis. L.M. Walsh and J.D. Beaton ed. Soil Sci. Soc Am. Inc., Madison, Wisconsin, USA. p. 365-379.
- 7.- I.N.I.A. Investigación Agropecuaria. Resumen de las actividades entre los años 1964 y 1970. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Santiago, Chile. Sin fecha de publicación.
- 8.- LONERAGAN, J.F. y DOWLING, E.J. 1958. The interaction of calcium and hydrogen ions in the nodulation of subterranean clover. Aust. J. Agr. Res. 9:464-472.
- 9.- LONGERI, L. 1966. Effects of calcium and magnesium on symbiotic nitrogen fixation by red clover (Trifolium pratense L.). M. Sc. Thesis, University of Wisconsin, Madison, USA. 114 pp.
- 10.- LONGERI, L., ETCHEVERS, J. y VENEGAS, J. 1979. Metodología de perfusión para estudios de nitrificación en suelos. Ciencia Inv. Agr. (Chile) 6:295-299.
- 11.- MUCHOVEJ, R.M. et al. 1986. The effect of liming levels and Ca:Mg ratios on yield, nitrogen content and nodulation of soybean grown in acid Cerrado soil. J. Soil Sci. 37:235-240.
- 12.- MULDER, E.G. y GERRETSEN, F.C. 1952. Soil manganese in relation to plant growth. Advances in Agronomy 4:221-277.

- 13.- QUIROZ, E.G. 1980. Estudio de la flora nativa de Rhizobium phaseoli en porotos (Phaseolus vulgaris L.) en la Provincia de Ñuble. Chillán, Chile, Universidad de Concepción, Escuela de Agronomía (Tesis). 53 pp.
- 14.- ROSOLEM, C.A. 1987. Nutricao e adubacao do feijoeiro. Associacao Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. Boletim Técnico 8. 91 pp.
- 15.- SADZAWKA, R. 1987. Efecto del manganeso sobre el crecimiento y contenido de nutrientes en lenteja (Lens culinaris). Agr. Técnica (Chile) 47:350-354.
- 16.- SCHENKEL, G. y BAHERLE, P. 1971. Exploración de deficiencias nutritivas con suelos en macetas. II. Método usado. Agr. Técnica 31:9-24.
- 17.- SCHENKEL, G., BAHERLE, P. y GAJARDO, M. 1985. Exploración de deficiencias nutritivas con suelos en macetas. XXIV. Comportamiento del magnesio en una fórmula de fertilización NPKCaMgS. Agr. Técnica (Chile) 45:109-128.
- 18.- SCHENKEL, G., BAHERLE, P. y GAJARDO, M. 1985. Exploración de deficiencias nutritivas con suelos en macetas. XXVI. Comportamiento del magnesio en una fórmula de fertilización completa con 458 muestras de 399 suelos chilenos. Agr. Técnica (Chile) 45:27-46.
- 19.- SOMASEGARAN, P. y HOBEN, H.J. 1985. Methods in legume Rhizobium technology. NifTAL Project and MIRCEN. University of Hawaii, USA. 367 pp.
- 20.- TOSSO, J. 1985. Suelos volcánicos de Chile. J. Tosso ed. INIA, Ministerio de Agricultura (Chile). pp. 549-723.
- 21.- USLAR, R.W. 1972. Estudio de la efectividad de algunas cepas nativas de Rhizobium trifolii en simbiosis con Trifolium subterraneum L. Chillán, Chile, Universidad de Concepción, Facultad de Agronomía (Tesis). 81 pp.
- 22.- VIDAL, I., LONGERI, L. y HERRERA, A. 1988. Prospección y evaluación de la asociación Azolla-Anabaena en arrozales. Informe final, Proyecto FONDECYT 51/87. 46 pp.
- 23.- VIDOR, C. et al. 1983. Fixacao biológica do nitrogenio pela simbiose entre Rhizobium e leguminosas. Instituto de Pesquisas Agronómicas, Boetim Técnico No. 11. 51 pp.
- 24.- WHITTEN, M.G. y RITCHIE, G.S.P. 1991. Soil test for aluminum toxicity in the presence of organic matter: laboratory development and assessment. Comm. Soil Sci.

Plant Anal. 22:343-368.

- 25.- ZUNINO, H. et al. 1982. Bioquímica de suelos derivados de cenizas volcánicas. III. Síntesis microbiana de polímeros húmicos y su capacidad de adsorción de Zn(II) y Mg(II). Agr. Técnica (Chile) 42:287-292.

## GLOSARIO

- Absorción.** Entrada de iones (nutrientes) y agua en las raíces de las plantas.
- Arcilla.** La fracción del suelo que consiste en partículas de un tamaño menor a 0,002 mm (2  $\mu$ m)
- Arena.** Fracción del suelo compuesta por las partículas de mayor tamaño, que va de 0,05 a 2,0 mm (Sistema USDA) o de 0,02 a 2,00 mm (Sistema Internacional).
- Bronceado.** Desorden nutricional que ocurre en frejol como consecuencia de toxicidad causada por exeso de manganeso. Se caracteriza por la aparición de una coloración dorada en las hojas, seguida de clorosis, necrosis y caída de ellas.
- Cepa (rizobio).** Cualquier aislamiento en cultivo puro de una bacteria perteneciente a una especie determinada. Es equivalente a "individuo o ejemplar" en las especies de plantas y animales.
- Clorosis.** Una condición de las plantas que se caracteriza por falta de clorofila, tomando las hojas una coloración desde verde claro a amarillo o blanco.
- Encalado.** Agregar al suelo un material que contiene carbonatos, óxidos y/o hidróxidos de calcio y/o magnesio con el fin de llevar el pH del suelo a un valor menos ácido.
- Frasco Leonard.** Conjunto diseñado para el cultivo de plantas en solución nutritiva. Está formado por una botella de vidrio, sin fondo, colocada en forma invertida sobre la abertura de un frasco inferior. La botella superior contiene un sustrato inerte, generalmente arena, donde crece la planta. El frasco inferior lleva la solución nutritiva. La solución nutritiva moja la arena mediante una mecha de sisal colocada en la arena y que se extiende hasta la solución nutritiva. Este conjunto puede ser esterilizado y permite trabajar en condiciones asépticas.
- Fertilidad (suelo).** Estado del suelo en relación a la cantidad y disponibilidad de los elementos nutricionales necesarios para el crecimiento de las plantas.
- Fertilizante.** Cualquier material inorgánico (mineral) o inorgánico, natural o sintético, que se agrega al suelo para suministrar cualquier nutriente esencial para el crecimiento de las plantas.
- Fijación biológica de nitrógeno.** Capacidad de algunos microorganismos o de algunas plantas en simbiosis con microorganismos (ej. leguminosas) de usar el nitrógeno elemental ( $N_2$ ) como fuente nutricional.

**Fotoperíodo.** Se refiere a la relación entre horas de luz y horas de oscuridad a que está sometida una planta en un período de 24 horas (día).

**Inoculación (semilla).** Tratamiento de las semillas de leguminosas con un cultivo de rizobios con el fin de promover la nodulación y fijación de nitrógeno.

**Limo.** Fracción del suelo compuesta por partículas con tamaño comprendido entre 0,05 y 0,002 mm (Sistema USDA) o entre 0,02 y 0,002 mm (Sistema Internacional).

**Macronutriente.** Un elemento químico necesario en grandes cantidades para el crecimiento de las plantas. Ejemplos son C, H, O, N, P, K, Ca, Mg y S.

**Marchitez fisiológica.** Momento en la curva de crecimiento de una planta en que se alcanza el máximo desarrollo vegetativo y empieza la senescencia.

**Mesh.** Medida que expresa el tamaño de las aperturas de una malla o tamiz. Indica el número de hilos por pulgada de la malla.

**Micronutriente.** Un elemento químico necesario en pequeñas cantidades para el crecimiento de las plantas. Ejemplos son B, Cl, Cu, Fe y Mn.

**Mineralización.** La conversión de un elemento de una forma orgánica a una forma inorgánica, como resultado de descomposición microbiana.

**Necrosis.** Muerte, asociada a cambios de color y deshidratación, de parte o del total de órganos de la planta.

**Nódulos (leguminosas).** Estructuras especializadas formadas en la raíces como consecuencia de la infección por rizobios y lugar donde ocurre la fijación de nitrógeno.

**Nutriente.** Cualquier elemento químico necesario para el crecimiento de las plantas.

**Nutriente asimilable (disponible).** Forma o fracción de cualquier nutriente en el suelo que puede ser rápidamente absorbida y asimilada por las plantas.

**Nutriente (elemento) esencial.** Todo elemento químico requerido para el crecimiento normal de las plantas.

**pH (reacción) del suelo.** Grado de acidez o alcalinidad del suelo. (pH = logaritmo negativo de la concentración molar de iones hidrógeno).

**Ppm (partes por millón).** Es una forma de medir la concentración de una sustancia. Ejemplo: las partes de A que se encuentran en un millón de partes de B.

**Productividad (suelo).** La capacidad de un suelo para producir, expresada en términos de producto cosechado, un cultivo en particular o una secuencia de cultivos bajo un sistema específico de manejo.

**Rizobio.** Bacteria capaz de vivir simbióticamente con leguminosas donde produce nódulos en las raíces y fija nitrógeno.

**Serie de suelo.** Una categoría en la clasificación de suelos que reúne a todos los suelos que son similares en sus principales características.

**Simbiosis.** Vida de dos organismos diferentes en íntima asociación con el fin de beneficiarse mutuamente.

**Solución nutritiva (plantas).** Solución acuosa que contiene todos los nutrientes necesarios para el desarrollo de las plantas.

**Textura (suelo).** La proporción relativa de las fracciones arcilla, limo y arena que contiene un suelo.

**Textura pesada (suelo pesado).** Un suelo con alto contenido de arcilla.

**Textura liviana (suelo liviano).** Un suelo con bajo contenido de arcilla y más alto contenido de limo y/o arena.