UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA

FACULTAD DE AGRONOMIA

LIMITANTES NUTRICIONALES PARA LA PRODUCCION DE PASTURAS MEJORADAS. EFECTO DE LA DOSIS, FUENTE DE FOSFORO Y ENCALADO, AL TERCER AÑO, EN SUELOS DE BASAMENTO CRISTALINO (UNIDADES: SIERRA DE POLANCO Y SAN GABRIEL-GUAYCURU).

por

Andrés MARTINEZ HAEDO HORDEÑANA
Hugo Daniel MASTROPIERRO FERRARI

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

MONTEVIDEO
URUGUAY
1993

Tesis aprobada por:

Director: _____
Nombre completo y firma

_____
Nombre completo y firma

_____
Nombre completo y firma

Fecha: _____

Autor: _____
Nombre completo y firma

_____
Nombre completo y firma

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Agrónomo Jorge Henández, por la dirección y permanente colaboración durante todas las etapas de realización de éste trabajo.

A Daniel Arana, Carlos Marchesi, Juan Elhordoy y al Ing. Agr. Carlos Collares, por su colaboración en el trabajo de campo y de laboratorio.

Al Sr. Francisco Mastropierro, por brindarnos estadía en su establecimiento durante la realización del trabajo de campo.

A los integrantes de la Cátedra de Fertilidad de suelos y fertilizantes y al personal del laboratorio de la misma, por sus aportes y buena disposición.

A nuestras familias por el constante apoyo y estímulo brindados.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PAGINA DE APROBACION	II
AGRADECIMIENTOS	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES	XI
I. INTRODUCCION.....	1
II. OBJETIVOS.....	2
III. REVISION BIBLIOGRAFICA.....	3
III.1. LIMITANTES DE MEJORAMIENTOS EN COBERTURA CON LEGUMINOSAS.....	3
III.1.1. ACIDEZ DEL SUELO.....	3
III.1.1.1. Introdución.....	3
III.1.1.2. Concepto de acidez	3
III.1.1.3. Acidez intercambiable y aluminio intercambiable	3
III.1.2. EFECTOS DE LA ACIDEZ	4
III.1.2.1.Efectos en el desarrollo de la planta	4
III.1.2.1.1. Crecimiento radicular.....	4
III.1.2.1.2. Relación rhizobium-leguminosa	5
III.1.2.2. Toxicidad del aluminio.	7
III.1.2.2.1. Introducción	7
III.1.2.2.2. Mecanismos de toxicidad	8
III.1.2.2.3. Formas tóxicas	8
III.1.2.2.4. Efecto en las raíces	9

III.1.2.2.5. Efecto en la relación rizobium-leguminosa..... 9

III.1.2.2.6. Efectos fisiológicos y bioquímicos..... 10

III.1.2.2.7. Efecto en la absorción y traslocación de fósforo..... 11

III.1.2.2.8. Tolerancia al aluminio..... 12

III.1.2.2.9. Interacción Al-Mn..... 13

III.1.2.3. Disponibilidad de nutrientes... 13

III.1.2.3.1. Generalidades..... 13

III.1.2.3.2. Magnesio..... 14

III.1.2.3.3. Potasio..... 14

III.1.2.3.4. Fósforo..... 15

III.1.3 DISPONIBILIDAD DE FOSFORO..... 16

III.2. RESPUESTA AL AGREGADO DE P EN COBERTURA. 16

III.2.1. EFECTO DE LA APLICACION DE P EN COBERTURA EN LAS DISTINTAS FRACCIONES DE P DEL SUELO..... 18

III.2.2. DISPONIBILIDAD INICIAL DE P PARA LA IMPLANTACION DE LEGUMINOSAS.... 19

III.2.3. RESPUESTA A LA REFERTILIZACION FOSFATADA..... 21

III.2.4. EVOLUCION DE LA DISPONIBILIDAD DE P EN EL TIEMPO..... 22

III.2.5. VARIACION EN LA DISPONIBILIDAD DE P SEGUN LA FUENTE..... 24

III.3. AGREGADO DE CAL EN COBERTURA..... 28

III.3.1. EFECTOS..... 28

III.3.1.1. Generalidades 28

III.3.1.2. Efectos en la relación rhizobium-leguminosa 29

III.3.1.3. Efectos en la disponibilidad de nutrientes..... 30

III.3.1.4. Reacción del material con el suelo..... 31

III.3.1.5. Efecto en el PH y evolución de la acidez..... 35

III.3.1.6. Efecto en las propiedades químicas..... 39

III.3.1.7. Otros efectos 40

III.3.2. RESPUESTA AL ENCALADO EN COBERTURA..... 40

III.3.2.1. Resultados 40

III.3.2.2. Duración de la respuesta 41

III.3.2.3. Estacionalidad de la respuesta. 42

III.4. LAS INTERACCIONES FOSFORO-CAL..... 43

III.4.1. INTRODUCCION..... 43

III.4.2. ENCALADO Y DISPONIBILIDAD DE P EN EL SUELO..... 45

III.5. ENCALADO Y LA PRODUCCION ANIMAL..... 48

IV. MATERIALES Y METODOS..... 50

IV.1. GENERALIDADES..... 50

IV.1.1. UBICACION DE LOS ENSAYOS..... 50

IV.1.2. TIPO DE SUELOS..... 50

IV.1.3. TRATAMIENTOS 53

IV.1.4. DISEÑO EXPERIMENTAL..... 56

IV.2. TRABAJO DE CAMPO..... 56

IV.2.1. INSTALACION DE LOS ENSAYOS..... 56

IV.2.2. COSECHA Y MUESTREO DE FORRAJE..... 56

IV.2.3. MUESTREO DE SUELOS..... 57

IV.3. ANALISIS DE LABORATORIO..... 57

IV.3.1. MUESTRAS DE SUELO..... 57

IV.3.2. ANALISIS DE LAS MUESTRAS DE PLANTAS..... 58

IV.4. ANALISIS ESTADISTICO..... 59

V.RESULTADOS Y DISCUSION..... 60

V.I. SITIO NUMERO UNO, MASTROPIERRO..... 60

V.I.1. RENDIMIENTO DE MATERIA SECA TOTAL DE LA PASTURA..... 60

V.I.1.1. Producción de M.S. anual y por corte..... 60

V.I.1.2. Respuesta al agregado de fósforo. 61

V.I.1.2.1. Residualidad del P agregado a la instalación de la pastura.... 65

V.I.1.2.2. Respuesta a la refertilización anual con P..... 67

V.I.1.2.3. Evaluación de fuentes de P..... 69

V.I.1.3. Residualidad del encalado en la instalación..... 72

V.I.1.4. Alternativas de mejoramiento del campo natural..... 73

V.I.2. RENDIMIENTO DE LEGUMINOSA..... 75

V.I.2.1. Efecto del % de leguminosa en el rendimiento total de materia seca.. 75

V.I.2.2. Efecto del agregado de P en el porcentaje de Lotus..... 82

V.I.3. CONTENIDO DE NUTRIENTES EN LA MATERIA SECA..... 83

V.I.3.1. Absorción de Fósforo..... 83

V.I.3.1.1. Absorción total y por corte.... 83

V.I.3.1.2. Porcentaje de P..... 88

V.I.3.1.3. Relaciones: P absorbido - producción de materia seca..... 91

V.I.3.1.4. Eficiencia del P absorbido.... 94

V.I.3.2. Absorción de Nitrógeno..... 96

V.I.3.3. Absorción de Potasio..... 99

V.I.3.4. Absorción de nutrientes por la pastura del campo natural..... 101

V.I.4. EVOLUCION DE PARAMETROS QUIMICOS EN EL SUELO..... 102

V.I.4.1. Fósforo asimilable..... 102

V.I.4.2. Parámetros de acidez..... 103

V.II. SITIO NUMERO DOS, S.U.L..... 104

V.II.1. RENDIMIENTO DE MATERIA SECA TOTAL. 104

V.II.1.1. Producción de materia seca anual y por corte..... 104

V.II.1.2.Respuesta al agregado de fósforo. 105

V.II.1.2.1. Residualidad del P agregado a la instalación de la pastura..... 108

V.II.1.2.2.Respuesta a la refertilización anual con P..... 110

V.II.1.2.3. Evaluación de fuentes..... 113

V.II.1.3. Residualidad del encalado en

la instalación..... 115

V.II.1.4. Alternativas de mejoramiento del campo natural..... 117

V.II.2. RENDIMIENTO DE LEGUMINOSA..... 119

V.II.2.1. Efecto del porcentaje de leguminosa en el rendimiento total de materia seca..... 119

V.II.2.2. Efecto del agregado de P en el porcentaje de Lotus..... 124

V.II.3. CONTENIDO DE NUTRIENTES EN LA MATERIA SECA..... 126

V.II.3.1. Absorción de Fósforo..... 126

V.II.3.1.1. Absorción total y por corte.. 126

V.II.3.1.2. Porcentaje de P en planta.... 130

V.II.3.1.3. Relaciones: P absorbido - producción de materia seca..... 132

V.II.3.1.4. Eficiencia del fósforo absorbido en producción de M.S. 134

V.II.3.2. Absorción de Nitrógeno. 135

V.II.3.3. Absorción de Potasio..... 138

V.II.4. EVOLUCION DE PARAMETROS QUIMICOS DEL SUELO..... 139

V.II.4.1. P ASIMILABLE..... 139

VI. CONCLUSIONES..... 141

VI.1. SITIO 1 - MASTROPIERRO..... 141

VI.1.1. Producción de materia seca..... 141

VI.1.2. Rendimiento de leguminosa..... 143

VI.1.3. Contenido de nutrientes en

la materia seca..... 143

VI.1.4. Análisis de suelos..... 144

VI.2. SITIO 2 - SUL..... 144

VI.2.1. Producción de materia seca..... 144

VI.2.2. Rendimiento de leguminosa..... 146

VI.2.3. Contenido de nutrientes en la materia seca..... 146

VI.2.4. Análisis de suelos..... 147

VII. RESUMEN 148

VIII. BIBLIOGRAFIA..... 150

IX. APENDICE..... 159

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.

Cuadro No.: Página

1 - Explicación de tratamientos, y su presentación en forma simplificada (abreviatura), las dosis de P estan expresadas en Kg de P2O5/há..... 55

SITIO No.1, MASTROPIERRO.

Cuadro No.:

2 - Rendimiento de materia seca por tratamiento, para el total anual y por corte 60

3 - Análisis de varianza para el efecto de los tratamientos en la producción de materia seca total anual y por corte..... 61

4 - Ajuste de ecuación de Mitscherlich, para la materia seca total anual..... 62

5 - Ajuste de regresiones para el efecto de las distintas fuentes de P utilizadas a la instalación y en la refertilización, sobre la materia seca TOTAL ANUAL. Análisis de varianza para las diferencias entre parámetros estimados..... 70

6 - Eficiencia de producción de materia seca del fósforo absorbido. (Kg/há M.S. / Kg/há P absorbido)..... 95

7 - Eficiencia de producción de materia seca anual del P absorbido por los dos componentes principales de la pastura. (Kg M.S./Kg P abs.). 96

8 - Extracción de N, P y K del campo natural y diferentes alternativas de mejoramiento, en Kg/há. Datos correspondientes al total anual..... 102

9 Fósforo asimilable en el suelo (bray No.1), para algunos tratamientos, promedios de dos repeticiones. Muestreo de abril de 1991.... 102

Figura No.:

1 - Respuesta en Kg de materia seca total anual a la dosis de P acumulada. Fuente soluble: Superfosfato común..... 62

2 Producción de materia seca (Kg/há) por corte, según la dosis de P acumulada (fuente: Superfosfato común)..... 64

3 Residualidad del P agregado en la instalación de la pastura. Datos expresados en rendimiento relativo (tratamiento 240 SRS = 100).... 66

4 - Fuentes de P a la instalación y en las refertilizaciones. Datos expresados en rendimiento relativo (tratamiento 240 SRS = 100)..... 68

5 Rendimiento relativo en materia seca total de los tratamientos con o sin cal, para la dosis de 60 unidades de P por há (tratamiento 60 SRS =100)..... 72

6 - Diferentes alternativas de mejoramiento del campo natural, en Kg de M.S.T./há..... 74

7 - Relación entre la materia seca del lotus y la materia seca total, para el corte de octubre, en Kg/há..... 76

8 - Relaciones entre la materia seca del lotus y materia seca total para el corte de enero..... 77

9 - Relaciones entre la materia seca del lotus y mate ria seca total para el corte de ABRIL..... 78

10 - Relaciones entre la materia seca del lotus y

la materia seca total para la producción TOTAL ANUAL..... 79

11 - Relaciones entre el % de lotus y la producción total de materia seca, para el corte de OCTUBRE..... 80

12 - Relaciones entre porcentaje de lotus por estimación visual y por método gravimétrico.... 81

13 - Porcentaje de lotus para tratamientos con o sin encalado en la dosis de 60 Kg P205/há en la instalación, con y sin refertilización, comparados con el tratamiento con fósforo no limitante, corte de OCTUBRE..... 82

14 - Fósforo absorbido total lotus mas gramínea) anual y por corte según la dosis de fertilizante acumulado..... 83

15 - Fósforo absorbido por la leguminosa y por la gramínea, a lo largo del año según la dosis acumulada de fertilizante fosfatado..... 84

16 - Fósforo absorbido total anual, en diferentes tratamientos, relativo al tratamiento con P no limitante..... 86

17 - Porcentaje de P foliar, en diferentes tratamientos, promedio anual..... 87

18 - Fósforo absorbido total anual en tratamientos con y sin encalado, y con y sin refertilización, comparados con el testigo para las dos fracciones de la mezcla y el total..... 88

19 - Porcentaje de P foliar en lotus y gramíneas, según dosis de P, para los cuatro cortes..... 89

20 - Producción de materia seca y porcentaje de P para la fracción leguminosa y la fracción gramínea en función de la dosis acumulada de fósforo para el corte de enero..... 90

21 - Producción de materia seca total anual en función del P absorbido total anual..... 91

22 Producción de materia seca en función del

fósforo absorbido para el corte de octubre.... 92

23 - Fósforo absorbido y materia seca anual en función de la dosis acumulada de fósforo.... 94

24 - Efecto de la dosis de P en la absorción de N, por corte y anual..... 97

25 - Porcentaje de nitrógeno en la leguminosa en función de la dosis acumulada de fósforo, para los cuatro cortes..... 98

26 - Porcentaje de nitrógeno en la gramínea en función de la dosis acumulada de fósforo, para los cuatro cortes..... 99

27 - Absorción de potasio por el lotus, las gramíneas y el total anual, para el testigo y dos tratamientos con fósforo..... 100

28 - Porcentaje de potasio en planta para el lotus y las gramíneas, en el testigo y dos tratamientos con fósforo, corte de octubre..... 101

SITIO No.2, S.U.L.

Cuadro No.:

11 - Producción de materia seca anual y por corte en Kg/há según el tratamiento..... 104

12 - Analisis de varianza para el efecto de los tratamientos en la producción de materia seca total anual y por corte..... 105

13 - Resúmen de las regresiones estimadas para la respuesta anual y por corte (Y = Kg/Há M.S.T.), según la dosis de P utilizada (x = Kg P2O5/Há acumulado)..... 107

14 - Estimación de regresiones para el efecto de las diferentes fuentes de P utilizadas a la instalación y en la refertilización sobre la materia seca TOTAL ANUAL. Análisis de varianza para las diferencias entre paráme-tros estimados..... 114

15 - Eficiencia en producción de materia seca del fósforo absorbido (Kg/há M.S. / Kg/há P absorbido)..... 135

16 - Fósforo asimilable en el suelo (Bray No.1), muestreo de abril de 1991..... 140

Figura No.:

29 - Respuesta en Kg/há de materia seca total (M.S.T.) a la dosis acumulada de P (fuente soluble, superfosfato común)..... 106

30 - Rendimiento relativo, del testigo y los tratamientos no refertilizados, respecto al tratamiento de P no limitante (RR 240SRS = 100)..... 108

31 - Efecto de diferentes fuentes de P a la instalación y en las refertilizaciones, para la dosis de 60 Kg P2O5/há en la instalación. Datos expresados en rendimiento relativo a tratamiento con fósforo no limitante..... 111

32 - Producción de materia seca en los tratamientos con y sin cal, y con y sin refertilización anual..... 116

33 - Alternativas de mejoramiento del campo natural..... 118

34 - Relaciones entre la materia seca de lotus y materia seca total para el corte de agosto..... 120

35 - Relaciones entre materia seca de lotus y materia seca total para el corte de octubre... 121

36 - Relaciones entre materia seca de lotus y materia seca total para el corte de abril..... 121

37 - Relaciones entre materia seca de lotus y materia seca total, para la producción total anual..... 122

38 - Relaciones entre el porcentaje de lotus y la materia seca total para el corte de octubre.... 123

39 - Porcentaje de lotus gravimétrico según dosis

de P (acumulada al tercer año), en los tres cortes realizados..... 124

40 - Porcentaje de lotus en tratamientos con y sin cal, y con y sin refertilización, comparados con el tratamiento con fósforo no limitante para el corte de octubre..... 126

41 - Absorción de P por la pastura según el nivel de P aplicado, para cada corte y para el total anual..... 127

42 - Absorción relativa de fósforo (tratamiento 240SRS = 100) según fuentes de fósforo y refertilización, total anual..... 128

43 - Absorción de fósforo en tratamientos con y sin cal, y con y sin refertilización, comparados con el testigo..... 129

44 - Porcentaje de fósforo de las fracciones lotus y gramínea, para diferentes tratamientos con fuentes de fósforo..... 131

45 - Relaciones entre el fósforo total absorbido y la producción anual de materia seca..... 132

46 - Relaciones entre el fósforo total absorbido y la producción de materia seca, para el corte de octubre..... 133

47 - Nitrógeno absorbido por la pastura según el nivel de P aplicado en los tres años del ensayo, para cada corte y el total anual..... 135

48 - Absorción de N en función de la dosis acumulada de fósforo, para la fracción leguminosa y la fracción gramínea, en el corte de octubre..... 137

49 - Porcentaje de N en función de la dosis acumulada de P para el lotus y la gramínea en el corte de octubre..... 137

50 - Absorción de potasio (total anual) por el lotus, la gramínea y el total, para el campo natural y dos tratamientos con P..... 138

LISTA DE CUADROS Y FIGURAS DEL APENDICE.

SITIO No.1

Cuadro No.:

1 - Análisis de varianza del efecto de los tratamientos en la producción de materia seca TOTAL ANUAL, y contrastes ortogonales. Sitio No.1 - Mastropierro..... 159

2 Análisis de varianza y contrastes ortogonales, para el corte de AGOSTO, sitio No.1 - Mastropierro..... 160

3 - Análisis de varianza y contrastes ortogonales, para el corte de OCTUBRE. Sitio No.1 161

4 - Análisis de varianza y contrastes ortogonales para el corte de ENERO, sitio No.1 162

5 - Análisis de varianza y contrastes ortogonales, para el corte de ABRIL. Sitio No.1 163

6 - Explicación de los tratamientos comprendidos en cada contraste otogonal..... 164

7 - Ajuste de regresiones para el efecto de las distintas fuentes de fósforo utilizadas a la instalación y en la refertilización, sobre la materia seca producida total en el corte de AGOSTO. Análisis de varianza para las diferencias entre parámetros estimados..... 165

8 - Ajuste de regresiones para el efecto de las distintas fuentes de fósforo utilizadas a la instalación y en la refertilización, sobre la materia seca producida total en el corte de OCTUBRE. Análisis de varianza para las diferencias entre parámetros estimados..... 165

9 - Ajuste de regresiones para el efecto de las distintas fuentes de fósforo utilizadas a la instalación y en la refertilización, sobre la materia seca producida total en el corte de ENERO. Análisis de varianza para las diferencias entre parámetros estimados..... 166

10 - Ajuste de regresiones para el efecto de las distintas fuentes de fósforo utilizadas a la instalación y en la refertilización, sobre la materia seca producida total en el corte de ABRIL. Análisis de varianza para las diferencias entre parámetros estimados..... 167

11 - Producción de materia seca total (Kg/há), materia seca de lotus (Kg/há) y porcentaje de lotus en los cuatro cortes. Datos originales para los 21 tratamientos..... 168

12 - Porcentaje de lotus, determinado por estimación visual, para los 21 tratamientos. Datos promedio de los cuatro bloques..... 169

13 - Fósforo absorbido por la pastura, para los cuatro cortes, por tratamiento. Datos por especie y total..... 170

14 - Porcentaje de fósforo, del lotus y las gramíneas de cada tratamiento, por corte..... 171

15 - Eficiencia del P absorbido en producción de materia seca total de la pastura (Kg M.S./Kg P absorbido). Datos promedio para los 21 tratamientos..... 172

16 - Eficiencia del P absorbido en producción de materia seca, por el lotus (Kg M.S./Kg P absorbido). Datos promedio para los 19 tratamientos con lotus..... 173

17 - Eficiencia del P absorbido en producción de materia seca, por las gramíneas (Kg M.S./Kg P absorbido). Datos promedio para los 19 tratamientos con lotus..... 174

18 - Nitrógeno absorbido, por la pastura en los cuatro cortes y total anual. Datos originales para lotus y gramíneas, en los 21 tratamientos..... 175

19 - Porcentaje de Nitrógeno, en lotus y gramíneas para los cuatro cortes. Datos originales para los 21 tratamientos..... 176

20 - Potasio absorbido por lotus, gramíneas y total de la pastura, para diferentes tratamientos, en Kg/há..... 177

21 - Porcentaje de Potasio en lotus y gramínea, para algunos tratamientos, en los cuatro cortes..... 177

22 - Extracción de N, P y K del campo natural y diferentes alternativas de mejoramiento, en Kg/há. Datos promedio por corte y total anual..... 178

23.a.- Fósforo asimilable en el suelo (Bray No.1) para los 21 tratamientos. Muestreo realizado en abril de 1991. Datos ori ginales de dos repeticiones..... 179

23.b.-Datos de PH, acidez titulable, acidez intercambiable y Al intercambiable, de 0 a 15 cm de profundidad..... 179.5

Figura No.:

1 - Fósforo absorbido por el lotus, las gramíneas y el total del corte de ENERO, en función de la dosis acumulada de fósforo..... 197

2 - Fósforo absorbido por el lotus, las gramíneas y el total del corte de ABRIL, en función de la dosis acumulada de fósforo..... 197

3 - Extracción de Nitrógeno total ANUAL por la gramínea y la leguminosa en función de la dosis acumulada de Fósforo..... 198

SITIO No.2

Cuadro No.:

24 - Análisis de varianza del efecto de los tratamientos en la producción de materia seca TOTAL ANUAL, y contrastes ortogonales. Sitio No.1 - Mastropierro..... 180

25 - Análisis de varianza y contrastes ortogonales, para el corte de AGOSTO, sitio No.1

Mastropierro..... 181

26 - Análisis de varianza y contrastes ortogonales, para el corte de OCTUBRE. Sitio No.1 182

27 - Análisis de varianza y contrastes ortogonales, para el corte de ABRIL. Sitio No.1 183

28 - Explicación de los tratamientos comprendidos en cada contraste otogonal..... 184

29 - Regresiones estimadas para la respuesta anual y por cortes de la materia seca total según la dosis de P acumulada..... 185

30 - Ajuste de regresiones para el efecto de las diferentes fuentes de P utilizadas a la instalación y en la refertilización sobre la materia seca, corte de agosto. Análisis de varianza para las diferencias entre parámetros estimados..... 186

31 - Ajuste de regresiones para el efecto de las distintas fuentes de P utilizada a la instalación y en la refertilización sobre la materia seca, para el corte de octubre. Análisis de varianza para las diferencias entre parámetros estimados..... 187

32 - Ajuste de regresiones para el efecto de las distintas fuentes de P utilizada a la instalación y en la refertilización sobre la materia seca, para el corte de abril. Análisis de varianza para las diferencias entre parámetros estimados..... 187

33 - Producción de materia seca total (Kg/há), materia seca de lotus (Kg/há) y porcentaje de lotus en los tres cortes. Datos originales para los 21 tratamientos..... 188

34 - Porcentaje de lotus, determinado por estimación visual, para los 21 tratamientos. Datos promedio de los cuatro bloques..... 189

35 - Porcentaje de fósforo, del lotus y las gramíneas de cada tratamiento, por corte..... 190

36 - Fósforo absorbido por la pastura, para los

tres cortes, por tratamiento. Datos por especie y total..... 191

37 - Eficiencia del P absorbido en producción de materia seca total de la pastura (Kg M.S./Kg P absorbido). Datos promedio para los 21 tratamientos..... 192

38 - Porcentaje de Nitrógeno foliar, en lotus y gramíneas para los tres cortes. Datos originales para los 21 tratamientos..... 193

39 - Nitrógeno absorbido, por la pastura en los cuatro cortes y total anual. Datos originales para lotus y gramíneas, en los 21 tratamientos..... 194

40 - Porcentaje de Potasio en lotus y gramínea, para algunos tratamientos, en los tres cortes..... 195

41 - Potasio absorbido por lotus, gramíneas y total de la pastura, para diferentes tratamientos, en Kg/há..... 196

Figura No.:

4 - Relaciones entre el porcentaje de lotus por estimación visual y por el método gravimétrico, corte de OCTUBRE..... 198

5 - Absorción de fósforo (total ANUAL) por el lotus, las gramíneas y el total, en función de las dosis acumuladas de fósforo..... 199

6 - Absorción de fósforo por el lotus, las gramíneas y el total, en función de las dosis acumuladas de fósforo, corte de OCTUBRE..... 199

7 - Nitrógeno absorbido por la leguminosa, las gramíneas y el total anual en función de la dosis acumulada de fósforo..... 200

8 - Porcentaje de Potasio en el lotus y la gramínea, para el testigo y dos tratamientos con fósforo, en el corte de OCTUBRE..... 200

I. INTRODUCCION

El área de suelos desarrollados sobre materiales del Basamento Cristalino representa el 15 % de la superficie del territorio nacional. Constituye un área importante del país, en la cual se realizan fundamentalmente rubros de producción pecuaria (carne, lana y leche). Los niveles de producción generalmente son bajos, siendo uno de los factores determinantes la baja producción de forraje (2 ton. de M.S./há/año en promedio), así como una estacionalidad primaveral muy marcada y déficits importantes en invierno y verano.

A los efectos de aumentar el volumen y calidad de forraje por unidad de superficie, así como mejorar su distribución a lo largo del año, es necesario la inclusión de leguminosas en el tapiz. Existen una serie de limitantes de suelo importantes para la instalación y persistencia de leguminosas forrajeras: niveles bajos de P asimilable, pH ácido, presencia variable de aluminio intercambiable y en algunos casos escasa profundidad del perfil. Algunas de estas limitantes pueden ser corregidas, a través del agregado de fertilizantes y de enmiendas que permitan mejorar las condiciones de desarrollo para las especies introducidas, así como mejorar la productividad de las especies nativas del tapiz.

II. OBJETIVOS

Objetivo general

Estudiar el efecto de la fertilización fosfatada y el encalado de suelos en la cantidad y calidad de forraje producido por una cobertura de Lotus , en dos suelos desarrollados a partir de materiales derivados del Basamento Cristalino.

Objetivos específicos

- Evaluar la residualidad del P agregado y el encalado en la siembra, de una cobertura de Lotus instalada.

- Evaluar la respuesta a la refertilización anual con P.

- Comparar diferentes fuentes de P para la instalación y refertilización de pasturas.

- Evaluar la respuesta del campo natural al mejoramiento mediante el agregado de N y P.

III. REVISION BIBLIOGRAFICA

III.1. LIMITANTES DE MEJORAMIENTOS EN COBERTURA CON LEGUMINOSAS.

III.1.1. ACIDEZ DEL SUELO.

III.1.1.1. Introducción

Los efectos de la acidez son bien conocidos y ampliamente estudiados, se sabe que afecta la producción de materia seca (tanto de la parte aérea como de la raíz), así como la composición química del forraje y por lo tanto el rendimiento en nutrientes.

Se ha establecido también, su efecto en la disponibilidad de macro y micronutrientes así como su relación con niveles tóxicos de elementos como Fe, Al y Mn. Numerosos autores reconocen también su influencia en la fijación biológica de nitrógeno.

III.1.1.2. Concepto de acidez.

Suelos ácidos son los que han tenido un intenso proceso de lixiviación y que desde el punto de vista químico se caracterizan por tener un bajo contenido de bases totales, PH<6 y la presencia de ciertos elementos en concentraciones tóxicas para las plantas. En varios tipos de suelos , la acidez se asocia con la presencia de H y Al intercambiables.

III.1.1.3. Acidez intercambiable y aluminio intercambiable

La acidez intercambiable de un suelo, es la que puede ser desplazada al tratarlo con una solución salina neutra y no buffereada, como por ejemplo KCl, NaCl o CaCl2.

La acidez intercambiable en suelos minerales es debida casi totalmente a los monómeros de Al que al ser liberados por los procesos de meteorización, se hidrolizan aumentando la concentración del ión H.

La reacción simplificada del Al como fuente de acidez es la

siguiente:

$$Al + 3\ H_2O \text{ -------- } Al(OH)_3 + 3H^+$$

El Al intercambiable es una de las causas de los efectos tóxicos que se producen en los vegetales creciendo en suelos ácidos y la forma iónica hidratada bajo la cual el Al existe a PH ácido, como ión intercambiable es :

$$Al(H_2O)_6^{+3}$$

En la medida que aumenta el PH, la concentración de OH también aumenta , la molécula se hidroxila y se van formando polímeros que se comportan quimicamente como ácidos débiles. La forma bajo la cual se presentan dichos polímeros, no está aún esclarecida ; pudiendo ser de variados tamaños y grados de estabilidad.

Los valores de PH en los que se encuentra al Al bajo la forma intercambiable , son aquellos PH<5,6 según Jackson (1967) citado por Caorsi et. al.(1989). Por su parte Coleman y otros (1959) citados por Black (1967) determinaron que en suelos donde el PH es mayor a 5,5 casi la totalidad de la acidez titulable es no intercambiable .

Kamprath y Foy (1971) cit. por Collares (1983) hallaron que el Al en solución es bajo a PH 5,5 pero aumenta marcadamente por debajo de PH 5,0.

III.1.2. EFECTOS DE LA ACIDEZ.

En los suelos, el crecimiento de las plantas es más comúnmente afectado por los factores asociados a la acidez más que por la acidez en sí misma, la toxicidad de Mn y Al, y la deficiencia de Mo y P son conocidos ejemplos (Munns 1965, cit. por Bordoli-Casella).

III.1.2.1. Efectos en el desarrollo de la planta

III.1.2.1.1. Crecimiento radicular

Wood et. al.(1984) estudiaron el efecto de la acidez

del suelo y los factores asociados (bajo PH y Ca,así como alto Mn y Al), en T. Blanco, y en condiciones de laboratorio. Estudiaron el efecto sobre la elongación radicular y la formación de pelos radiculares.
Vieron que el PH no afectó la formación de pelos radiculares y la elongación fue inafectada o ligeramente reducida.

Sin embargo Wood et. al. (1984) señalan que entre PH 4,3 y 5,0 la elongación y formación de pelos fue severamente restringida.

Rains y otros (1964) cit. por Collares (1983), señalan que el ión H actuaría en detrimento del crecimiento vegetal, debido a la competencia con los demás cationes por los sitios disponibles para la absorción y además serían capaces de provocar alteraciones irreversibles en la estructura y función celular.

III.1.2.1.2. Relación Rizobium-Leguminosa

Andrew 1976, cit. por Edmeades et al. 1991, observaron que el crecimiento de leguminosas templadas en solución, resultó poco sensible a una disminución del PH cuando disponían de N inorgánico, pero que el crecimiento y la nodulación de plantas inoculadas fue adversamente afectado al disminuir el PH por debajo de 5, en ausencia de N inorgánico.

Wood et al.(1984). reportan que el PH menor a 5.0 limitó la multiplicación del rizobium y la formación de nódulos. Establecen que la simbiosis a tales PH podría ser limitada tanto por el pobre desarrollo radicular como por la pobre multiplicación del rizobium.

Richardson et. al.(1988) establecen que la nodulación en T. Subterráneo es sensible al bajo PH y a desbalances nutricionales (Ca y Al) causados por él. Las fallas en la nodulación pueden deberse a una pobre sobrevivencia, o a la inestabilidad e incapacidad del rizobio de multiplicarse rápidamente bajo tales condiciones; o a efectos directos del PH en el proceso de infección (Munns 1968) citado por Richardson et al. 1988.

Wood y Cooper (1984) establecieron que la nodulación es restringida a PH<5.5 e inhibida a PH<4.5. La restricción puede ser aún mayor en presencia de Al en bajas concentraciones , deficiencias de micronutrientes o toxici-

dad del Mn.

Dobereiner (1966) cit. por Wood et. al. (1984) reportó que el Mn tiene un efecto específico en la simbiosis; pero éstos autores observaron que concentraciones de 200 uM no afectaron ni la población de rizobium ni el desenvolvimiento temprano de la simbiosis.

Los mismos autores reportan que a PH menor a 5,0 existió una nodulación pobre, y que el Ca puede compensar los efectos adversos del bajo PH en ausencia de Al.

Edwing y Robson (1990), también encontraron que un aumento en la concentración de Ca en la solución parcialmente compensó el efecto negativo de una alta concentración del ión H en la nodulación de varias especies de Medicago.

Howieson y otros (1992), considerando que en los suelos de PH entre 5.5 y 6.5 el Al es virtualmente insoluble por lo que un stress en el desarrollo de los rizobium se considera que se debe a un exceso de H o a una deficiencia de Ca (Ritchie 1990, cit. por los mismos); estudiaron el efecto de una variación en la concentración de Ca del suelo en el desarrollo de varios tipos de Rizobium meli loti, encontrando una interacción Ca-PH significativa, el crecimiento de todos los tipos de rizobium utilizados se incrementó marcadamente al aumentar la concentración de Ca en los suelos de PH entre 5.7 y 6.5, no observándose lo mismo en un suelo de PH-7.3 . Los autores mencionan que el Ca pudo haber tenido un efecto directo en el crecimiento de los rizobium, tal cuál fue encontrado por Lowther (1970, cit. por los mismos autores) en Trébol subterráneo, pero que la información disponible no es suficiente para determinarlo. También mencionan que muchos trabajos que documentan muy claramente una interacción Ca-pH en la nodulación de leguminosas, pudieron deberse a un efecto del Ca en el crecimiento del microsimbionte.

Estos mismos autores, en suelos con baja concentración de Ca encontraron una interacción significativa P-pH, la lenta tasa de crecimiento causada por un bajo pH fue contrarrestada por un aumento en la concentración de P en esos suelos bajos en Ca.

Howieson y Ewing (1986), encontraron a la acidez del suelo más que al suministro de Ca, como el factor limitante de la colonización con Rizobium Meliloti del suelo utilizado.

Franco y Munds (1982) hallaron que bajando el PH de 5.5 a 5.0 disminuyó el número de nódulos formados por el poroto, pero el PH entre 4.5 y 5.5 no afectó el crecimiento de los nódulos ni la actividad de la nitrogenasa; por lo que concluyen que el bajo PH podría ser importante en la nodulación temprana.

Andrew (1978) citado por éstos autores, dice que el PH afecta la supervivencia y multiplicación del rizobium así como la infección radicular, la eficiencia de la relación y por lo tanto la nutrición de la planta hospedera.

Edmeades et al. (1991), reporta que muchos trabajos han mostrado que el efecto negativo del PH no es sobre el crecimiento y supervivencia del rizobium per se, sino que es a consecuencia de un paso pH-sensible en el proceso de nodulación.

Evans y otros (1990), utilizaron 5 especies de leguminosas, y aplicaron 4 tratamientos con cal, para estudiar el efecto del PH en la nodulación. Encontraron primero que la infección radicular es más sensible a una variación en el PH de lo que indicaría la variación en la producción de materia seca. Para todas las especies estudiadas, una disminución en el número de nódulos ocurrió como consecuencia a un aumento de la acidéz, también se observó una disminución en el número de nódulos por gramo de raíz, lo que muestra que la nodulación fue más afectada que el crecimiento radicular. Paralelo a esto, observaron un aumento del peso promedio de los nódulos al bajar el PH, con lo que concluyen que la disminución en el número de nódulos es compensado en parte por ese aumento en la actividad nodular. Estos mismos autores encontraron, en tratamientos con N mineral, que la deficiencia en la nodulación no es la razón primaria de la reducción en la producción de materia seca en suelos ácidos.

III.1.2.2. Toxicidad del aluminio

III.1.2.2.1. Introducción.

Cuando el Al se encuentra en concentraciones altas, inhibe el desarrollo radicular , retarda el desarrollo de la parte aérea y afecta la absorción y traslocación de nutrientes. Son también conocidos sus efectos en la

relación rizobium- leguminosa.

III.1.2.2.2. Mecanismos de toxicidad.

Aún no están claramente entendidos, pero se sabe que disminuye la extracción de varios nutrientes, especialmente Ca y P; puede también interferir en la división celular a través de efectos en la mitosis y reduce además la fosforilación de los azúcares (Wood et. al.1984).

III.1.2.2.3. Formas tóxicas.

Wood y Cooper (1988) sugieren que la toxicidad puede ser debida a:

- Efecto directo del Al monomérico.

- Efecto indirecto de los polímeros de Al en reducir la concentración de fosfato.

- Efecto directo de los polímeros de Al.

En general existe acuerdo que a PH> a 7 el Al está presente como:

$$Al(OH)4(H2O)_2^-$$,

y a PH < 4 , como:

$$Al(H2O)_6^{+3}$$,

pero no existe acuerdo acerca de las formas intermedias.

Hay buena evidencia de que existen complejos positivamente cargados y que serían los responsables de la toxicidad.

Los autores también observaron que el efecto neutralizador de los OH- puede ser complementado por aumentos en las concentraciones de PO4- debido a una neutralización más rápida del Al por ambos iones actuando simultáneamente.

III.1.2.2.4. Efecto en las raíces.

Wood et.al.(1983) establecen que el Al fue severamente tóxico para el desarrollo de las raíces, observaron que los pelos radiculares estaban ausentes y el crecimiento radicular era impedido.

Reportan también que la formación de pelos es más sensible a la concentración de Al que la elongación radicular (10 uM contra 30 uM).

El crecimiento radicular y por lo tanto el volumen de suelo explorado puede ser importante en relación al mejor crecimiento de la especie a baja disponibilidad de fósforo, especialmente en suelos ácidos con alto contenido de Al ya que el principal efecto de éste es una severa inhibición del crecimiento radicular (Foy y Fleming 1978) cit. por Haynes y Ludecke 1981.

El exceso de Al puede restringir el uso del agua a través de la disminución en la penetración y proliferación radicular, también puede dañar las raíces de manera que no puedan absorber agua, aún en suelos húmedos.

Clarkson (1967) cit. por Andrew y Vanden Berg (1973), reporta que el Al se uniría a sitios de absorción de la pared celular limitando la absorción de nutrientes.

III.1.2.2.5. Efecto en la relación rizobium-leguminosa

Ha sido demostrado que el aluminio bajo condiciones ácidas inhibe o reduce el desarrollo y multiplicación del rizobium, la formación de nódulos, la fijación de N y el crecimiento de la planta hospedera (Jarvis y Hatch 1985, Wood y Cooper 1985, Wood et al 1984; cit. por Wood y Cooper 1988).

Los mecanismos no son bien conocidos y han sido poco estudiados, Munss y Keynes (1981) cit. por los mismos autores mostraron que el rizobium es más sensible al Al en el momento de la división celular.

Wood y Cooper (1988) reportaron que la multiplicación celular es más sensible en la etapa logaritmica que en la estacionaria; y observaron que a una concentración de 50 uM de Al disminuía el número de rizobios, ejerciendo un efecto bacteriostático permanente, ya que al ser colocados en un

medio sin Al no fueron capaces de reproducirse.

Estos autores indican que polímeros de hidroxi-aluminio cargados positivamente pueden estar presentes a PH 5,5 y podrían ser responsables del efecto tóxico del Al.

Bell y Eduards (1986) mostraron que las formas monoméricas son fitotóxicas, y que la actividad de éstas es el mejor indicador de la toxicidad. Encontraron que la nodulación es más sensible que el crecimiento de la planta hospedera, y que a su vez la infección radicular es más sensible que el subsiguiente desarrollo de la nodulación; establecen que concentraciones de Al que inhiben la nodulación parecen no afectar el funcionamiento de los nódulos en la fijación de N.

Foy (1984) establece que en casi todas las especies el rizobium parece ser más sensible a la toxicidad del Al que la planta hospedera, y la fijación de N a su vez menos sensible que la formación de nódulos.

Franco y Munns (1983) cit. por Edmeades et al. (1991), también mencionan que el aluminio afectó la colonización e infección del rizobium , pero en cambio mencionan que el crecimiento radicular fue más sensible al Al que los rizobios.

Sin embargo, Edmeades et al. (1991), reportan que el desarrollo de la simbiosis fue más sensible al exceso de aluminio que la planta hospedera sola, tal como han establecido la mayoría de los autores.

Keyser y Munss (1979) cit. por Foy (1984) dicen que el Al y un PH ácido parecen ser más importantes que una deficiencia de Mo o Ca en limitar la actividad del rizobium.

III.1.2.2.6. Efectos fisiológicos y bioquímicos

Para las plantas en general ha sido reportado que el exceso de Al+3 interfiere en la división celular del eje principal y raíces laterales, incrementa la rigidez de la parte de la pared celular responsable de la fosforilación del azúcar; el ATP de la reacción debe combinarse con el Mg para que esto ocurra, pero la afinidad del Al al ATP es 40 veces mayor que la del Mg, formando un complejo altamente estable Al-ATP.(Foy 1984)

Las interacciones Fe-Al tambien son frecuentes, Furlans y March (1981) hallaron que el Al interfiere en la reducción Fe^{+3}-Fe^{+2}, un proceso esencial en el metabolismo del Fe. Hallaron que la clorosis férrica es un síntoma común de la toxicidad del Al^{+3} en sorgo.

III.1.2.2.7. Efecto en la absorción y traslocación de fósforo.

Andrew y Vanden Berg (1973) trabajando con soluciones de cultivo donde se aumentaba la concentración de Al, observaron que el fósforo absorbido aumentaba al aumentar el nivel de Al en la solución, pero disminuía al llegar a 2 ppm en la solución en especies sensibles como la alfalfa. El incremento podría deberse a reacciones de adsorción y precipitación en la superficie celular o en el espacio libre intercelular. Trabajando con raíces cortadas que absorbían P32 en presencia de Al vieron que cuando las colocaban en agua deionizada perdían rápidamente el P32, no pasando eso en las que no fueron tratadas con Al, lo que sugiere que existió un bloqueo en la traslocación en aquellas que se trataron con Al.

El aluminio enlazaría el fósforo en las superficies radiculares y en las paredes de las células, disminuyendo la cantidad de fósforo disponible para el metabolismo celular.

Además se ha comprobado que el Al es capaz de remover el fósforo de las células radiculares o impedir la absorción de P desde fuentes externas a la raíz (Clarckson cit. por Kamprath y Foy 1971, cit. por Collares 1983).

En cuanto a la eficiencia de traslocación, medida como: porcentaje de fósforo total en la parte aérea en relación al P total en la parte aérea más raíz, observaron que se reducía en todas las especies cuando fueron tratadas con Al, siendo más severo en las especies más sensibles.

Matsumoto et al. 1976 (cit. por Haynes 1982), han demostrado que el Al y el P están localizados en los mismos sitios en las raíces de las plantas cuando existe toxicidad del Al. Hay dos lugares de acumulación: en el espacio libre de la raíz, y dentro de las células de la misma, específicamente asociado con el núcleo. La acumulación de PO4 en el tejido radicular y la inhibición de su traslocación hacia la planta es característico de la toxicidad del Al.

La acumulación de P y Al causan precipitación de AlPO4 dentro del espacio libre y/o adsorción de P por los polímeros recién precipitados (Clarkson 1967, Haynes y Ludecke 1981).

La acumulación de Al en el núcleo se asocia al ADN, los enlaces Al-PO4 en las cadenas de ADN estabilizan las mismas y en consecuencia inhiben la división celular. El Al no solo inhibe la extracción y traslocación de P sino que también inhibe las funciones del P incorporado metabólicamente (Matsumoto et al. 1977, Marimura y Matsumoto 1978, cit. por Haynes 1982).

En algunas plantas la tolerancia al Al se relaciona estrechamente a la eficiencia de uso del P (Foy y Fleming 1978).

Se demostró que en leguminosas tolerantes al Al, es mayor la traslocación de P hacia la parte aérea (Andrew y Vanden Berg 1973).

III.1.2.2.8. Tolerancia al aluminio.

Con respecto a la diferencia en sensibilidad, que presentan las diferentes especies ; se ha sugerido que los ácidos orgánicos de las plantas pueden formar complejos estables con el Al en las raíces, lo que podría explicar las diferencias en respuesta de esas especies, Evans (1931) cit. por Andrew y Vander Berg (1973).

Jones (1961), Clarkson (1967) cit. por los mismos autores, establecen que este puede ser el mecanismo de detoxificación en especies resistentes.

Wood et al. (1984), estudiando los efectos del Al, observaron que el Lotus tenía más Al en sus raíces que otras especies, efecto que fué relacionado a la tolerancia a las altas concentraciones. Según los autores, la alta cantidad de Al puede precipitar dentro de la raíz disminuyendo así su efecto fitotóxico, o podría precipitar y por lo tanto reducir su actividad química en el apoplasma de la raíz, donde se forman polímeros y complejos de hidroxi-aluminio.

Blamey et al. (1990), realizaron comparaciones entre dos cultivares de Lotus; uno tolerante al Al (L. peduncu-

latus) y otro sensible (L. corniculatus), para investigar los mecanismos de tolerancia al Al. En un primer experimento se concluyó que la detoxificación del Al en la rizósfera de la especie tolerante no se debió a un cambio en el PH de la solución ni a la excreción de liquidos orgánicos.

En el segundo experimento se observó que la especie con menor CIC en las raíces fue más tolerante a un exceso de Al.

III.1.2.2.9. Interacción Al-Mn

Conyers y otros (1991), reportan una interacción negativa. Al incrementar el Mn se alivió la toxicidad del Al. Mencionan dos posibles explicaciones:

- las plantas responden a una deficiencia de Mn secretando H para solubilizar MnO2 lo cual acidifica la rizófera (Marchner et al. 1986); por lo que el Al en esa zona es más activo que en el resto del suelo.

- puede haber un proceso bioquímico en las raíces que es Mn dependiente asociado con la tolerancia al Al. El Mn tiene una función específica en la raíz independiente de su requerimiento para el crecimiento radicular (Campbell y Noble 1988). Una deficiencia de Mn disminuye la síntesis de lignina y fenol, los que pueden ser relevantes en minimizar el flujo masal del Al en la rizófera.

III.1.2.3. Disponibilidad de nutrientes

III.1.2.3.1. Generalidades

Mc Inosh et al.(1984) estudiando el efecto del PH en 50 sitios de Nueva Zelandia, durante 3 años, observaron que en superficie, el Fe, el Al y el Mn, disminuían al aumentar el PH.

Haynes y Ludecke (1981) también reportaron un marcado descenso del: Al, Mn y Fe, al aumentar el PH, asi como descensos en los niveles de K, Mg y Na.

Macigiewska (1986), cit. por Richardson et al.(1989), observa que la disponibilidad de Fe es afectada por el PH siendo más alta a PH menores.

III.1.2.3.2. Magnesio

En estos tipos de suelo con aluminio, hay acuerdo entre los autores que en la medida en que el PH aumenta por encima de seis unidades la disponibilidad de Mg disminuye. Los postulados acerca de los mecanismos químicos que gobiernan estos hechos son varios.

Grove et al. (1984) citan a varios autores, entre ellos Chan et al. (1979), que indican que el Mg es específicamente absorbido en las intercapas de minerales arcillosos bajo la forma de compuestos hidrolizados como $MgOH^+$.

Kimiburgh et al.(1984) establecen que la retención de Mg incrementa tanto como los geles de Al^{+3}, presumiblemente debido a la incorporación estructural del Al.

Por su lado Mc. Bride (1978) observó que el Mg rápidamente coprecipitó con el Al al incrementar el PH para formar geles de MgAl.

Otros mecanismos como la reacción con Si soluble, precipitación en intercapa de brusita o minerales integrados tipo clorita-vermiculita, así como la formación de doble hidróxidos $MgAl(OH)5$, han sido demostrados a PH cercano a la neutralidad.

Por lo tanto las reacciones de fijación son las más probables que se den a PH muy por debajo de 7. Parece probable que la iniciación de la fijación de Mg ocurra a un PH tan bajo como 5.

III.1.2.3.3. Potasio

Rich y Black (1964) cit. por Da Gama (1987) sugieren que los hidrógenos compiten con el potasio por posiciones específicas; pero al incrementar el PH la competencia se reduce incrementando la probabilidad de fijación de K en esas posiciones.

Rich (1978) cit. por el mismo autor, establece que el Al cuando ocupa posiciones de intercapa en arcillas expansivas, al incrementarse el PH, se reduce su concentración; debido a que al aumentar la concentración de OH, el Al polihidroxilado se torna inestable y es removido, pudiendo incrementarse la fijación de K.

Da Gama (1987) encontró que al incrementarse el PH aumenta la liberación de K no intercambiable, debido a que se facilitó la difusión del K absorbido. Establece que la intensidad de la difusión dependerá del tenor de K no intercambiable, y por lo tanto del tipo de suelo, o material madre que le dió origen.

Agrega que la distancia de intercapa de las micas se incrementa con el PH lo que también promovería la difusión del K.

III.1.2.3.4. Fósforo

Sumner y Farina (1986), dicen que incrementos en el PH han sido reportados como que incrementan, disminuyen o como que no afectan el P absorbido por las plantas.

Las deficiencias de P ocurren más frecuentemente en los suelos ácidos y alcalinos, que en suelos neutros. El PH del suelo tiene muchos efectos en la absorción de P, pero no todos en la misma dirección, por lo que el efecto neto puede diferir mucho de un suelo a otro.

Dentro del rango común de suelos, la absorción de P por parte de las plantas disminuye al aumentar el PH de la solución, aunque la concentración de P en el suelo permanezca constante.

El ortofosfato inorgánico se da en solución, en los suelos agrícolas; fundamentalmente como $H_2PO_4^-$ a PH bajo y a PH alto predomina la forma HPO_4^{-2}. Tisdale y Nelson (1970) señalan que la velocidad de absorción de $H_2PO_4^-$ es hasta 10 veces mayor que la de HPO_4^{-2}.

La máxima disponibilidad de P se daría a PH neutro o ligeramente ácido, y según Tisdale y Nelson sería a un PH entre 5.5 y 7.0 .

Otros efectos del PH, señalados en muchos trabajos, son que: al aumentar el PH los fosfatos de Fe y Al se hidrolizan liberando P, también la mineralización del fósforo orgánico se incrementa al aumentar el PH. Por el contrario el fosfato de calcio se vuelve más insoluble a PH alto, y se disuelve liberando P a valores bajos de PH.

Bache y Crooke (1981) trabajando con cebada en suelos ácidos establecieron que el P disponible en el suelo se

relacionó linealmente con el PH, disminuyendo el P disponible a medida que el PH aumentaba.

Haynes y Ludecke (1981) reportaron también disminuciones en el P soluble y disponible en la medida que el PH aumentaba.

III.1.3. DISPONIBILIDAD DE FOSFORO

Es la limitante de mayor importancia en el país, ya que su deficiencia se extiende prácticamente a toda su superficie.

Desde la introducción del modelo Neozelandés en el país, se han realizado múltiples estudios en lo que refiere a la instalación, productividad y persistencia de las leguminosas introducidas; encontrándose que el fósforo disponible en los suelos es la principal limitante para la introducción de dichas especies.

Carámbula (1977) establece que para las leguminosas en general, los niveles de fósforo en los suelos del país no son adecuados; en función de ésto se torna indispensable incrementar los niveles de fósforo en el suelo para lograr que las leguminosas puedan establecerse y alcanzar su potencial de rendimiento.

III.2. RESPUESTA AL AGREGADO DE P EN COBERTURA

Scott y Mills (1980) establecen que una de las razones del mayor crecimiento del Lotus en suelos ácidos es su mayor habilidad de extraer el fósforo del suelo, pero si bien es una leguminosa eficiente, requiere de superfosfato en cobertura para su establecimiento y sobrevivencia. En un suelo de PH 4,9 y con 9 ppm de P (Olsen), comprobaron que con 10 Kg de P/Há en cobertura la especie sobrevivió y produjo algo. Al repetir la dosis el siguiente año, el rendimiento se duplicó.

Lowther et. al. (1987) trabajando con tres especies de Lotus (L. Corniculatus, Pedunculatus y un híbrido de ambas) en una cobertura, estudiaron el efecto de la dosis de P para el mantenimiento de la pastura. Comprobaron que al aumentar la dosis de 8 a 28 Kg P/Há los rendimientos aumentaron significativamente en las tres especies. Para Lotus corniculatus, reportan que hubo respuesta en el rendimiento

a bajas dosis de P y que ésta fue consistente en los años.

A nivel nacional, varios autores reportan la respuesta de diferentes especies de leguminosas, al agregado de P en cobertura.

Argelaguet e Irazoqui (1985), trabajando en un Brunosol de la unidad San Manuel, que tenía un nivel de P de 6 ppm (Resinas de Intercambio Catiónico); sembraron una mezcla de Trébol Blanco y Lotus sobre el campo natural y usaron niveles de 0, 46, 69 y 161 Kg de P2O5/Há. Reportan que al pasar de la dosis 0 a 161, el rendimiento en materia seca del Lotus aumentó de 100 a 800 Kg/Há/año, lo que representa pasar de un 7 a un 42 por ciento del total producido por la pastura. Por otro lado, la máxima dosis tuvo un rendimiento de un 90 por ciento superior al campo natural. El coeficiente r2 hallado por éstos autores indica que el 84% de la variación fue explicada por los niveles de P; lo que significa que la disponibilidad de P afecta la implantación y productividad de la leguminosa.

Mallarino y Casanova (1984) cit. por Argelaguet e Irazoqui (1985), presentan curvas de respuesta al P del Lotus sembrado convencionalmente en un Brunosol subéutrico con 13 ppm de P (Bray 1) y en un Vertisol con 8 ppm de P (Bray 1). El testigo sin fertilizar rindió el 80% del máximo, obteniéndose el 90% del máximo con 20 a 30 Kg de P2O5. Los autores establecieron que los niveles de P en el suelo que permiten obtener el 90% del máximo rendimiento son 12 a 13 ppm de P (Bray 1). Estos valores son muy similares a los establecidos por Morón (1984) citado por los mismos autores.

Montes y Ochoa (1986), trabajaron en un Argisol sobre Cretácico (PH 5,5 ; Bray 1 = 2ppm P y R.I.C = 6 ppm P) sembrando Lotus en cobertura sobre campo natural. Estudiando el efecto del P observaron un aumento en rendimiento de materia seca de un 480% al pasar del testigo sin fertilizar a la máxima dosis (195 Kg P2O5/Há); también reportan un alta asociación de la producción anual con la fertilización (0.71).

De León (1992), encontró respuesta significativa en producción de materia seca a la fertilización fosfatada en cobertura de un campo natural mejorado con Lotus; en un Brunosol subéutrico con 2 ppm de P (Bray 1) inicial, sobre Cristalino. También observó respuesta significativa del porcentaje de Lotus en la materia seca de la pastura. Lo

cual, según Carámbula (1977) significa un incremento importante en la calidad de cualquier pastura natural.

III.2.1. EFECTO DE LA APLICACION DE P EN COBERTURA EN LAS DIFERENTES FRACCIONES DE P DEL SUELO.

Perrott y Mansell (1989), reportan que el establecimiento de las pasturas y la aplicación de P en cobertura, producen una acumulación de P tanto en forma orgánica como inorgánica.

Quin y Richard (1981) cit. por estos autores, establecen que la acumulación de P de fertilizaciones residuales, se da principalmente bajo la forma de P orgánico, en un experimento de largo plazo aplicando superfosfato en cobertura. También observaron, que la aplicación de cal detuvo esa acumulación de P orgánico y además produjo una ligera disminución del mismo en los años siguientes; lo que indicaría que la cal favoreció la mineralización de la materia orgánica, aunque el análisis foliar no mostró evidencias de una mayor disponibilidad de P para las plantas.

Perrot y Mansell (1989), observando datos analíticos de los 2,5 cm de suelo superiores, establecen que cerca del 30 % del P aplicado se encuentra en esta capa y además que cerca del 50 % del P extraído por las plantas proviene también de ella. Reportan que como los niveles de P orgánico son determinados por la actividad biológica en el largo plazo, la acumulación de P en los 4 años del experimento se dió bajo la forma de fósforo inorgánico, principalmente en las fracciones de P absorvido (extractado con NaOH y $NaHCO_3$) y en formas ocluídas (no extractables con los reactivos utilizados).

Perrott et al. (1989), cit. por Perrott y Mansell (1989), observaron también incrementos en el contenido de P del suelo con la fertilización en el largo plazo , y concluyeron que se da en una fracción inerte conteniendo P ocluído, que contribuye poco con el P disponible para la planta. Observaron que si bien no hubo un cambio neto en el P orgánico, disminuyeron las formas más estables del mismo, aumentando las más lábiles.

Condron y Goh (1990), determinaron que el fertilizante fosfatado aplicado durante los primeros estadios del desarrollo de una pastura mejorada contribuyen con la acumulación de P orgánico en el suelo. A tasas anuales óptimas de

aplicación de fertilizante fosfatado, la acumulación de P inorgánico residual se volverá significativa solo cuando el nivel de equilibrio del P orgánico se ha alcanzado (lo cual demora mucho tiempo), con lo que concluyen que si bien la disponibilidad de P inorgánico residual podría a largo plazo disminuír las necesidades de aplicación , contínuas aplicaciones fosfatadas serán necesarias para mantener un nivel consistente en la producción forrajera.

III.2.2. DISPONIBILIDAD INICIAL DE P PARA LA IMPLANTACION DE LEGUMINOSAS.

Según White (1981) cit. por Montes y Ochoa (1986), el fósforo es esencial en el establecimiento de pasturas y en especial para estimular el crecimiento de las plántulas de leguminosas, siendo también importante la aplicación del fertilizante junto a las semillas.

Lucas et al. (1980), sembraron Lotus y Trébol Blanco en cobertura en un suelo de 3 ppm de P (Olsen) en la estación Mesopotámica de South Canterburry (N. Zealand); observaron que al aumentar la dosis de P a la instalación se incrementó el rendimiento tanto de la leguminosa como del total de la pastura. Los autores reportan que la importancia del P agregado en la instalación disminuye con el tiempo y las dosis de mantenimiento van cobrando importancia. Las mejores respuestas en materia seca por unidad de P a la instalación, se dieron en dosis moderadas o bajas.

En el país varios autores han estudiado el efecto del fósforo en la implantación de las leguminosas.

Montes y Ochoa (1986), establecen que el Lotus ha mostrado tener una muy buena adaptación en distintos tipos de suelos aún sin agregado de P; observaron además una elevada respuesta y una importante eficiencia de uso, del fósforo agregado; o sea que, para obtener los máximos rendimientos necesita también dosis altas de fósforo.

Castro et al. (1981) cit. por Bordoli-Casella (1983), afirman que aparentemente, para mantener un alto porcentaje de leguminosas en la mezcla, es más importante el nivel inicial que las refertilizaciones, probablemente debido al logro de plantas más vigorosas y semillazón más abundante en el primer año.

De León (1992), trabajando en una cobertura de Lotus

sobre un Brunosol subéutrico de la formación Sierra de Polanco, encontró efecto significativo de la fertilización fosfatada en el % de implantación de la leguminosa aumentando el % de materia seca de la misma en el total de materia seca producida.

Chilibroste et al. (1982), trabajando en un Planosol subéutrico con un nivel de P a la siembra de 13 ppm, observaron que el Lotus sembrado en forma convencional, no respondió en la implantación, a la aplicación de superfosfato en un rango de 0-160 Kg/há.

Garayalde y Morton (1983), estudiaron la fertilización fosfatada en la instalación de leguminosas en praderas convencionales, sobre un Vertisol de Paso Pache con 8 ppm P (Bray 1); no encontraron respuesta significativa a la fertilización fosfatada en Lotus, por lo que concluyen que ese nivel de P en el suelo estaría muy cercano al óptimo para la especie.

Montes y Ochoa (1986), reportan datos de un Argisol subéutrico sobre Cretácico, donde estudiaron el efecto de la fertilización fosfatada en la implantación y producción de Lotus en cobertura. Hallaron que la especie se implantó con 4,4 ppm de P. El nivel mínimo de P manejado en la guía de fertilización de pasturas es de 12 ppm; por esto es que los autores cuestionan el valor práctico de la misma, debido a que agrupa suelos con diferentes características y leguminosas con diferentes requerimientos.

También Argelaguet e Irazoqui (1985) trabajando con Lotus en cobertura sobre un Brunosol de la unidad San Manuel que tenía 3 ppm de P (Bray 1), observaron que el Lotus se implantó en el testigo sin fertilizar, aunque produjo solo un 6 % de la materia seca del tratamiento de máximo rendimiento (P no limitante).

Jaso y Olaondo (1986), estudiando 2 métodos de implantación, cobertura y convencional, en un Brunosol eútrico de la unidad San Manuel encontraron una mayor exigencia en dosis de P de las siembras en cobertura con respecto a la convencional, para lograr el 90% del máximo rendimiento al primer corte (máx. implantación), con lo que determinaron que el método convencional es más eficiente en la utilización del P agregado. También determinaron en promedio de los métodos que el nivel de fósforo en el suelo que permitió la máxima implantación de la leguminosa fue de 14 ppm (R.I.C. al año).

Leites y Porcile (1983) trabajando en suelos arenosos sobre Tacuarembó y Algorta, con praderas convencionales puras de: T. blanco, T. rojo y Lotus, encontraron que para el Lotus no hubieron efectos claros de la fertilización fosfatada inicial en la implantación. Los autores establecieron que el efecto del fósforo en la producción de materia seca fue no significativo porque los niveles iniciales de P en el suelo eran suficientemente altos (13 y 18 ppm Bray 1).

III.2.3. RESPUESTA A LA REFERTILIZACION.

Chilibroste y otros (1982), trabajando con leguminosas puras: Trébol blanco, Trébol rojo y Lotus sembradas convencionalmente; y a distintas dosis de P; encontraron respuestas físicas a la refertilización en cobertura solo en Trébol blanco y Trébol rojo, concluyendo que el Lotus es la especie menos exigente ya que no presentó respuesta; cabe acotar que el nivel inicial de P del suelo fue de 13 ppm.

Caorsi et al. (1989), estudiando el efecto de la fertilización fosfatada entre otros, reportaron que la refertilización en cobertura fue altamente significativa en la producción de materia seca acumulada durante 3 años, en una pastura convencional de Trébol blanco, Lotus y Ray grass. Estos autores trabajaron sobre un Acrisol ócrico con una disponibilidad inicial de P de 5 ppm (Bray 1).

Alzugaray, Becoña y Rebollo (1984), evaluando el fósforo residual de la fertilización inicial y la respuesta a la refertilización en una pradera convencional de leguminosas puras sobre un suelo ácido de la cuenca lechera sur; establecieron que hubo una gran respuesta residual a las aplicaciones iniciales de P en Trébol blanco, Trébol rojo y Lotus. En cuanto a la respuesta a la refertilización, fueron claras en T. blanco y T. rojo para todas las dosis iniciales; en Lotus sin embargo la respuesta fue más clara, a las dosis menores, lo que confirma nuevamente los menores requerimientos de ésta especie.

Boix y otros (1984), reportaron que el Lotus sembrado en forma convencional no respondió significativamente a la refertilización en cobertura con P, en un Luvisol ócrico sobre Tacuarembó, como tampoco en un Planosol dístrico sobre Algorta, siendo el nivel de P en los mismos de 13 y 18 ppm respectivamente.

Ciappesioni y Etcheverri (1989) trabajando con una pradera convencional de T. rojo, Raigrás y Centeno en suelos arenosos ácidos de las zonas: Quebracho en Paysandú y Cuchilla del Ombú en Tacuarembó (pH- 5.1 y 4.8, 9 y 10 ppm de P), en su segundo año, estudiaron entre otros el efecto de una refertilización con 25 Kg/há de P, la cual fue altamente significativa en todos los cortes, y en ambos sitios. La mayor respuesta se dió en el corte de invierno en los dos sitios, siendo el incremento respecto al testigo de 30 y 73 % respectivamente.

Aliall y Duque (1986), trabajaron en un Vertisol rúptico de la unidad Tala-Rodríguez (5 ppm de P Bray 1), estudiando el efecto de la refertilización anual en co bertura de tres fuentes de P (superfosfato común, superfos e hiperfosfato) y diferentes dosis durante cuatro años de una pradera convencional de Lotus, T. Blanco y Raigrás. Observaron diferencias significativas a favor de las parcelas refertilizadas, en términos de producción de M.S, % de P foliar y Kg de P absorbido. El incremento más importante en la respuesta a la refertilización se dió hasta la dosis 20 Kg por Há de P. La fuente que mostró mayor respuesta fue el superfosfato.

III.2.4. EVOLUCION DE LA DISPONIBILIDAD DE FOSFORO EN EL TIEMPO

La evolución de P disponible en los años subsiguientes a su aplicación depende fundamentalmente de la cantidad de éste que toma parte en lentas reacciones con el suelo. Estas reacciones son las determinantes de la habilidad del suelo de fijar el P y por lo tanto también de la reducción de la efectividad del P aplicado. El P disponible por largos períodos de tiempo parece depender de las proporciones relativas del P fijado a formas de Al, Fe y Ca; y de las reacciones de conversión Al-P, Fe-P y Ca-P. Como las reacciones dependen del grado de contacto del fertilizante con el suelo, la fertilización en cobertura se ve favorecida frente a la incorporación.

En las coberturas, según Wells y Parks (1961) cit. por Alzugaray et al. (1984), la mayor parte del P asimilable se encuentra en los 2,5 cm superiores siendo levemente menor entre 2,5 y 7,5 cm; llegándose prácticamente a los niveles originales del suelo por debajo de ese nivel.

Gillingham et al. (1990), aplicaron anualmente dosis de 10, 20, 30, 50 y 100 Kg/há de P, durante 4 años ; cada tratamiento tenía 4 repeticiones, después de los 4 años a 2 de las mismas no se las fertilizó en los siguientes 4 años, mientras que las otras 2 se siguieron tratando igual. La diferencia en producción de materia seca entre los tratamientos en los que se suspendió la aplicación y los que se continuaron fertilizando, aumentó al aumentar la dosis. Para la dosis P1 la diferencia fue de un 3 % y para la P5 fue de un 10 %. En cuanto al P en el suelo, entre las dosis de 0 a 30, no se encontraron diferencias entre fertilizado los 8 años o 4, lo que indicó que todo el fósforo agregado, fue utilizado por la pastura para su crecimiento o retenido a formas no disponibles, mientras que para las dosis entre 50 a 100 se observaron diferencias aumentando la cantidad de P en el suelo, por lo que se determinó que esas dosis de P agregadas estaban en exceso, y al no ser utilizado por la pastura el P se acumulaba en el suelo.

Bolland et al. (1987), establecen que para la roca fosfatada los valores residuales a los 8 años son bajos y constantes. La eficiencia del superfosfato, bajó 40 % en el primer año, 15 % en el segundo y 30 % en los siguientes 6 años. El valor residual de la fosforita fue entre 5 y 30 %.

Bolland y Bowden (1982), estudiando la disponibilidad de P en el largo plazo, reportan que el P soluble del fertilizante reacciona con el suelo y va siendo incorporado a formas menos disponibles; por lo que la eficiencia del Superfosfato va disminuyendo con el tiempo. Sin embargo por el rendimiento de forraje observado, al comparar una fertilización inicial con fertilizaciones anuales, reportaron que la eficiencia disminuye el primer año y luego cambia poco con el tiempo.

Rajan y Gillingham (1986), trabajaron en un experimento de largo plazo, estudiaron la disponibilidad de P de dos fuentes insolubles y de superfosfato usando distintas dosis; en un suelo de PH = 5,4 y 7,5 ppm de P (Olsen). Observaron que el tipo de fuente no tuvo efecto significativo en la producción de la pastura, tampoco existió interacción fuente - dosis. Todas las fuentes tuvieron el mismo efecto residual al año luego de finalizada la fertilización; al segundo año, aún existían diferencias en la cantidad de P en el suelo de las parcelas tratadas con respecto al control. Los autores indican, que las rocas fosfatadas tienen un considerable efecto residual como para mantener el suministro de P a dos años de la aplicación.

III.2.5. VARIACION EN LA DISPONIBILIDAD DE P SEGUN LA FUENTE.

Los fertilizantes fosfatados utilizados en el país básicamente son de dos tipos:

Solubles: Superfosfatos, obtenidos a partir de rocas fosfóricas molidas tratadas con ácidos.

- Insolubles: Fosforitas molidas, obtenidas de la molienda de rocas fosfóricas, generalmente de origen sedimentario.

Las variaciones en disponibilidad de fósforo luego de agregada al suelo cada fuente, ha sido tradicionalmente motivo de múltiples estudios tanto a nivel nacional como en el extranjero.

Yeates y Allen (1987), trabajando en un suelo ácido franco arcilloso, reportan que ninguna de las Apatitas estudiadas fue tan eficiente como el Superfosfato cuando se aplicaron en cobertura; determinaron que esa baja eficiencia se asocia al más alto PH que se da cerca de la superficie del suelo.

Bolland, Gilkes y D'Antuono (1988), en una revisión del efecto de las rocas fosfatadas en la agricultura australiana, reportan que solo en circunstancias excepcionales las mismas son tan eficientes como el superfosfato. Cuando compararon la eficiencia relativa (de la roca respecto al Superfosfato) encontrada en los diferentes ensayos, segun la cantidad de niveles de P de los experimentos y según las respuestas de los suelos al P agregado; obtuvieron valores menores a 0,4 tanto en ensayos de campo como maceteros.

Entre los factores que influyen en la eficiencia relativa, citan:

PH. Los valores de eficiencia de las fuentes insolubles varían sistemáticamente, aumentando a medida que disminuye el PH.

- Si otros nutrientes limitan el crecimiento, la eficiencia relativa puede ser mal estimada.

- Pérdidas de P por lavado. A veces la mayor eficiencia de

la fosforita se debe a que es usada en suelos altamente arenosos con una muy baja capacidad de retención de P, donde el superfosfato es perdido por lavado a causa de las precipitaciones, cosa que no le pasa a la roca fosfatada.

Las diferencias esenciales entre el superfosfato y la roca fosfatada reportadas por los autores son las siguientes:

- Una proporción mucho mayor de P es liberada del SF, cerca del 80 % ; la RF libera generalmente entre 5 y 50 %.

- La concentración de P de la solución es mucho mayor para el SF, y solo baja a los niveles de PO4 en solución logrados con la roca luego de varias semanas.

- La continua disolución de la roca fosfatada puede servir, pero la cantidad es siempre relativamente pequeña.

Según los autores éstas diferencias hacen que el superfosfato sea mejor fertilizante que la roca fosfatada.

Como conclusión establecen, que en las condiciones de la agricultura australiana, la eficiencia de la roca fosfatada es marcadamente inferior al superfosfato soluble y que por lo tanto los fertilizantes de roca no son sustitutos económicos de los solubles en agua.

Salvo en suelos ácidos de PH menor a 5,0 , muy arenosos y con precipitaciones anuales mayores a 800 mm (Yeates 1986, Wrigth 1975, cit. por los mismos autores); en los cuales si sería eficiente el uso de rocas fosfatadas en pasturas permanentes de gramíneas y leguminosas.

Marwaha y Sood (1990) concluyeron que los suelos ricos en Al o con alto nivel de acidez intercambiable, pueden ser más aptos para el uso de roca fosfatada o roca fosfatada parcialmente acidificada.

Bolland y Gilkes (1989), comparando roca fosfatada de North Carolina con superfosfato, establecieron que tanto en el año de aplicación como a los 2 años la roca fue de un 5 a 30 % tan efectiva como el superfosfato. En todos los experimentos las curvas de eficiencia interna (relación entre rendimiento y concentración de P de la planta) fueron similares para ambos fertilizantes, por lo que concluyeron que la baja eficiencia de la roca fosfatada es debida a una menor extracción de P y no a un mal uso inter-

no en la planta de éste.

Sinclair et al.(1990), compararon roca fosfatada con supertriple en varios tipos de suelos, durante 6 años, con aplicaciones anuales a 4 dosis. Observaron que la performance relativa del supertriple y de la fosforita varió marcadamente entre los diferentes sitios, suelos con alta capacidad de retención de P, o suelos con baja humedad y alto PH, desfavorecen la performance de la roca fosfatada.

Concluyeron, primero, que la roca fosfatada es relativamente inefectiva como fertilizante fosfatado, comparado con el supertriple, en el primer año luego de la aplicación; y segundo, que después de varios años de aplicaciones regulares, la roca fosfatada puede volverse tan efectiva como el supertriple en situaciones favorables.

También observaron que la fosforita provocó incrementos sustanciales en la concentración de Mo en los tréboles, lo que puede haber contribuído a su buena performance al sexto año de aplicaciones sucesivas, que se dió en casi todos los sitios.

Alston y Chen (1974), reportan que la disponibilidad de P varía con la fuente, el tamaño de partícula y la profundidad de mezclado. Trabajando en un suelo arenoso ácido con bajo contenido de P, observaron que la profundidad de mezcla del fosfato monocálcico no afectó el rendimiento de materia seca ni el contenido de fósforo de las plantas, pero con la roca fosfatada ambas características aumentaban, al aumentar la profundidad de mezcla, y al disminuir el tamaño de partícula. Comparando el peso y la distribución de raíces en los 10 cm superficiales del suelo, el P tuvo un efecto positivo cuando se incorporó el fertilizante, por lo que podría esperarse una mayor accesibilidad tanto al P agregado como nativo.

En este tipo de suelos es importante el efecto en el rendimiento y en la extracción de P que tiene el P residual de la roca fosfatada. A los dos meses de aplicación del superfosfato, el P había desaparacido de los 10 cm superiores, por lo que se pone en evidencia que la diferencia entre las fuentes decrece con el tiempo, a los dos años de la aplicación se iguala el control con los tratamientos de 22 y 66 Kg/há de P.

Por su parte Bolland (1987), estudió la eficiencia del superfosfato y de la roca fosfatada en términos de Kg de

M.S producida por Kg de P aplicado, en cobertura o incorporados, en dos suelos arenosos deficientes en P: uno ubicado en Fleming de alta capacidad fijadora y otro ubicado en Gibson con baja capacidad de fijación, en Australia, durante 1 año. Observó que el rendimiento y la concentración de P del Trébol subterráneo aumentaban al aumentar la dosis, siendo la relación entre rendimiento y concentración de P (en la planta) independiente del tipo de fertilizante y del método de aplicación. Cuando el superfosfato se incorporó, su eficiencia disminuyó 20 % en Fleming y no varió en Gibson; y cuando se incorporó la roca, mejoró su eficiencia 2 veces en el primer sitio y 1,5 en el segundo respecto a su aplicación en cobertura. Comparando las fuentes determinó que la eficiencia relativa de la roca fue de 15 - 20 % cuando se la aplicó en cobertura y un 30 % cuando fue incorporada, para los suelos de Fleming; siendo los datos para Gibson de 25 y 40 % respectivamente. La diferente capacidad de fijación de los suelos puede explicar estos resultados, al mezclar el P en Fleming se lo expuso a una mayor fijación, lo que pudo provocar la caída de la eficiencia. Incorporando la roca fosfatada al suelo se mejora la eficiencia posiblemente debido a una mejor disolución del fertilizante, dada porque la humedad en el suelo se mantiene por un mayor período de tiempo y por un mejor contacto del fertilizante al ser mezclado. La eficiencia al incorporarse el fertilizante aumenta al doble, pero aún así es muy bajo respecto al superfosfato lo que soporta la hipótesis de que la roca no es un buen sustituto del superfosfato en estos suelos.

Cabe mencionar lo reportado por Gregg et al. (1988), que comparando 2 rocas fosfatadas de diferente orígen entre sí y a su vez con una dosis stándard de superfosfato en un experimento de 3 años; encontraron diferencias en el efecto residual entre los dos tipos de roca fosfatada utilizadas, una estimuló más el crecimiento de la leguminosa al segundo año que la otra. En base a lo cual advierten sobre el peligro de la generalización respecto a la residualidad de las rocas fosfatadas.

A nivel nacional Cerveñansky y Da Rosa (1983), evaluaron fuentes de P en pasturas convencionales sobre un suelo ácido de la cuenca lechera sur. Estudiando la respuesta en materia seca y P absorbido, no encontraron diferencias significativas entre las fuentes; la escasa diferencia entre las fuentes se debió al alto poder de fijación del suelo, lo cual incidió fundamentalmente en las fuentes más solubles; por otro lado la fosforita se ve favorecida por

un bajo PH en el suelo. En los tratamientos que incorporaron cal con excéntrica en la instalación, concluyeron que la pastura absorbió el doble de P que en las no tratadas independientemente de la fuente.

Skafar y Stirling (1983), evaluaron fuentes de P para un cultivo de avena-raigrás en un Planosol (PH 4.4) ubicado sobre la unidad Angostura y en otro ubicado sobre San Ramón (PH 5.2). En ninguno de los sitios existió diferencia entre las fuentes; cabe acotar que la respuesta a la fertilización fue de escasa magnitud, debido a que los niveles iniciales de P prácticamente cubrieron las necesidades del cultivo, lo cual no permite extraer conclusiones acerca de las diferencias entre fuentes.

Aliall y Duque (1985), estudiaron entre otros, el efecto de la fuente de P en una pastura convencional establecida en un Vertisol sobre la unidad Tala-Rodríguez. El PH del suelo fue de 5,5 . Los autores no encontraron diferencias significativas entre las fuentes en la producción de materia seca ni en el P absorbido por la pastura.

III.3. AGREGADO DE CAL EN COBERTURA.

III.3.1. EFECTOS.

III.3.1.1. Generalidades

Según Munson (1982), cit. por Scheid (1986), los efectos del encalado son:

- Incremento del PH, de la concentración de Ca y Mg dependiendo del material usado.

- Disminución de la toxicidad de Fe, Al y Mn.

- Incremento del Mo, la actividad microbiana y la liberación de nutrientes de la materia orgánica.

- Mejora el medio ambiente del suelo para la fijación simbiótica.

- Al incrementar el PH se incrementa la C.I.C.

- Induce (dependiendo de la dosis), lavado de Ca y Mg

disminuyendo la toxicidad de Fe, Al y Mn, por debajo de la capa de incorporación.

Mc Intosh et al. (1984), establecen que cuando se encaló en cobertura, el Fe, Mn y Al disminuyeron en la capa superficial del suelo (2.5 cm); mientras que el Azufre no mostró diferencias en los primeros 2 años, pero mostró incrementos significativos en el tercer año en los 50 sitios que estudiaron. Al estudiar el efecto de la cal en el P en 60 casos, reportan que en 3 de los mismos disminuía, en 3 aumentó significativamente y en los restantes 54 no se encontraron diferencias.

Haynes y Ludecke (1981), establecen que la cal tiene efectos importantes en el crecimiento radicular, ya que elimina la toxicidad del Al. El efecto más notorio fue en la finura de las raíces (largo por unidad de peso), aunque también se observó aumento de la C.I.C., y de la nodulación, así como el contenido de N en la planta.

III.3.1.2. Efecto en la relación rizobium-leguminosa

Evans et al. (1990), estudiando el efecto del PH en la nodulación de varias leguminosas, encontraron un efecto beneficioso del encalado en el número de nódulos formados, especificaron que se pudo haber debido a un aumento del PH, a un aumento en la absorción de Ca, o a ambos.

Richardson et al. (1987), indican que la incorporación de cal a la siembra, mejoró significativamente la nodulación, logró una mejor distribución de nódulos en el perfil y un mayor número de nódulos en profundidad; en cambio la aplicación en cobertura no difirió significativamente del testigo. El mejoramiento en la nodulación se produjo durante toda la estación de crecimiento, cuando se agregó la cal en cobertura sólo se mejoró la nodulación temprana, ya que cuando avanza la estación de crecimiento, las raíces empiezan a crecer fuera de la zona de influencia de la cal donde la nodulación se ve limitada. Uno de los inconvenientes de que los nódulos se desarrollen en la parte superior del suelo, es que su actividad se puede restringir por cortos períodos de sequía.

Finalmente los autores reportan que la adición de yeso no tuvo efectos tan marcados, por lo que concluyen que la mejora sería debida tanto a un efecto del PH como del Ca.

III.3.1.3. Efectos en la disponibilidad de nutrientes

Curtin y Smillie (1985), establecen que la adición de $CaCO_3$ aumenta la disponibilidad de Ca y disminuye la disponibilidad de Mg, K, Na, Si y Mn.

La disminución del K, Mg y Na probablemente derivan del efecto del incremento en la adsorción asociado a la mayor C.I.C.. Incrementos en la adsorción por los constituyentes del suelo probablemente cuentan para la reducción del Si soluble; mientras que la precipitación del Mn como óxido de Mn es la más probable explicación de su decrecimiento. Con respecto al Aluminio, sus formas ligadas a la materia orgánica aumentan, pasando ésta a ser un alto % del Al total (de un 2-13 % pasa a un 65-95 %).

Myers et al. (1988), estudiaron la reducción en el Mg intercambiable con el encalado, y encontraron una alta correlación (0,70) entre el Al extractable (KCl 1M) y el Mg fijado. Sostienen la hipótesis de que el Mg es fijado debido a la formación de polímeros de Al amorfos luego del encalado, los cuales presentan cargas superficiales negativas, a las cuales se fija el Mg. Grove y Syers (1981) cit. por Da Gama (1987), sostienen también esta misma hipótesis.

Coleman et al.(1958), cit. por Edmeades (1982), reportan que el encalado generalmente disminuyó el contenido de Mg en la planta, tanto por una disminución del Mg del suelo, como por un incremento en la relación Ca:Mg, deprimiendo éstos cambios la extracción de Mg por la planta.

Da Gama (1987), trabajando en suelos ácidos sobre granito, encontró que el encalado aumenta la liberación de K no intercambiable y que además indujo el lavado de S debido a su liberación de formas absorbidas al cambiar las cargas características, así como también por la mineralización del S orgánico.

Wooldridge (1990), reporta que en suelos sobre granito caracterizados por el alto nivel de liberación de K, el encalado tuvo un efecto muy limitado en la misma.

Barrow (1965), comprobó que la descomposición de la materia orgánica aumenta al aumentar el PH y en consecuencia habría un incremento en la mineralización de N y S.

Quin et al. (1984) cit. por Perrot y Mansell (1989), observaron que en un ensayo en el cual se había acumulado P orgánico durante 15 años, luego del encalado comienza a disminuír, éste aporte del P por el suelo ocurre solo cuando el PH es lo suficientemente bajo como para evitar la formación de CaPO4 insoluble.

Williams y Steidergs (1964) cit. por Barrow (1965), sugieren que el encalado además puede liberar S por otros 2 mecanismos: liberación de CaSO4 coprecipitado en la cal y la liberación del S adsorbido en el suelo tal como lo reportó Da Gama.

Haynes y Ludecke (1981), notaron que la adición de cal disminuye los niveles de P disponible y soluble, lo cual fue acompañado por una disminución en el P ligado al Fe. También notaron un incremento claro en la fracción Al ligado al P (Al-P) explicándolo debido a la formación de especies insolubles de Al-OH con superficies de adsorción altamente activas.

Bordoli y Casella (1983), trabajando en un planosol dístrico de PH 5.1 y 14 ppm (Bray 1) de P, observaron que el encalado no afectó el P disponible, pero sí aumentó el PH. Observaron un bajo efecto beneficioso del encalado, y lo atribuyeron a que en el suelo no existía Al intercambiable y al alto nivel de P disponible inicial.

III.3.1.4. Reacción del material con el suelo

a) Mecanismo y productos de la neutralización

Grant y Hardgrove (1984), reportan que el mecanismo es complejo y las reacciones finales no son conocidas exactamente. Establecen que luego del encalado el CaCO3 se hidroliza y se disuelve de la siguiente forma:

$$CaCO_3 + H_2O = Ca + HCO_3 + OH$$

Los OH reaccionan, con los H liberados a partir de la hidrólisis del Al, y con el Al intercambiable.

La ecuación general puede escribirse como:

$$2\ Al\text{-suelo} + 3\ CaCO_3 + H_2O = 3\ Ca\text{-suelo} + 2\ Al(OH)_3 + 3\ CO_2$$

Esta reacción es posible a PH=8,3 , pero como el encalado raramente llega a un PH mayor a 6,5 , mucho del Ca se ha hecho intercambiable y la acidéz del suelo ha sido neutralizada pero parte de la roca permanece no reactiva.

Der Worfuinge y Suerdrup (1989), establecen que el modelo de disolución de la roca incluye 4 reacciones encadenadas:

- Disolución de la calcita en medio acuoso,
- Intercambio catiónico,
- Lixiviación y acumulación de los componentes disueltos, y
- Equilibrio del sistema H2O-CO2.

Por cada mol de CaCO3 disuelto hay dos moles de capacidad neutralizadora y un mol de Ca.

Uno de los primeros modelos propuestos fue de Plumber (1978) cit. por los autores, establece que 3 reacciones elementales pueden ocurrir en paralelo:

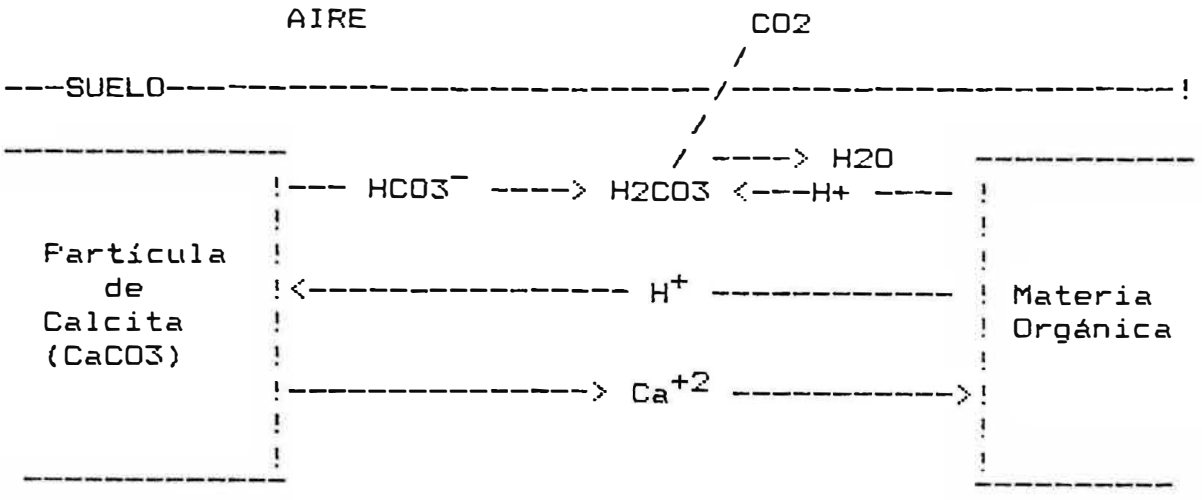
$$CaCO_3 + H = Ca + HCO_3$$
$$CaCO_3 + H_2O = Ca + HCO_3 + OH$$
$$CaCO_3 + CO_2 + H_2O = Ca + 2HCO_3$$

El calcio liberado podría participar en reacciones de intercambio catiónico, en un suelo ácido una importante reacción de intercambio envuelve al H, y se escribe:

$$2\ R\text{-}H + Ca = 2\ R\text{-}Ca + 2H$$

La reacción de intercambio puede actuar como fuente para la capacidad neutralizadora ácida de la disolución de la calcita.

Un modelo conceptual de las interacciones entre la calcita no disuelta, la fase de intercambio catiónico y la solución es el siguiente:



Barber (1984) señala que el material una vez en contacto con el suelo, inmediatamente comienza a disolverse, el CaCO3 disuelto reacciona con los iones H del suelo para dar Ca+2, Ca(HCO3)2 y H2CO3. Este último se equilibra con H2O y CO2, y el exceso de CO2 se pierde por volatilización. Luego la reacción se aproxima a su terminación y el Al e H intercambiables son reemplazados por el calcio. La neutralización de los H cerca de la superficie de las partículas de cal causa un incremento de la concentración de Ca en ese punto. Asi se establece un gradiente de concentración de Ca que causa su difusión para afuera de la superficie.

El Ca sería acompañado por aniones como HCO3, o al contrario la difusión del H y del Al ocurriría con la partícula para mantener el balance de cargas. La disolución de las partículas sería afectada por la tasa de disolución de ésta, la cual es altamente sensible al PH, y por la tasa de difusión del Ca hacia fuera de la superficie de la partícula.

Cuanto mayor es la dosis, más finamente granulada y más uniformemente mezclada es la roca con el suelo, hay más partículas por unidad de volumen, menos distancia entre ellas y por lo tanto se produce una más rápida neutralización.

El Ca puede difundir 0.35 cm en 100 días, 0.78 en 500 días en solución; o también puede ser removido y transportado por el agua; pero el Ca en solución es solo el 0.5 % del Ca intercambiable y soluble. Además existen evidencias experimentales (Longnecker y Sprague 1940 cit. por Barber 1984) que indican que el Ca aplicado no se mueve tan rápi-

damente como podría si el movimiento se diera principalmente por flujo masal.

La tasa de disolución depende de la temperatura, Shaw (1960) cit. por Barber (1984) observó que a 10 grados centígrados era más lenta que a 30, así como también vieron que en invierno es más lento que en verano.

También varió con la concentración de H+, a mayor concentración mayor velocidad, fue mayor en un suelo ácido turboso que en uno arenoso franco.

b) Tasa de reacción del material con el suelo.

Grant y Hardgrove (1984), determinaron que la tasa de reacción del material con el suelo depende de:

- Fuente del material, la eficiencia del material depende de su equivalente $CaCO_3$, que es la cantidad de $CaCO_3$ puro requerido para igualar la reactividad de 100 gr del material.

- Solubilidad del material, la tasa de neutralización depende de la tasa de disolución de los OH, la calcita en general es más soluble que la dolomita.

- Tasa de remoción de los iones OH-, la tasa de hidrólisis del $CaCO_3$ está relacionada directamente a la tasa a la cual se remueven los OH- de la solución, cuanto mayor concentración de H+ en la solución, mayor concentración de Ca+2 y HCO_3- habrá en la solución.

- Tasa de hidrólisis del Al y Fe, en suelos ácidos la concentración de H en solución es función de la tasa de hidrólisis del Al, hidróxi-Al o hidróxi-Fe, lo cual aparentemente es incrementado por las sales por lo que la disolución del $CaCO_3$ podría tener un efecto similar. Inversamente la fuerte retención de los compuestos inmediatos por ejemplo $(Al(OH_2)+)n$ reduce la hidrólisis por lo que la reacción de neutralización requiere mucho más tiempo para completarse.

- Presión parcial de CO_2, influye en la solubilidad del $CaCO_3$, la cual puede sufrir grandes variaciones debido a la actividad microbiana.

- Tamaño de partícula, el mínimo requerido para la óptima

disolución es malla 50-60.

- Mezcla con el suelo, las tasas de neutralización generalmente se incrementan con la incorporación y mezcla del material.

- Factores ambientales, la temperatura y la humedad afectan la disolución del CaCO3 y por lo tanto la tasa de neutralización. Cantidades grandes de H2O se necesitan para mover el Ca y el CO3-2 hacia abajo del perfil.

III.3.1.5. Efecto en el PH y evolución de la acidez

Se debe tener presente, que ni el PH, ni la concentración de Al en solución, ni el Al extractable, se distribuyen uniformemente con la profundidad; las capas de suelo subsuperficiales bajo pasturas perennes son más ácidas y con más Al que las más superficiales.

During (1961), establece que en suelos con alta acidez, los efectos de la aplicación de cal en cobertura, pueden permanecer por varios años en la capa más superficial del suelo, siendo la penetración mínima a bajas dosis aplicadas. Dice que pequeñas dosis (730-1200 Kg/Há) pueden aumentar el PH en 0.2 o 0.3 unidades, pero solo en los 1.5 cm superiores, lo que en algunos suelos puede ser suficiente para obtener una clara respuesta en crecimiento. Reporta que con dosis altas de cal el movimiento del Ca puede ser extremadamente lento en el perfil por lo que dosis medias pueden ser tan buenas como las altas.

Mc Intosh et al. (1984), al agregar 4 tt/há de cal en un suelo ácido de PH 4.4, reportan que el aumento del PH fue altamente significativo, siendo el incremento promedio de 0.15 unidades de PH por tt de cal.

Rajam y Gillingham (1986), encalaron en cobertura un suelo moderadamente ácido (PH=5.4 de 0-7.5 cm sup.) con 2.7 tt de cal y observaron que al primer año el PH aumentó a 5.8, al segundo año el PH fue 5.6 y al tercero el PH volvió a su valor original. En los 3 cm superiores el PH fue modificado más fuertemente siendo de 6 al primer año y de 5.6 al tercero.

Edwards y Beagle (1986),establecen que la aplicación de cal en cobertura previno la formación de un techo ácido en la superficie del suelo. Estudiaron la evolución del PH

en la profundidad de 0-5 cm, en un suelo cuyo valor inicial a esa profundidad fue 4.5 . Los resultados del experimento se presentan en el siguiente cuadro:

Dosis cal	0	3.36	6.72	10 (tt/há)
PH 60 días	4.5	5.6	5.8	6.0
PH 19 meses	4.5	6.0	6.4	6.6

Reportan que el PH no fue afectado por debajo de los 5 cm superiores luego de 19 meses.

Rowe (1981), reporta que la aplicación al voleo de cal incrementa el PH en los 7.5 cm superiores en 0.1 unidades por tonelada de cal, para dosis de hasta 15 tt de cal.

Hoyt y Drougt (1989), aplicaron cal en cobertura e integrada a 25 cm, en un brunosol dístrico. Luego de 1 año la aplicación en cobertura no afectó el PH (0-5 cm); pero cuando fue incorporado la mayoría de los tratamientos resultaron en incrementos significativos del PH. Sin embargo 4 años más tarde en la mayoría de los tratamientos en cobertura el PH aumentó, no ocurriendo lo mismo en las incorporaciones, donde luego del primer año los PH tendieron a disminuír.

Rechclilg et al. (1985), reportan que la aplicación de cal en superficie aumentó el PH en los 2.5 cm superiores y redujo la concentración de Al intercambiable a niveles no tóxicos para las plantas.

Edmeades et al. (1981), observaron que al aplicar 1250 Kg/Há de cal en cobertura el PH aumentó 0.2 unidades en los 2.5 cm superiores del suelo. Establecen al igual que otros autores, la posibilidad de reducir los niveles de Al aunque los cambios en el PH sean de poca magnitud, siempre que se trabaje en un rango de PH entre 5,0 y 5,5 .

Bromfield y otros (1987), estudiaron el efecto a largo plazo en el PH de una aplicación de cal en cobertura o incorporada a 10 cm, en suelos desarrollados sobre granito. Cuando luego de 13 años compararon los PH, las parcelas con cal tuvieron perfiles considerablemente menos ácidos; en aquellos sitios donde se incorporó la cal a 10 cm, la diferencia entre las parcelas con y sin cal fue de 0.8 unidades de PH en esos 10 cm y de 0.3 unidades en el intervalo de 15 a 20 cm. Cuando se aplicó en cobertura mantuvo

un PH alto en superficie (0 - 5 cm) y el aumento en la profundidad de 15 a 20 cm fue de 0.22 unidades.

En otro ensayo sobre suelos graníticos, determinaron que al incorporar 3.5 tt/há de cal a 10 cm, el PH por debajo de la capa de incorporación aumentó 0.2 unidades hasta una profundidad de 20 cm luego de 6 años.

Cuando el mismo ensayo se realizó en cobertura, el PH aumentó significativamente luego de 6 años , las diferencias entre los 2 cm superiores y la capa de 8 a 10 cm fueron de 0.65 , 1,0 y 1,3 unidades de PH según la dosis de cal (0 ; 1.7 y 3.5 tt/Há).

Los autores establecen que en todos los casos hubo un efecto a largo plazo de la cal en el PH del suelo. En los suelos más ácidos, luego de 13 años el PH de 0 a 5 cm fue 0.37 y 0.7 unidades mayor que el testigo según se aplicara 3.3 ó 5.5 tt/Há. El encalado en cobertura produjo el mayor aumento en superficie, pero también afectó las capas subsuperficiales llegando a modificar la acidez hasta los 15 cm en algunos tratamientos.

Según lo establecido, parece posible aumentar el PH en profundidad (10 a 15 cm) por lo menos 0.2 unidades luego de 6 años en las texturas livianas; si bien este aumento parece pequeño puede disminuír el Al intercambiable y por lo tanto aumentar el volumen de suelo no tóxico para la penetración y exploración radicular.

Por último reportan que comparando los perfiles de PH luego de 6 años, observaron que 3.5 tt/Há de cal en cobertura aumentaron el PH a 10 cm en una mayor extensión que 1.7 ton. incorporadas en esos 10 cm.

En conclusión, la cobertura dió un mayor valor superficial de PH, originó un gradiente importante en profundidad y presumiblemente tuvo un mayor valor residual. Un riesgo a tener en cuenta al aplicar dosis excesivas en superficie, es la inducción de déficits de nutrientes.

Conyers y Scott (1989) en un experimento similar, estudiaron el efecto de la incorporación de cal a 8 cm, en la acidez subsuperficial 5 años más tarde. Comprobaron que los cambios fueron pequeños, aumentó el PH hasta una profundidad de 2 a 4 cm por debajo de la superficie de incorporación y el movimiento del Ca llegó a los 8 cm. Concluyen que dosis realistas como 2000 Kg/Há de cal tienen un efecto muy

pequeño en la acidez subsuperficial en el corto plazo.

Mc Laughlin y James (1991), estudiaron por qué al fertilizar con P en superficie a una pastura de T. Subterráneo, se mejora la penetración radicular en la capa subsuperficial más ácida; si eso se debe a una traslocación de P entre las raíces superficiales y profundas, o a una modificación en la química del suelo subsuperficial. Encontraron que donde la concentración del Al en profundidad fue muy alta, el P agregado en superficie no pudo contrarrestar su efecto negativo. No obstante, donde la concentración del Al fue moderada a baja (< 75 uM), el crecimiento radicular en la zona ácida fue mejorado al incrementarse la dosis superficial de P aplicado solo o con cal; sin embargo no se observó respuesta al agregar solo cal en superficie.

Establecieron que no existió una interacción directa P-Al, concluyendo que la respuesta se debió a una mejora en el vigor de las plantas.

Estos mismos autores también encontraron un efecto negativo en el crecimiento radicular, en suelos poco lixiviados, del yeso que contiene el superfosfato; es un aumento en la actividad del Al, disminución del PH y un aumento en la conductibilidad eléctrica, de las capas más profundas del suelo. Mencionan que éste efecto (también provocado por otras sales solubles como KCl o K2S[illegible]4) no se debe considerar como un aumento en la acidez total del suelo sino que a una mera redistribución de la acidez entre la fase sólida y la solución, y a su vez dentro del perfil del suelo, un desplazamiento del Al a estratos inferiores y un aumento de la saturación con los cationes intercambiables (Ca, K) en la capa superior del suelo. En suelos muy lixiviados no se observó este efecto salino. Los autores concluyen, que en los suelos de alta acidez en las capas subsuperficiales, bajos en P y ubicados en zonas con pocas lluvias anuales, es conveniente fertilizar las pasturas Al-sensibles con superfosfato doble o triple para reducir un muy probable efecto sal en el crecimiento radicular.

A nivel nacional, De León (1992) en su trabajo de tesis reporta que al aplicar 1500 Kg de cal en cobertura el PH (de 0 - 2.5 cm) aumentó 0.2 unidades a los siete meses y 0.5 luego de un año con respecto al testigo.

III.3.1.6. Efecto en las propiedades químicas

Edmeades (1982), estudió el efecto de cuatro niveles de cal (0 ; 1250 ; 2500 y 5000 Kg/Há) en la CIC efectiva y los cationes de intercambio, en varios suelos de Nueva Zelanda.

Luego de 3 años determinó que para una profundidad de 0 a 7,5 cm la CIC efectiva (CIC determinada por AcNH4 + CIC determinada por KCl 1 M) aumentó al aumentar el PH en todos los sitios estudiados. Este efecto es causado por la deprotonación de los sitios de cargas dependientes del PH, los nuevos sitios creados son ocupados por el Ca que es el catión predominante en la roca usada.

Cuando las dosis aplicadas fueron altas, el Mg y el K disminuyeron debido a que el Ca en exceso los desplazó y probablemente fueron lavados.

El autor establece que la CIC efectiva es uno de los factores que controla el movimiento de cationes a través del perfil y por lo tanto grandes incrementos en ella sugieren un gran potencial para retener cationes, generalmente el retenido es el Ca ya que se aplica en grandes cantidades.

Edmeades et al. (1981) establecen que al aplicar 7.5 tt/Há de cal la CIC aumentó tanto como el PH y en consecuencia se incrementó la capacidad del suelo de retener cationes básicos (Ca, Mg, K y Na).

Kamprath (1970, cit. por Collares 1983) determinó que el encalado de un suelo ácido aumenta la CIC efectiva a través de dos mecanismos básicos, en primer lugar desplaza y precipita el Al y en segundo término al aumentar el PH se crea un mayor número de sitios activos para el intercambio.

Colleman y Thomas (1967) cit. por el mismo,determinan que el encalado reduce la CIC efectiva hasta alcanzar un PH de 5.5 para luego incrementarla a PH mayores.

Haynes y Ludecke (1981), reportan también disminución en la CIC cuando trabajaron con un suelo de PH 4.2, establecen que la precipitación del Al intercambiable como hidróxidos luego del encalado sea probablemente el factor responsable de la disminución en la CIC, ya que los polímeros formados son fuertemente retenidos en superficies e intercapa de arcillas reduciendo de esa forma la CIC.

En relación a lo anterior, Grant y Hardgrove (1984) establecen que los compuestos que aumentan la acidez en suelos parcialmente neutralizados, son hidroxicompuestos de Fe y Al; y grupos no ionizados de arcilla y materia orgánica. En suelos minerales los más importantes son los dos primeros.

III.3.1.7. Otros efectos

During et al. (1984), aplicando 3 tt/há de cal en cobertura observaron que aumenta la humedad en los 7,5 cm superiores luego de 30 días de aplicación, ésto podría explicar junto a otros factores, el porqué de la respuesta a la cal solo en la estación seca. Establecen que el efecto puede jugar un rol importante tanto determinando la magnitud como la variación del rendimiento de una pastura . Los autores también reportan que se observa un incremento en la estabilidad de los agregados significativamente más alto, en las parcelas con cal respecto del testigo.

III.3.2. RESPUESTA AL ENCALADO EN COBERTURA.

III.3.2.1. Resultados

A nivel nacional existe muy poca información respecto a este punto, sin embargo, en el extranjero se han realizado muchos ensayos, sobre todo en Australia y Nueva Zelandia que son pioneros en esta práctica.

Floate et al. (1989), trabajando en suelos ácidos de varios sitios de la región de Tussock (N.Z.), reportan que el encalado tuvo un efecto marcado, aumentando el % de leguminosas de la pastura, así como el rendimiento en todos los sitios.

Scott y Mills (1980), comparando 3 dosis de cal (0,500y1000 Kg/há) en una misma región, obtuvieron diferencias significativas tanto en el número de plantas establecidas como en el rendimiento de materia seca; reportan que el incremento en materia seca se debió a un incremento en el número de plantas y no a un mayor rendimiento por planta.

Lowther (1977) cit. por éstos autores, reporta que al

aplicar 1,25 ton./há al voleo, aumentó la nodulación y el establecimiento del Lotus.

Lowther, Hay y Ryan (1987), trabajando en suelos ácidos de Otago y Southland (N.Z.), reportan que la adición de 1250 Kg de cal en cobertura incrementó el rendimiento del Lotus para las dosis usadas (8 y 28 Kg de P/Há).

Edmeades et al. (1984), estudiando la magnitud de la respuesta al encalado con 2,5 t/há, determinan que la respuesta anual fue entre 8 - 11 % en M.S.

Edmeades, Feyter y O'Connor (1984), reportaron que existe respuesta significativa en producción al agregar 1,25 ton. de cal por há, establecen que la razón por la cual pequeñas dosis de cal resultan en grandes incrementos en el crecimento, es porque en el rango de PH en el que trabajaron: 5,3-5,5 , los niveles de Al decrecen rápidamente al aumentar el PH.

Reportan también que las leguminosas son más sensibles al Al que las gramíneas, por lo que, a PH cercano a 5,3 las leguminosas se ven más beneficiadas por el agregado de cal, aumentando la proporción de las mismas en la pastura.

Rowe (1981), estudiando la aplicación al voleo de cal en N.W. Tasmania (Australia), reporta que el rendimiento aumentó en tres cortes (verano, otoño y primavera temprana) pero no en la primavera tardía.

A nivel nacional cabe mencionar el trabajo de De León (1992) quién evaluó el efecto del encalado en cobertura de un Brunosol sobre Cristalino mejorado con Lotus en cobertura. Reporta que la cal en cobertura para los niveles estudiados (0, 500, 1000 y 1500 Kg/há) no tubo efecto en la producción total de materia seca ni en el establecimiento de la leguminosa. El autor establece que los coeficientes de variación encontrados fueron demasiado altos por lo que sería necesario seguir trabajando en el tema a los efectos de llegar a conclusiones válidas.

III.3.2.2. Duración de la respuesta

Lowther et al. (1987) reportan que al aplicar 1250 Kg/Há de cal en cobertura, los efectos persistieron cinco años después de la aplicación.

Edmeades et al. (1985), trabajando en varios ensayos sobre distintos tipos de suelo, calcularon una duración del efecto de 1.25 tt/Há de cal en cobertura de siete años. Sinclair en com. pers. a los autores ,establece que el número de años de duración del efecto podría estimarse teniendo en cuenta la precipitación anual, mediante la siguiente fórmula :

7-(0.0012 * precip. en mm)

Doack (1941, citado también por los autores) estimó que la pérdida anual del efecto de la cal sería entre 300 y 400 Kg/há/año.

Bromfield et. al.(1981), reportaron que una dosis de 3.55 tt/Há de cal en cobertura mantuvo por 6 años un PH constante y alto en suelos sobre granito. Establecen que dosis de 5.5 tt/Há es probable que mantengan el PH de los 10 cm superficiales en un nivel adecuado por lo menos 15 años.

III.3.2.3. Estacionalidad de la respuesta

Woodcock (1936)cit. por Edmeades et al.(1984), observó que la respuesta al encalado era más clara en ciertos períodos del año, especialmente en otoño.

Shannon et al. (1984), citan trabajos de varios autores con respecto al tema, entre ellos: Woodcock (1936) que observó respuestas menos pronunciadas en primavera que en el resto de las estaciones. Elliot y Lynch (1941) observaron un patrón de respuesta similar y notaron además que la respuesta estuvo positivamente correlacionada con la tasa de crecimiento de los tratamientos sin cal. Rowe (1981) reportó que el encalado incrementó los rendimientos en verano, otoño y primavera temprana pero no en primavera tardía.

Shanon et al., experimentaron en varios tipos de suelos (PH entre 5.2 y 5.5) evaluando la respuesta durante por lo menos 4 años. En general las respuestas significativas ocurrieron en otoño o verano, mientras que las bajas respuestas o incluso depresiones fueron en primavera.

En un experimento de 20 años en Hamilton la pastura mostró altas respuestas en verano y bajas en invierno, pero no existieron evidencias claras que explicaran la estacio-

nalidad; una posible explicación sería que al cambiar la composición botánica por el encalado, podrían aparecer especies de diferentes ciclos, lo que afectaría la distribución. Otra explicación propuesta fue que el encalado, al corregir el efecto tóxico del Al, incrementaría el volúmen radicular, lo que explicaría el mejor crecimiento en los períodos de stress hídrico. Los autores concluyen, que la importancia de la respuesta observada, es que se dió en las estaciones generalmente críticas en cuanto a la producción de forraje.

III.4. INTERACCIONES P-CAL

III.4.1. INTRODUCCION

Una de las consideraciones tenidas en cuenta por los productores en la decisión del encalado en suelos ácidos es que éste aumentaría la disponibilidad de P para las plantas, pero ésta popular opinión no debería ser tenida en cuenta cuando se determinan las políticas de encalado ni las de fertilización. Esta conclusión se basa en el hecho de que interacciones negativas (P-Cal) son comunes y por lo tanto el efecto de la cal es difícil de predecir; sería poco prudente en consecuencia, determinar una reducción en la dosis de fertilizante fosfatado como resultado del encalado.

En éste sentido debería recordarse lo reportado por Connell's (1931) cit. por Edmeades et al. (1985), que determinó que la cal no era un sustituto del fertilizante.

Edmeades et al. 1985, reportan que la importancia relativa de la cal depende del grado de acidez del suelo, en aquellos fuertemente meteorizados con PH<5, ambos fertilizante y cal son necesarios para el establecimiento y mantenimiento de la pastura. Sin embargo cuando el PH está entre 5.0 y 5.8 la corrección de los nutrientes es prioritaria, pués la respuesta a la cal es generalmente mucho más pequeña (0-10 %), frente a respuestas a la fertilización que pueden llegar hasta el 100 % o más.

Sumner y Farina (1986) mencionan en su revisión, que las primeras publicaciones sobre el tema indican un probable efecto beneficioso en la solubilidad del P y la absorción por los cultivos a niveles de PH cercanos a la neutralidad, mientras que las más recientes sugieren que donde la

interacción P-CAL es positiva, los efectos son más probables que se den a niveles de PH por debajo de 5.

Existe también clara evidencia (según Sumner y Farina), que la interacción P-CAL observada en muchas leguminosas, estuvo más relacionada con el efecto del PH en la nodulación y nutrición nitrogenada, mas que en un efecto directo en la disponibilidad de P.

El grueso de la evidencia moderna indica que la interacción P-CAL está intimamente asociada a la actividad del Al en el suelo. Es bien conocido que la toxicidad del Al resulta en una severa restricción en el crecimiento radicular, por lo que incrementos en la absorción de P por las plantas es lógico que se den con el incremento en la proliferación radicular que acompaña al encalado. (Sumner y Farina).

La adsorción de P sobre óxidos e hidróxidos de Fe y Al no se considera significativamente afectada por el encalado, pero existe creciente evidencia que sugiere que el incremento en la superficie de adsorción resultante de la precipitación del Al como hidróxido luego del encalado, puede al menos temporariamente incrementar la capacidad de adsorción de P a valores de PH cercanos a 5. Estos efectos son probablemente más marcados en los suelos que contienen alto contenido de Al intercambiable en relación a superficies de adsorción de P amorfas y cristalinas, lo cual disminuye cuando el PH se eleva. (Sumner y Farina).

En ciertos estudios, incrementos en la aplicación de P han contrarrestado el efecto negativo de la cal en la producción forrajera (Sumner 1979, Farina et al. 1980, cit. por Sumner y Farina, 1986), y la reducción en la absorción de P ha sido registrado que se debe a la formación de fosfato de calcio insoluble (Kamprath 1971 cit. por Sumner et al 1985).

Datos de ensayos experimentales con Maíz presentados por Sumner y Farina 1986, muestran una muy clara interacción P-CAL; tanto la producción de materia seca como la respuesta al P agregado, aumentaron marcadamente cuando el PH se incrementó de 4.1 a 5.4, aplicaciones de 160 ppm de P en el óptimo PH resulta en producciones superiores a aquellas obtenidas con agregados de 320 ppm de P en el suelo sin encalar. Similarmente, la respuesta al encalado, también escasa a bajo nivel de P, aumentó rápidamente cuando la tasa de aplicación de P fue incrementada. Ambos, P y cal

provocaron una significativa reducción en el contenido de Al en las plantas, debido probablemente a efectos en el suelo como en las plantas; el crecimiento radicular fue mejorado marcadamente por la cal y en menor grado por el P. Las pequeñas diferencias encontradas en el contenido de P en planta, en relación a la magnitud de la respuesta en producción de materia seca, tanto a la cal como al P, son difíciles de explicar satisfactoriamente, pero dice que es probable que efectos de dilución estén involucrados. Mencionan también como efecto probable que el análisis foliar de P,indique tanto el P metabólicamente activo como el P inmovilizado por el aluminio, ya que los efectos de la cal y del P en el Al en planta son aditivos, y que el P reduce la concentración de Al en planta a todas las dosis de cal.

Sumner y Farina (1986) dicen que se puede generalizar en que existe un buen acuerdo en que los efectos del P y de la cal pueden ser sinérgicos en suelos ácidos ricos en Al, por sus similares efectos en la extracción de Al por los plantas.

Según Syers et al. (1971) cit. por Sumner y Farina, existen numerosos factores que afectan dicha interacción volviéndola no tan clara, como por ejemplo que la coprecipitación del P con Al intercambiable, la cual depende de varias propiedades del suelo más que del pool de Al per se.

III.4.2. ENCALADO Y DISPONIBILIDAD DE P EN EL SUELO.

Haynes (1982), revisando trabajos de varios autores, observa que el encalado puede, aumentar, disminuir, o no afectar el P disponible de los suelos; observó que de la misma manera varió el contenido de P de las plantas. Observó también, reportes de depresión en el rendimiento atribuídas a la deficiencia de P inducida por el encalado, además de deficiencias de K, Mg y micronutrientes.

El mecanismo por el cual la disponibilidad se reduce es discutido y aún no totalmente esclarecido. Algunos autores opinan que los ácidos hidratados de Fe y Al son las superficies dominantes en la absorción de PO4, consideran que el P puede ser absorbido específicamente en la superficie de dichos metales hidróxidos a PH cercano a 4.8, disminuyendo a medida que el PH aumenta, debido al decrecimiento de las cargas variables entre los PH de 5.5 y 6.0 .

Otro de los factores involucrados, es la presencia de

niveles fitotóxicos de Al soluble e intercambiable, que inhiben la extracción y traslocación de P, razón por la cual en ocasiones, el encalado incrementa la extracción de P por una disminución de la toxicidad del Al, mas que por un efecto en la disponibilidad de P, per se.

Tres mecanismos han sido propuestos por Haynes (1982) para explicar el efecto del encalado en la disponibilidad de P:

- Principio de la solubilidad del producto

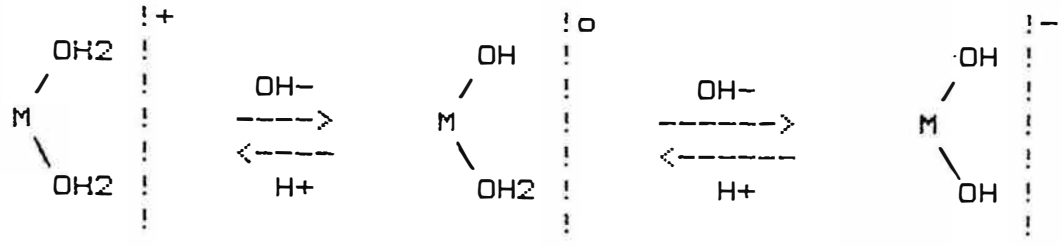
La clásica explicación del incremento en la disponibilidad de P luego del encalado, es que en el corto plazo el aumento del PH resulta en la hidrólisis de la Strengita ($FePO4\ 2H2O$) y Variscita ($AlPO4\ 2H2O$), con la liberación de los iones $PO4^-$ a la solución.

Como las tasas de disolución de los fosfatos son extremadamente lentas, bajo condiciones de lixiviación y extracción por las plantas es poco probable que esos fosfatos controlen la concentración de P en la solución. Sin embargo, los fosfatos de Fe,Ca y Al podrían controlarla bajo esas condiciones. En efecto, casi todos los precipitados iniciales de Fe y Al son amorfos y pueden mostrar solubilidades entre 10 y 100 veces mayor que los minerales cristalinos. Además éstos compuestos amorfos son relativamente estables por lo que podrían persistir largos períodos de tiempo y por tanto mantener el suministro de P para las plantas en forma constante y prolongada. Por otro lado, éstos compuestos explicarían la disminución de los niveles de Al cuando se aplican altas dosis de P, debido a la precipitación como fosfatos de Al.

- Hipótesis de la adsorción específica.

La adsorción, es característica de los óxidos de Fe y Al cuyas cargas superficiales surgen como consecuencia de la protonación y deprotonación de los iones oxidrilos éstas cargas son PH dependientes y se incrementan tan negativamente como el PH de la solución aumenta.

Esquema de las cargas PH dependientes:



El fosfato puede ser adsorbido por éstas superficies entre PH 2 y 7. Según el autor, los incrementos en la concentración de cationes cerca de éstas superficies tornan el potencial menos negativo, lo que incrementa la adsorción de fosfato. Estos efectos pueden ser inducidos por cationes como el Zn y el Ca, lo que explicaría el efecto del encalado en promover la adsorción de fósforo; de esa manera el aumento en la concentración de calcio tiende a contrarrestar el efecto del PH per se.

Algunos autores establecen que el encalado puede disminuir la solubilidad del fosfato al aplicarlos simultáneamente, debido a la oclusión por la precipitación en masa de los hidróxidos de Fe y Al (Murman et al. 1967 cit. por Haynes 1982). Sin embargo, otros autores (Amasarini y Olsen 1973, cit. por Haynes 1982) observaron que la solubilidad disminuyó tanto si el P fue aplicado simultánea como posteriormente con la cal, por lo que establecen que la oclusión sería poco probable.

Haynes reporta que el secado del suelo luego del encalado, juega un rol fundamental en la adsorción, pués promueve la cristalización de los polímeros amorfos, disminuyendo así las superficies de adsorción cuatro o cinco veces. Es así que si un suelo encalado se seca antes de reaccionar con el P aplicado, su disponibilidad será mayor debido a una disminución en la adsorción.

- Mineralización del fósforo orgánico .

En adición a los procesos puramente químicos, antes vistos , la cal puede afectar la disponibilidad de P a través de los procesos microbianos.

Haynes (1982), reporta que al aumentar el PH de 5.5 a 6.5 , el P orgánico luego de 2 años pasó de 83 a 74 por

ciento, y agregando 35 Kg/Há de super triple, descendió hasta 58%; la disminución se debió a la creación de un ambiente más favorable para los microorganismos y también probablemente a un aumento en la solubilidad y por tanto en la accesibilidad para los microorganismos de algunos ésteres fosfóricos presentes en la materia orgánica.

. Edmeades et al. (1986,1989), cit por Edmeades (1991) mencionan que el aumento en la mineralización de N provocado por el encalado pudo explicar muchas de las respuestas observadas, efecto que es más importante en suelos de PH > 5.5 .

En conclusión podemos decir que la disponibilidad de P para las plantas es muy compleja y difícil de definir. La química del Al juega un papel fundamental tanto en ella como en la extracción por las plantas, la cual es controlada por dos factores opuestos; la disminución de la toxicidad y por lo tanto el mayor potencial de uso del P del suelo y la precipitación del Al como polímeros, por lo cual se crean superficies de adsorción que retienen el P disponible.

El encalado en consecuencia, puede aumentar o disminuír la extracción de P por la planta a través de diferentes mecanismos, la importancia de cada uno de ellos dependerá de las propiedades de cada suelo, de las dosis de P y cal , y de la tolerancia de la especie, por lo tanto estas consideraciones deberán tenerse en cuenta para el estudio de cada situación particular.

III.5. ENCALADO Y PRODUCCION ANIMAL.

Siempre es necesario considerar éstos efectos, pués si se quiere, el fin último de los estudios en pasturas es el aumento de la productividad, con el fin de lograr mejorar la producción animal y por lo tanto los ingresos.

A nivel nacional, no existen experiencias en éste aspecto, por tanto mencionaremos resultados recientes de la agricultura neozelandesa. Cabe destacar entonces, los trabajos de Edmeades et al. (1981), quienes estudiaron el efecto de 1250 Kg/Há de cal en cobertura sobre la producción animal y de la pastura .

En primer término reportan aumentos en la producción de la pastura entre 5 y 10 por ciento ;establecen seguida-

mente que la respuesta en producción de los animales con respecto al encalado se retrasó casi un año, debido a la baja dosis de aplicación y a la pobre solubilidad de la roca, que tardó un año para lograr un buen efecto en el PH.

Los resultados indican que la perfomance animal mejoró tanto por un aumento en la productividad de la pastura, como por un mejoramiento en la calidad del forraje. La respuesta fue continua, estando presente tres años después de la aplicación y a veces cuatro .

En el experimento se observó una mejoría en el componente leguminosa de la pastura, lo que explicaría la mejor calidad del forraje consumido en las parcelas con cal. Los autores reportan que el peso vivo de las ovejas aumentó significativamente,así como su peso de vellón ; los corderos que pastorearon en las parcelas con cal tuvieron una diferencia de 3 Kg a la faena y su peso de vellón también se vió incrementado. El factor que explica lo anterior, es el mejoramiento del plano nutritivo de los animales, debido a una mejor calidad y mayor cantidad de la pastura.

A continuación se presenta un cuadro simplificado de los efectos del encalado en el peso de vellón de las ovejas y corderos.

AÑO	1977 *	1978	1979
	PESO DE VELLON		
OVEJAS	+7%	+16%	+16%
CORDEROS	0%	+5%	+18%

* Año de aplicación de la cal

En resumen, con la aplicación de una pequeña dosis de cal, hubo respuesta en el peso vivo de las ovejas (5 Kg), en el peso de vellón (0.5 - 0.6 Kg) y en el peso de los corderos (6%).

IV. MATERIALES Y METODOS

IV.I. GENERALIDADES.

IV.1.1. UBICACION DE LOS ENSAYOS.

Se realizaron ensayos en dos sitios:

- Sitio 1, establecimiento de Francisco Mastropierro ubicado en el depto. de Treinta y Tres, sobre ruta 98, paraje Puntas del Avestruz, en suelos desarrollados sobre materiales derivados del Basamento Cristalino.

- Sitio 2, campo experimental del SUL, ruta 7, Cerro Colorado, Depto. de Florida, en suelos tambien desarrollados a partir de materiales derivados del Basamento Cristalino.

IV.1.2. TIPO DE SUELOS.

Sitio No.1 - Mastropierro.

Unidad: Sierra de Polanco.

Clasificación: Luvisol Umbrico (Melánico) Típico.

Relieve local: Loma alta convexa, ladera alta.

Pendiente: 7 - 8 %.

Rocosidad: 4 - 5 %.

Pedregosidad: menos del 5 %.

Descripción del perfil:

0 - 25 cm
A Pardo oscuro (10 YR 3/3), con pocos moteados, (7,5 YR 5/6) pardo fuerte de contraste neto y borde difuso; franco limoso (a campo), con arena media a gruesa y gravillas, pocas; friable, ligeramente plástico; bloques angulares finos, que rompen a muy finos, moderada; raíces abundantes; transición gradual.

25 - 30 cm
BA

Pardo grisáceo oscuro (10 YR 4/2) con moteados rojo oscuro (2,5 YR 3/6) comunes; franco arcillo limoso con arena gruesa abundante; gravillas pocas; plástico; bloques angulares medios y finos, fuertes; películas de arcilla en manchas; raíces abundantes; transición gradual.

30 - 42 cm
Bt1

Pardo a pardo oscuro (10 YR 4/3); arcilloso, con gravillas pocas; plástico; bloques angulares medios y gruesos, fuertes; películas de arcilla gris muy oscuro (0 YR 3/1) en manchas, algunas contínuas; raíces comunes; transición clara.

42 - 62 cm
Bt2

Pardo amarillento (10 YR 5/7) con moteados rojos (2,5 YR 4,5/8) comunes, pequeños; arcilloso con gravillas abundantes; friable, plástico; bloques angulares medios, fuertes; películas de arcilla gris muy oscuro (10 YR 3/1), contínuas; raíces comunes; transición gradual.

62 - 70 cm
BC

Pardo amarillento (10 YR 5/7) con moteados rojos (2,5 YR 4,5/8) comunes, pequeños; arcilloso (poca matriz) con gravilla abundante; bloques angulares medios y grandes, débiles; películas de arcilla pardo grisáceo oscuro (10 YR 4/2) contínuas; raíces pocas; transición gradual.

Observaciones: Se observa presencia de gravilla en todo el per-fil, de cuarzo y feldespato; en el horizonte Bt aumenta hacia la base, siendo el horizonte C no descripto más liviano y gravilloso. El horizonte A se agrisa hacia la base.

Sitio No.2 - S.U.L.

Unidad: San Gabriel - Guaycurú.

Clasificación: Argisol Subéutrico Melánico.

Ubicación: Estación Experimental del Secretariado Uruguayo de la Lana (S.U.L.), Cerro Colorado, Ruta 7 - Km 150 (Dpto. Florida).

Relieve local: loma convexa: ladera alta.

Pendiente: 2 - 3 %.

Uso actual: campo natural.

Descripción del perfil:

0 - 15 cm

A — Pardo grisáceo oscuro (10 YR 4/2) y gris oscuro (10 YR 4/1) con moteados pardos a pardo oscuros (7,5 YR 4/4) netos, de borde difuso que enmascaran el color de la matriz; franco limoso con arena gruesa, poca; friable; bloques angulares finos, fuertes; raíces abundantes; transición clara.

15 - 23 cm

AB — Gris oscuro a pardo grisáceo oscuro (10 YR 4/1,5) con moteados pardos a pardo oscuros (7,5 YR 4/4) netos, con borde difuso; franco arcilloso con gravillas, pocas; pegajoso; bloques angulares finos, fuertes; películas de arcilla grises a gris oscuras (10 YS 4,5/1) en manchas; concresiones de hierro y manganeso comunes a abundantes, de 1 mm, friables; raíces comunes; transición clara a abrupta.

23 - 45 cm

Bt2 — Pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2), arcilloso a arcillo-limoso, con gravillas pocas; pegajoso; bloques angulares finos y medios, fuertes; películas de arcilla grises a gris oscuras (10 YR 4,5/1), contínuas; concresiones de hierro y manganeso comunes, de 2 mm, friables; raíces comunes; transición gradual.

45 - 65 cm

BC — Pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2) con pardo oscuro a pardo amarillento oscuro (10 YR 3/3,5); arcilloso con gravillas comunes; bloques angula-

res medios, fuertes; películas de arcilla continuas y caras de deslizamiento; concresiones de hierro y manganeso comunes, de 2 mm, friables; transición gradual.

65 - 77 cm

CB Pardo (7,5 YR 5/3) con pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2) arcilloso a arcillo limoso con gravillas comunes; bloques angulares gruesos y medios, fuertes; películas de arcilla pardo grisáceas muy oscuras (10 YR 3/2), continuas, gruesas; caras de deslizamiento; concresiones de hierro y manganeso, comunes a pocas, de 2 mm, friables; transición gradual.

77 - + cm

C Pardo (7,5 YR 5/3); arcillo limoso a franco arcillo limoso.

IV.1.3. TRATAMIENTOS.

Los ensayos fueron instalados en el año 1989. Los tratamientos fueron:

A la instalación.

- Niveles de P a la instalación: 0, 30, 60, 90, 240 Kg P2O5/Há aplicados como Superfosfato común (0-21-23-0). La dosis de 240 Kg de P2O5/Há fue incluída con el criterio de nivel no limitante de P.

- Fuentes de P: - dos niveles de P a la instalación: 30 y 60 Kg P2O5/Há como Fosforita (Hiperfosfato, 0-12-30-0).
- un nivel de P a la instalación: 60 Kg P2O5/Há como Superfosfato Triple (0-48-48-0).

- Cal: se incluyeron parcelas con 1 ton. de caliza/Há (Calcita, 96 % de poder neutralizante) para los niveles de 30 y 60 Kg P2O5/Há como Superfosfato.

- Micronutrientes: para el nivel de 60 Kg P2O5/Há como Superfosfato se incluyó una parcela de observación con el agregado de: 2.5 Kg B/há como bórax; 1 Kg Cu/há como sulfa-

to de Cobre; 70 grs de Mo/há como Molibdato de amonio y 5 Kg Zn/há como sulfato de zinc.

- Niveles de N y P en campo natural: se incluyeron dos tratamientos de evaluación del tapiz natural con el agregado de N y P: 0-0 y 70-30. La dosis de N fue fraccionada en dos momentos: 35 Kg N/Há como urea (46-0-0-0) al comienzo del otoño y 35 Kg N/Há, también como urea, al comienzo de la primavera.

Refertilizaciones

Al comienzo del segundo año de la pastura (otoño de 1990) algunos tratamientos recibieron refertilización con P, en parcelas duplicadas del tratamiento a la instalación. En el cuadro siguiente se indica el detalle para el año 1 y siguientes. La dosis de refertilización fue de 30 Kg P2O5/Há para todos los tratamientos, con la excepción del tratamiento de 240 Kg P2O5/Há a la instalación, donde procurando de mantener el criterio de no limitancia de P, se refertilizó con 120 Kg P2O5/Há como Superfosfato común.

La fuente de P utilizada en los restantes tratamientos es indicada en el cuadro No.1 (NR: no refertilizada, RS: refertilizada con Superfosfato común, RST: refertilizada con Superfosfato Triple, RH: refertilizada con Hiperfosfato). El agregado de N al campo natural fue similar a lo realizado para el primer año.

En las figuras que se presentan en el desarrollo del punto No. V (Resultados y Discusión) los tratamientos se identifican en forma abreviada del modo que se especifica en el siguiente cuadro No.1 (como abreviatura).

CUADRO No.1 - Explicación de tratamientos, y su presentación en forma simplificada (abreviatura), las dosis de P estan expresadas en Kg de P2O5/há (unidades de P/há).

CODIGO	A LA INSTALACION FOSFORO (1)	ACCESORIOS (2)	REFERTILIZACIONES ANUALES	ABREV. (3)
1	0	-	0	T
2	30 H	-	0	30HNR
3	30 H	-	30 H	30HRH
4	30 H	-	30 S	30HRS
5	30 S	1 tt cal	0	30SCNR
6	30 S	1 tt cal	30 S	30SCRS
7	0	CN	0	CN
8	30 S	-	30 S	30SRS
9	60 H	-	0	60HNR
10	60 H	-	30 H	60HRH
11	60 H	-	30 S	60HRS
12	60 S	1 tt cal	0	60SCNR
13	60 S	1 tt cal	30 S	60SCRS
14	60 S	Cu,Zn,B,Mo	30 S	no*
15	60 S	-	0	60SNR
16	60 S	-	30 H	60SRH
17	60 S	-	30 S	60SRS
18	60 ST	-	30 ST	60STRST
19	90 S	-	30 S	90SRS
20	240 S	-	120 S	240SRS
21	30 S + N	CN	30S 70N(35+35)	CNN

(1) S: Superfosfato común; H: Hiperfosfato; ST: Superfosfato triple; N: nitrógeno.

(2) CN: campo natural.

Todos los tratamientos excepto el No.7 y el No.21, los cuales son sobre campo natural solo (sin especie foránea incorporada en la pastura), fueron realizados sobre el campo natural con lotus incorporado al mismo.

(3) En algunas figuras, los tratamientos con superfosfato a la instalación como en la refertilización se abrevian de la siguiente manera (suma de Kg de P205/há acumulado al tercer año):

CODIGO	ABREVIATURA
1	0
8	90 S
17	120 S
19	150 S
20	480 S

* - La incorporación de micronutrientes (tratamiento No.14) no será analizado en este trabajo.

IV.1.4. DISEÑO EXPERIMENTAL.

El diseño utilizado fue de parcelas al azar en bloques con 4 repeticiones. El tamaño de las parcelas fue de 5 X 3 metros.

IV.2. TRABAJO DE CAMPO

IV.2.1. INSTALACION DE LOS ENSAYOS.

Como ya se indicó los ensayos se instalaron en el otoño del año 1989.

La cal se aplicó a mano en cobertura, 3 meses previo a la siembra del Lotus que fue realizada de la misma forma.

La fertilización en cobertura se realizó a la siembra, también a mano, y la refertilización se realizó de la misma manera, a la entrada del otoño de 1990 y 1991.

IV.2.2. COSECHA Y MUESTREO DE FORRAJE.

El período de evaluación de los ensayos para el presente trabajo duró 1 año, realizándose cortes en las siguientes fechas:

- Sitio No.1: agosto 1991, octubre 1991, enero 1992 y abril 1992.

Sitio No.2: agosto 1991, octubre 1991 y abril 1992.

Las cosechas se realizaron con equipo Agria con barra de corte (área de corte 5.75 m2) en los cortes 3 y 4 del sitio 1 y en el corte 4 en el sitio 2; y con Honda (área de corte 4.18 m2) en los restantes.

En todos los casos luego del corte se emparejó el tapiz del ensayo, retirándose los restos de forraje.

El corte de enero de 1992 en el sitio 2 (SUL) no se

pudo realizar debido a la entrada de animales al ensayo.

El material cosechado se pesó en el ensayo, y se extrajeron del mismo muestras de forraje de todos los tratamientos en 2 de los bloques, a los efectos de realizar la composición botánica de la pastura, fracciones (% Lotus y % Gramíneas), % de materia seca de cada fracción y posterior determinación del contenido de nutrientes de la pastura, en el laboratorio de la cátedra.

Las muestras se tomaron de 2 formas: a mano (aprox. 300-400 gr) del material cosechado, cuando se cortó con Agria; y donde se utilizó la Honda, las muestras se extrajeron cortando con tijera 3 cuadros tirados al azar en cada parcela.

Previo al corte del forraje, se determinó por estimación visual el porcentaje relativo de las especies constituyentes de la pastura, en cada parcela.

IV.2.3. MUESTREO DE SUELOS.

El primer muestreo se realizó a la instalación y luego se tomaron muestras cada año sucesivo.

En el año de la evaluación (abril 91) se muestrearon todos los tratamientos en dos de los bloques . La profundidad de muestreo fue: de 0-15 cm, sacando 12 tomas por parcela con calador.

IV.3. ~~ANALISIS DE LABORATORIO.~~

IV.3.1. MUESTRAS DE SUELO.

Fueron secadas al aire, molidas y tamizadas a 2 mm.

Con el muestreo de la instalación, se hicieron todas las determinaciones de PH, M.O, bases, acidez titulable (a PH 7) y acidez intercambiable. En los demás muestreos se determinó PH en H2O y en KCl, P, K , acidez intercambiable y acidez titulable a PH 7. En el cuadro siguiente se indican los datos analíticos de caracterización de los dos sitios.

La acidez intercambiable se determinó por extracción con KCl 1N y la titulable utilizando acetato de bario 0.5 N buffereado a PH 7 y posterior titulación con NaOH 0.05 N.

El P se determinó por el método de BRAY 1 y la materia orgánica por el de Walkley-Black.

Los cationes Ca y Mg se determinaron por espectrofotometría de absorción atómica una vez que se extrajeron con acetato de amonio 1N a PH 7 y el K fue extraído de la misma forma y determinado por fotometría de emisión. Finalmente en el PH, se utilizó el método potenciométrico en H2O y KCl, usándose una relación suelo-agua de 1 / 2.5 .

		PH		ppm P	meq/100g*						
	%M.O.	H2O	KCl	Bray1	Ca	Mg	K	Na	Ac.T	Ac.I	Al I
SITIO 1	2.98	5.1	4.1	3	2.01	1.18	0.58	0.64	4.28	0.60	0.40
SITIO 2	3.51	5.4	4.4	2	3.33	1.38	0.55	0.79	3.45	-	-

* Ac.T - acidez titulable a PH = 7.

IV.3.2. ANALISIS DE LAS MUESTRAS DE PLANTAS.

En las muestras de forraje verde, se hizo la separación botánica de Lotus y Gramínea. Luego de separadas se pesaron y fueron secadas a estufa (60 - 70 gr. centígrados) durante 48 horas. Una vez secadas, se pesaron nuevamente a los efectos de determinar el porcentaje de M.S de cada fracción y los porcentajes de los componentes en base seca.

Seguidamente, las muestras fueron molidas con molino y tamizadas a 1 mm.

Para determinar el contenido de nutrientes en planta, se realizó la digestión húmeda de una muestra de 0.5 gr, con 10 c.c de ácido sulfúrico concentrado en block de digestión de aluminio (Tecator) a 350 grados centígrados durante 1 hora. Luego, se atacó la muestra con 4 ml de perhidrol 130 vol. durante 15 minutos. Finalmente se enrasó a 250 cc con agua destilada.

El nitrógeno se determinó por el método de Kjeldahl, y

el P por el método colorimétrico de Murphy y Riley (reducción del complejo molibdo-fosfórico con ácido ascórbico).

El potasio se determinó por fotometría de emisión.

IV.4. ANALISIS ESTADISTICO.

Los datos experimentales se sometieron al análisis de varianza. Dentro del mismo, se realizó la partición de la suma de cuadrados de los tratamientos, en contrastes ortogonales, cuando se consideró relevante.

Posteriormente, se ajustaron regresiones para relacionar las variables evaluadas entre sí y con los tratamientos. En los casos que se consideró necesario, se realizó la prueba F para detectar diferencias entre regresiones.

En todos los casos:

-"n.s" significa que estadísticamente es no significativo.

- * significativo al 10% ($P < 0.1$)

- ** significativo al 5% ($P < 0.05$)

- *** significativo al 1% ($P < 0.01$)

V.RESULTADOS Y DISCUSION

V.I. SITIO NUMERO UNO, MASTROPIERRO

V.I.1. RENDIMIENTO DE MATERIA SECA TOTAL DE LA PASTURA.

V.I.1.1. Producción de materia seca anual y por corte.

En el cuadro No.2 se indican los datos promedio de producción de materia seca (M.S) por corte; y el total anual acumulado, por tratamiento, y en el cuadro No.3 se indica un resumen del análisis de varianza realizado para cada corte y el total anual (en el Apéndice figuran los análisis de varianza completos, CUADROS Nos. 1, 2, 3, 4, y 5).

CUADRO No.2 - Producción de materia seca por corte y anual según tratamiento, en Kg/há.

TRATAMIENTOS ‡					CORTES				
CODIGO	DOSIS P	FUENTE P	ACC.	REFERT.	AGO.91	OCT.91	ENE.92	ABR.92	TOTAL
1	0	T	SA	NR	271	854	620	2410	4156
2	30	H	SA	NR	198	1091	1619	3308	6217
3	30	H	SA	RH	223	2054	3504	2922	8703
4	30	H	SA	RS	395	2075	3578	3366	9414
5	30	S	C	NR	258	931	1248	3090	5527
6	30	S	C	RS	316	1963	3552	3100	8930
7	0	T	CN	NR	298	621	601	2447	3966
8	30	S	SA	RS	392	1886	3441	3139	8858
9	60	H	SA	NR	303	1312	2342	2572	6529
10	60	H	SA	RH	421	2152	3989	3567	10128
11	60	H	SA	RS	464	2122	3825	3496	9907
12	60	S	C	NR	487	1024	2238	2861	6610
13	60	S	C	RS	323	1878	3795	3402	9399
14	60	S	M	RS	424	2162	3476	3155	9218
15	60	S	SA	NR	271	1412	2161	3152	6997
16	60	S	SA	RH	272	2080	3613	3469	9434
17	60	S	SA	RS	455	2101	3863	3685	10105
18	60	ST	SA	RST	302	2010	3428	3148	8887
19	90	S	SA	RS	451	2150	3854	4006	10460
20	240	S	SA	RS	534	2466	3984	4407	11391
21	30	S	CNN	RS	396	1622	1439	3047	6503

F	S - SUPERFOSFATO	C - CAL	
	ST - SUPERTRIPLE	T - TESTIGO	
	H - HIPERFOSFATO	CN - CAMPO NATURAL	
	SA - SIN ACCESORIO	CNN - CAMPO NATURAL CON N.	
	R_ - REFERTILIZADO	NR - NO REFERTILIZADO	

Los kilogramos de materia seca del cuadro corresponden al forraje total , Lotus mas gramínea.

CUADRO No.3 - Análisis de varianza para el efecto de los tratamientos en la producción de materia seca total anual y por corte.

		AGOSTO		OCTUBRE		ENERO		ABRIL		TOTAL	
FUENTE	GL	F	P*	F	P	F	P	F	P	F	P
BLOQUE	3	15.38	0.000	0.19	0.902	1.70	0.1772	3.42	0.023	2.14	0.1014
TRATAM.	20	3.08	0.004	14.27	0.000	28.28	0.000	6.39	0.000	26.12	0.000
ERROR	60										
TOTAL	93										
MEDIA GRAL.		355		1712		2865		3227		8159	
C.V. (%)		30.33		16.51		15.19		11.68		10.04	

* Las probabilidades indicadas como 0.000 son menores a 0.001

En los ANAVA anteriores se observa un efecto altamente significativo de los tratamientos, tanto para la producción anual de materia seca como para la producción por corte. Se observa también un efecto bloque significativo en los cortes de agosto y abril.

Los datos correspondientes al corte de agosto presentaron una alta variación (coeficiente de variación del 30 %), lo cual indica que el error experimental es muy alto respecto a la media de los tratamientos. Esto determina ciertas limitaciones en la interpretación posterior de los resultados obtenidos, para esta fecha de evaluación.

V.I.1.2. Respuesta al agregado de fósforo.

En la gráfica siguiente se ilustra la respuesta al agregado de P en la instalación y refertilizaciones anuales.

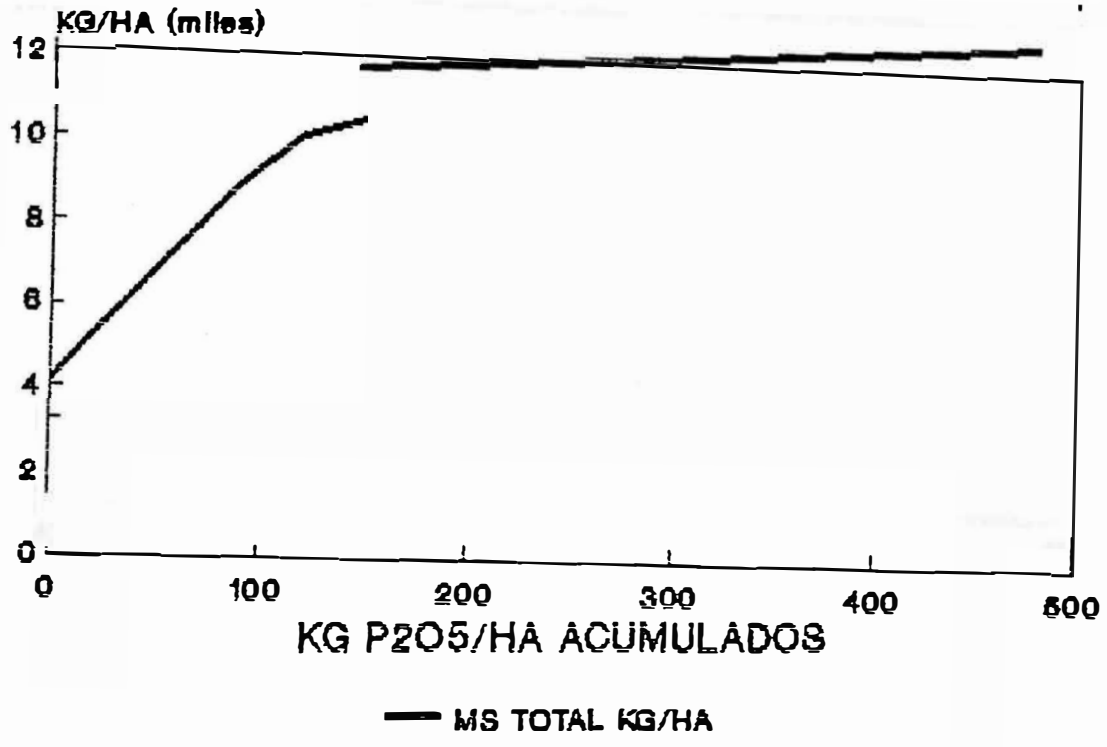


FIGURA No.1 - Respuesta en Kg de materia seca total anual a la dosis de P acumulada. Fuente soluble: Superfosfato común.

En la figura anterior se puede observar un efecto global importante de la fertilización fosfatada. Por otra parte, también se visualizan diferencias en residualidad del P agregado en la instalación, aunque un poco enmascaradas por la refertilización realizada en todos los tratamientos excepto en el testigo.

Vista la tendencia seguida por los datos experimentales se ajustó una regresión de tipo asintótica (Ecuación de Mitscherlich).

CUADRO No.4 - Ajuste de ecuación de Mitscherlich, para la materia seca total anual.

Fuente	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio
Regresion	3	1747519198.2	582506399.4
Residual	17	13141537.7	773031.6
Tot.(no corr.)	20	1760660735.9	
Total (corr.)	19	142643728.7	

Parám.	Estimación	Error Stándard	Intervalo de confianza (95%)	
			Inferior	Superior
A	11472.89157	440.53570080	10543.447965	12402.335179
C	0.00551	0.00100438	0.003391	0.007629
B	35.23382	8.01185859	18.330379	52.137267

La ecuación entonces queda planteada como:

$$Y = 11472.9 \left[1-10^{-0.0055(X+35.23)} \right]$$

Donde:

Y = Rendimiento de M. Seca total (Kg/Há)
X = Dosis de P (Kg P2O5 /Há)

Analizando individualmente la producción de materia seca por corte en función del P agregado se obtienen los resultados de la figura No. 2.

En la misma se observa que el corte de enero y en cierta medida el de octubre, son los que explicarían la respuesta anual en materia seca .

El corte de agosto (producción invernal), no mostró diferencias importantes de rendimiento entre niveles de P acumulado distintos. Esto podría estar explicado por varios factores:

- El estado de desarrollo de la pastura al momento del corte era bastante escaso (media general del ensayo = 355 Kg/há), probablemente por factores climáticos; lo cual no permitió que se manifestaran las diferencias entre los niveles de P agregados.

- El error experimental en éste corte fue muy alto (30 %), lo cual determina que las tendencias que surgen no sean claras.

En el corte de octubre, se observó una respuesta clara

al agregado de P en la materia seca producida, con un incremento de rendimiento importante hasta 90 kg de P205/há (acumulados). Para dosis acumuladas más altas, los incrementos son menores. Esto indicaría una mayor relevancia del efecto de la refertilización comparado al efecto de la dosis inicial.

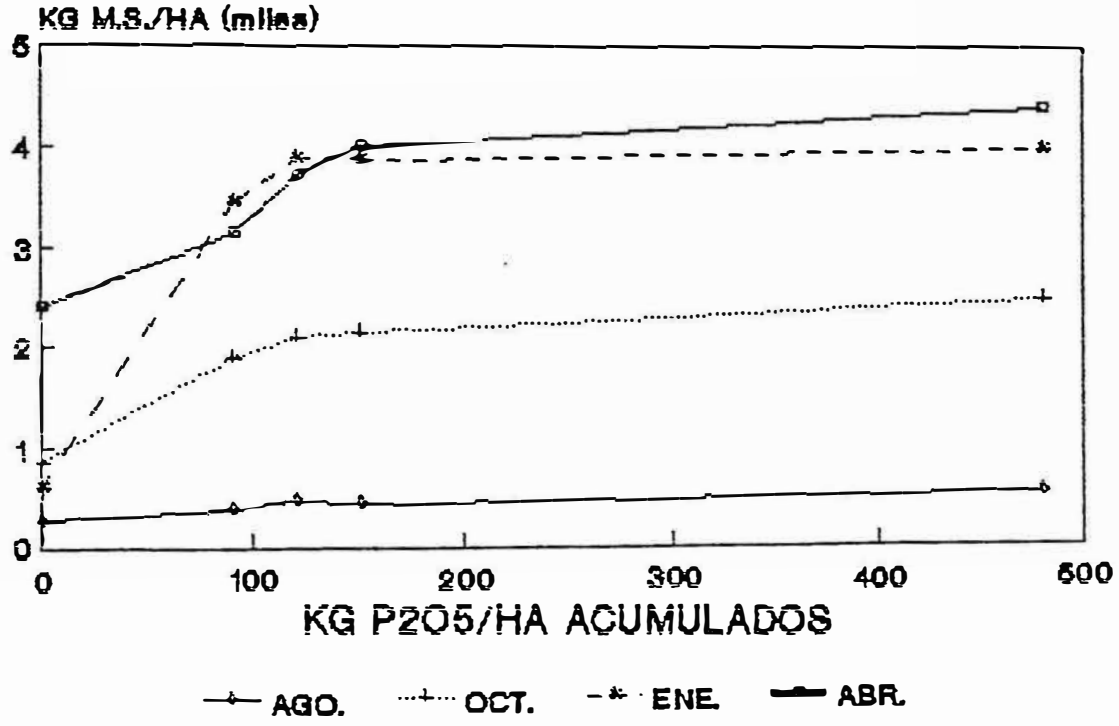


FIGURA No. 2 - Producción de materia seca (Kg/há) por corte, según la dosis de P acumulada (fuente: Superfosfato común).

En enero , surge una diferencia muy marcada entre el testigo y los tratamientos fertilizados, no encontrándose mayores diferencias entre los distintos tratamientos con P. Esto se explica por el porcentaje de lotus de la pastura, que fue menor al 10% en el testigo , mientras que en los restantes tratamientos superó el 70 % de la materia seca total producida. La alta producción y respuesta al P encontrada en este corte, también está explicada por la estacionalidad de la producción del lotus (el cual tiene su pico de producción en el verano).

El corte de abril se caracteriza por una alta producción de materia seca, mostrando sin embargo una menor respuesta al agregado de P comparado con los cortes anteriores. Esto se asocia, a una disminución del porcentaje de leguminosa en los tratamientos con agregado de P, comparados con el corte de enero. Por otra parte, se observan diferencias entre los tratamientos fertilizados con 30, 60 y 90 Kg de P205 en la instalación; lo cual mostraría una menor incidencia de la refertilización posterior y un mayor efecto del P residual para esas dosis.
No se descarta en este efecto la incidencia de condiciones climáticas favorables para la mineralización de formas orgánicas de P y aumento de la disponibilidad de P para la planta.

V.I.1.2.1. Residualidad del P agregado en la instalación de la pastura.

A los efectos de estudiar por separado, el efecto de la residualidad del P agregado en la instalación de la pastura, del efecto de las refertilizaciones anuales se analizaron los tratamientos que solo recibieron P a la instalación, comparándolos con el testigo y con el tratamiento de P no limitante.

En la figura No.3 se presenta un histograma de rendimiento relativo de los tratamientos que no fueron refertilizados respecto al tratamiento con P no limitante.

En la misma se observa que hay un efecto residual importante del P aplicado a la instalación, el cual varía muy poco con la dosis y la fuente utilizada. El tratamiento de P no limitante recibió en los años de duración del ensayo, 480 Kg/Há de P205; al compararlo con las dosis de 60 Kg de P205 a la instalación, vemos que éstas rindieron en promedio un 58 % de la producción máxima obtenida (P no limitante).

Para visualizar mejor el efecto de la fertilización fosfatada a la instalación, se compararon los tres tratamientos sin refertilización del histograma de la figura 3 contra el testigo por medio de un contraste ortogonal (ver Apéndice, Cuadro No.1, contraste No.1). En el mismo queda claro que el efecto residual del P es altamente significativo.

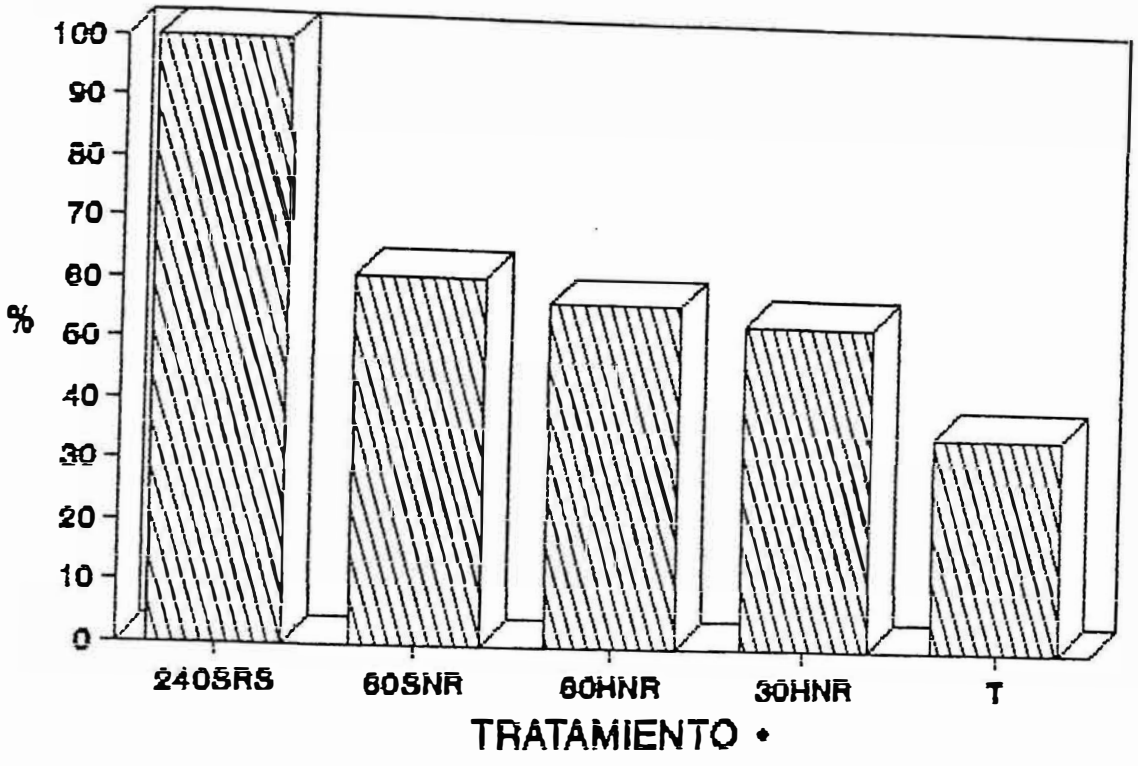


FIGURA No.3 - Residualidad del P agregado en la instalación de la pastura. Datos expresados en rendimiento relativo (tratamiento 240 SRS = 100).

- Residualidad en función de la dosis de P.

Para determinar si existe diferencia en el efecto residual según la dosis de P se realizó el contraste ortogonal correspondiente (ver Apéndice, Cuadro No.1, contraste No.2). El mismo, dió que la diferencia es no significativa, lo que nos muestra que no existe diferencia al tercer año entre agregar 30 o 60 unidades de Hiperfosfato a la instalación. Esto se debe a que el nivel de P del suelo tiende a su equilibrio a largo plazo, independientemente de la dosis inicial.

- Residualidad en función de la fuente.

Se compararon los tratamientos de nivel 60 a la instalación, entre super e hiperfosfato (ver Apéndice, Cuadro No.1, contraste No.3), el cual dió que la diferencia

es no significativa. De esto se concluye, que la residualidad del P fue independiente de la fuente utilizada a la instalación.

V.I.1.2.2. Respuesta a la refertilización anual con P.

- Respuesta global a la refertilización.

Si bien se observó un efecto residual del fósforo aplicado en la instalación de la pastura a los 3 años de la misma, también se observa una clara respuesta global a las refertilizaciones para todas las dosis utilizadas, (independientemente de la fuente utilizada).

Para estudiar este punto se realizó un contraste ortogonal, que compara los tratamientos refertilizados versus los no refertilizados. Resultando que la diferencia entre ambos grupos de tratamientos, es altamente significativa. (ver Apéndice, Cuadro No.1, contr. No.4). En promedio, los tratamientos refertilizados rindieron un 46 % más que los no refertilizados. Cabe destacar que mientras los primeros recibieron dos refertilizaciones, los segundos solo recibieron P en instalación.

- Respuesta a la refertilización en función de la dosis a la instalación.

En este punto se estudia si la dosis empleada en la fertilización inicial, afectó la respuesta de la pastura a las refertilizaciones posteriores de 30 Kg/Há de P_2O_5 anuales. A través del contraste No. 5 (ver apéndice, Cuadro No.1), se visualiza que existe una diferencia significativa entre ambos niveles de P utilizados en la instalación. Esto indica que las diferencias en las dosis iniciales se mantienen, a diferencia de lo que ocurrió cuando las parcelas no fueron refertilizadas.

Probablemente los tratamientos con mayores dosis de P a la instalación, tuvieron mayores poblaciones de leguminosas en los años anteriores, las cuales se mantuvieron con las refertilizaciones realizadas. Esto guarda relación con una mayor disponibilidad de P en estos tratamientos.

-Respuesta a la refertilización según fuente utilizada a la instalación.

A los efectos de detectar posibles diferencias se realizó el contraste No. 6 (ver Apéndice, Cuadro No.1), del cual se desprende que, no existió un efecto significativo de la fuente utilizada en la instalación, en la posterior respuesta a la refertilización.

La similitud en el comportamiento de las fuentes de P, es explicada por el carácter ácido de éstos suelos, donde la solubilización de la fosforita permite que la planta disponga de cantidades de P asimilable similares a las que le pueda proporcionar una fuente soluble.

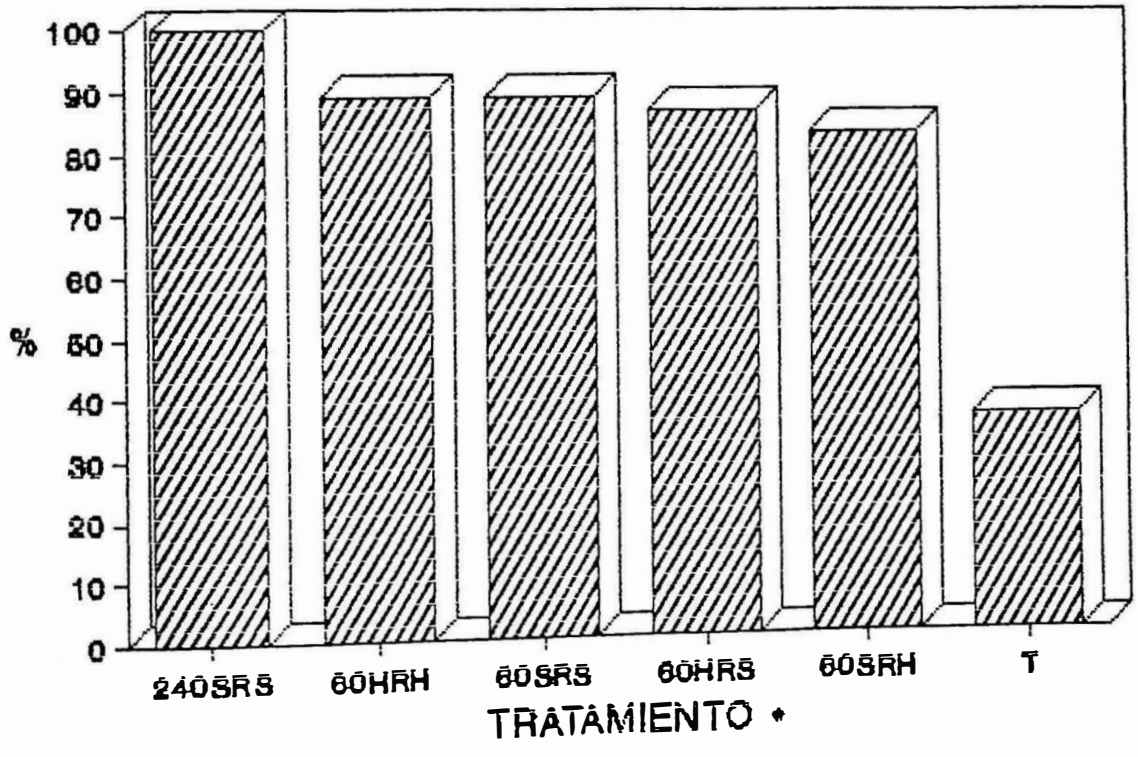


FIGURA No.4 - Fuentes de P a la instalación y en las refertilizaciones. Datos expresados en rendimiento relativo (tratamiento 240 SRS = 100).

En la figura No.4, se visualiza lo mencionado para el contraste anterior, o sea, que la respuesta a la refertilización no varió con la fuente de P utilizada en la instalación de la pastura. También queda claro que con una

dosis inicial de 60 Kg P205/há y refertilizaciones anuales de 30 Kg , se alcanza casi un 90% del rendimiento obtenido para el tratamiento donde el P no fue limitante.

-Respuesta a la refertilización según fuente de refertilización.

En la figura No.4, queda claro también, que la diferencia entre los tratamientos que se refertilizaron con diferentes fuentes es insignificante (ver Apéndice, Cuadro No.1, contrastes No. 7 y 8). De lo anterior se concluye que la respuesta a la refertilización es independiente de la fuente utilizada para refertilizar.

Los resultados indican la importancia de las refertilizaciones anuales en éste tipo de pasturas, desarrolladas sobre suelos derivados del Basamento Cristalino.

Como se observó anteriormente, la refertilización anual con 30 Kg/Há P205, significa en términos porcentuales alcanzar un rendimiento del orden de 87% del rendimiento máximo (con P no limitante). Por otra parte, las diferencias se manifiestan también a nivel de calidad de forraje, aumentando el porcentaje de leguminosas respecto a las gramíneas.(ver punto V.I.2.2.).

Otra cosa importante a destacar, es el comportamiento similar de las fuentes de P, cuya explicación radica en la acidez del suelo sobre el que se desarrolla la pastura. La acidez hace posible la solubilización del P del hiperfosfato, por lo que la cantidad de P disponible para la planta es similar a la encontrada cuando el P proviene de una fuente soluble, en este caso, superfosfato.

V.I.1.2.3. Evaluación de fuentes de P.

Análisis conjunto de tres alternativas tecnológicas.

Para estudiar en profundidad la respuesta a la refertilización según la fuente de P utilizada, se ajustaron regresiones lineales para los tratamientos:

- Hiperfosfato en instalación - Hiperfosfato en refertilización (H-RH).

- Hiperfosfato en instalación - Superfosfato en refertili-

zación (H-RS).

- Superfosfato en instalación - Superfosfato en refertilización (S-RS).

Considerados estas como tres alternativas tecnológicas posibles.

En cada regresión se utilizó como cero al testigo del ensayo, por lo cual el cero es común a las tres regresiones.

El modelo lineal que estima éstas regresiones es el siguiente:

$$y = a + bx$$

donde:

y: es el rendimiento estimado en Kg M.S/Há
a: intersección con el eje OY.(estimada).
b: coeficiente angular de la recta estimada
x: dosis de P en Kg de P2O5/Há.

En el siguiente cuadro No.5 se presentan las regresiones estimadas para la producción total anual.

CUADRO No.5 - Ajuste de regresiones para el efecto de las distintas fuentes de P utilizadas a la instalación y en la refertilización, sobre la materia seca TOTAL ANUAL. Análisis de varianza para las diferencias entre parámetros estimados.

TRAT.	r	a	b	t	P*
H-RH	0.960	4171.17	49.8	10.90	0.000
S-RS	0.953	4196.52	50.1	10.00	0.000
H-RS	0.957	4305.00	50.3	10.44	0.000

* Las probabilidades indicadas como 0.000 son menores a 0.0001.

Analisis de varianza:

Fuente	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	Prob
Diferencias	4	180073.050	45018.262	0.06	n.s.
Dif.en nivel	2	176591.981	88295.990	0.13	n.s.
Error	32	21633160.048	676036.251		
Dif.en ángulo	2	3481.069	1740.535	0.00	n.s.
Error	30	21629678.978	720989.299		

El ajuste de los modelos lineales fue bueno, como se indica en el cuadro No.5. En el mismo también se indica el análisis de varianza, a los efectos de estudiar si las diferencias en coeficiente angular y ordenada en el orígen entre las regresiones estimadas eran significativas. De acuerdo a los valores de F encontrados, no existen diferencias en los parámetros a y b de las ecuaciones para los diferentes tratamientos. Si bien entre los valores de a (ordenada en el orígen) no hay diferencias por ser rectas concurrentes a un mismo valor promedio del testigo del ensayo, entre las pendientes de las ecuaciones tampoco existen diferencias significativas.
Esta ausencia de diferencias entre las pendientes indica una similar eficiencia de las tres alternativas en términos de producción de materia seca por unidad de P agregado, dentro del rango de dosis ensayadas.

Cuando se analizó cada corte por separado, el resultado fue el mismo que para la producción anual en todos los cortes menos en el de agosto (ver Apéndice, cuadros No. 7, 8, 9 y 10), donde se encontraron ajustes bajos de las regresiones. Se debe tener en cuenta que este corte de agosto tuvo un coeficiente de variación muy alto, debido al escaso crecimiento y alta variabilidad no explicada en el ensayo en ese momento.

- Evaluación de fuentes solubles: superfosfato y supertriple.

Para finalizar el estudio de fuentes de P, se realizó un contraste (ver Apéndice, cuadro No.1 contraste No.9) donde se compararon aquellos tratamientos que recibieron superfosfato contra los que recibieron supertriple. El análisis muestra una superioridad significativa del superfosfato respecto al supertriple .

Esta superioridad podría deberse solamente a dos

cosas; al azufre que contiene el superfosfato en su composición, para lo cual deberíamos contar con el análisis foliar de azufre a los efectos de determinar si está siendo limitante o no, y en segundo término se podría deber a la diferente concentración de P de ambas fuentes, ya que cuando se usa el supertriple se aplica una menor cantidad de fertilizante que de superfosfato en la misma superficie, podría existir entonces un problema de distribución del supertriple, lo que limitaría su performance.

Al analizar cada corte por separado se observó que la superioridad del superfosfato respecto al supertriple encontrada para la producción anual fue explicada por los cortes de agosto y abril (ver Apéndice, cuadros No.: 2, 3, 4 y 5, contraste No.9), mientras que en los demas cortes las diferencias no fueron significativas.

V.I.1.3. - Residualidad del encalado a la instalación.

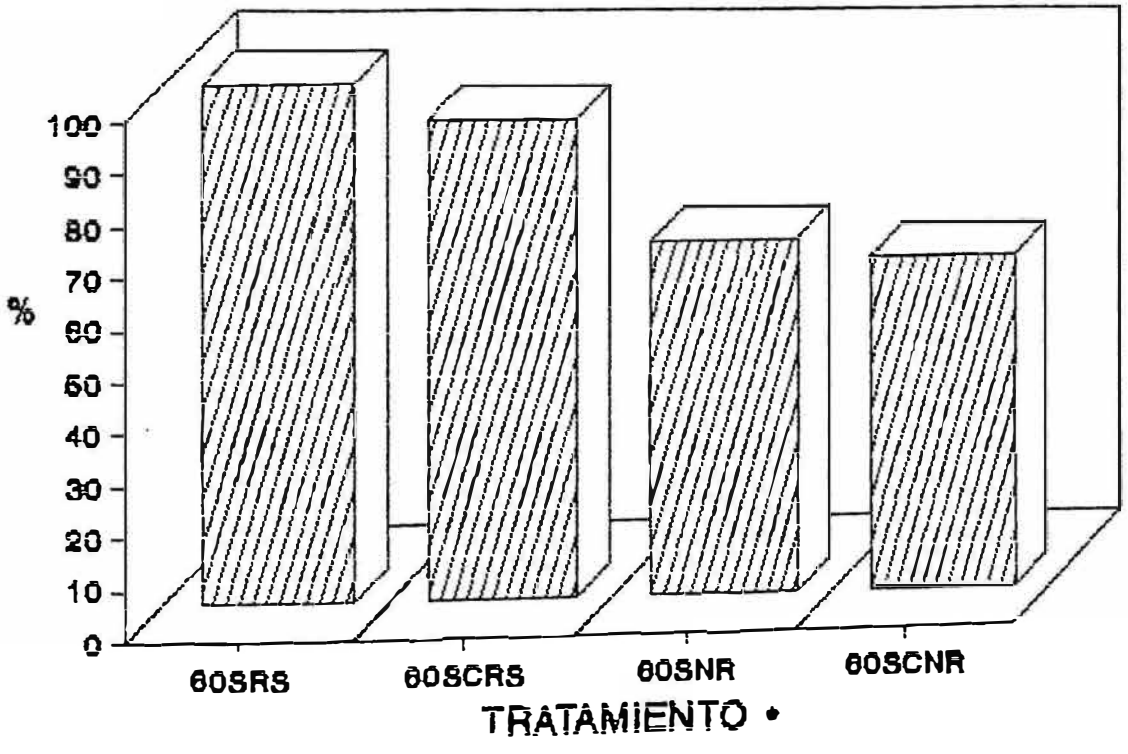


FIGURA No.5 - Rendimiento relativo en materia seca total de los tratamientos con o sin cal, para la dosis de 60 unida-

des de P por há (tratamiento 60 SRS =100).

Se estudió el efecto residual del encalado realizado en la instalación, y su posible interacción con la respuesta a P. En la figura No.5 se indica para una dosis de P a la instalación el efecto del encalado y la refertilización.

En la figura, se observa que el efecto principal es el de la refertilización, donde las parcelas refertilizadas rindieron un 50 % más que aquellas no refertilizadas.

El efecto de la cal no es claro, se observa una leve depresión en el rendimiento (aunque no significativa - ver apéndice, cuadro No.1 contraste No.10) que fue de un 6 % en las parcelas encaladas.

Lo que se puede concluir de lo anterior, es que al tercer año no hubo efecto residual del encalado realizado en la instalación de la pastura (1 ton. cal/Ha).

- Residualidad y refertilización.

Para verificar si el encalado pudo afectar la respuesta a la refertilización, se compararon los tratamientos, refertilizado y no refertilizado, en el nivel 60 S con cal, por medio de un contraste ortogonal (contraste No.11 - cuadro No.1 del apéndice); el cual dió altamente significativo para la producción total y por corte, con lo que se confirma que el encalado no afectó la respuesta a la refertilización.

V.I.1.4. Alternativas de mejoramiento del campo natural.

- Respuesta global a los mejoramientos.

Se analizaron tres alternativas posibles de mejoramiento del campo natural:

- Incorporación de leguminosas en cobertura sobre el campo natural, sin fertilización fosfatada.

- Incorporación de leguminosas en cobertura y fertilización fosfatada sobre campo natural.

- Fertilización fosfatada y nitrogenada al campo natural.

Los resultados en producción de materia seca de los tres mejoramientos y el del campo natural, se presentan en el siguiente histograma.

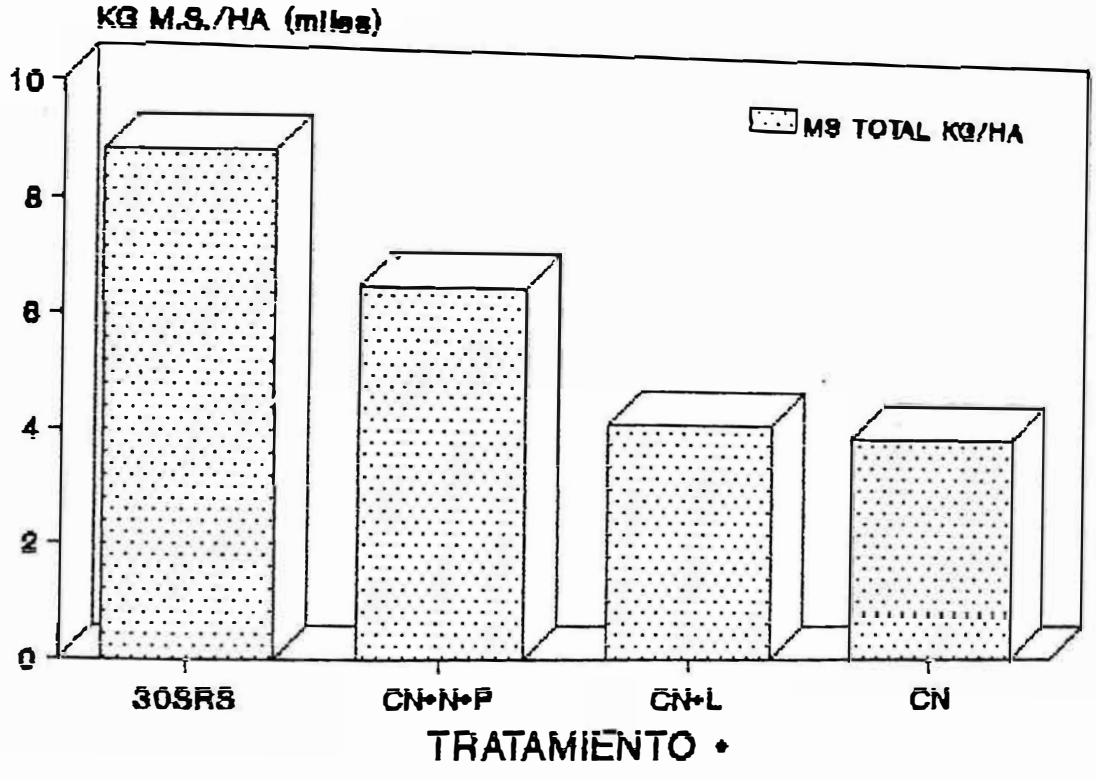


FIGURA No. 6 - Diferentes alternativas de mejoramiento del campo natural, en Kg de M.S.T./há.

En la figura anterior se observa que cuando se agregó lotus al campo natural, la diferencia fue mínima en términos de producción de materia seca respecto al testigo, sin embargo cuando se agregó fertilizante, la producción aumentó un 50 %.

La pastura no mejora a consecuencia de la sola introducción de leguminosas sin la aplicación de P, en este tratamiento la leguminosa prácticamente no se implantó (9 % de Lotus determinado por estimación visual), debido probablemente a que el P del suelo no fue suficiente para cubrir los niveles mínimos.

La respuesta global de los tratamientos con agregado

de fertilizantes se analizó por medio de un contraste ortogonal, el cual dió que la diferencia es altamente significativa (ver apéndice, Cuadro No.1, cont. No.12).

El campo natural fertilizado con N y P, fue superior al campo natural más lotus solamente, pero produjo un 27 % menos que el tratamiento con lotus más fertilizante (30 Kg/há de P2O5), diferencia que resultó altamente significativa (ver apéndice, cuadro No.1, contraste No.13).

Esta última diferencia, está diciendo que cuando se agrega fertilizante, es conveniente también la incorporación de leguminosas, ya que éstas tienen un mayor potencial de rendimiento que les permite responder a un aumento en la fertilidad del suelo; o lo que es lo mismo, que la pastura nativa se compone de especies adaptadas de bajo potencial productivo, que no son capaces de responder eficientemente al agregado de nutrientes como N y P.

V.I.2. RENDIMIENTO DE LEGUMINOSA.

V.I.2.1. Efecto del rendimiento y porcentaje de leguminosa en el rendimiento total de materia seca.

- Comentarios sobre utilidad de datos:

Composición botánica gravimétrica, cabe mencionar, que los datos de la misma que analizaremos corresponden solo a dos de los cuatro bloques que componen el ensayo. Las repeticiones para cada tratamiento presentaron una gran variabilidad (ver apéndice, cuadro No.11) por lo cual el análisis estadístico se limitó a ajustes de regresión para producción de materia seca total en función del % y rendimiento de leguminosa para todos los datos del ensayo.

Composición botánica determinada por estimación visual: la misma fue realizada para los cuatro bloques (ver apéndice, cuadro No.12), la limitante del método radica en que es un valor subjetivo que depende del criterio personal del observador; además, cabe aclarar que lo que se estima es el área cubierta por cada componente de la pastura, lo que no es una estimación de la cantidad de forraje relativo de los mismos.

- Relación, entre la producción de la leguminosa y la

producción total de la pastura.

Para analizar ésta relación, primero se graficaron ambas variables para los cortes de octubre, enero y abril (ver figura No.7).

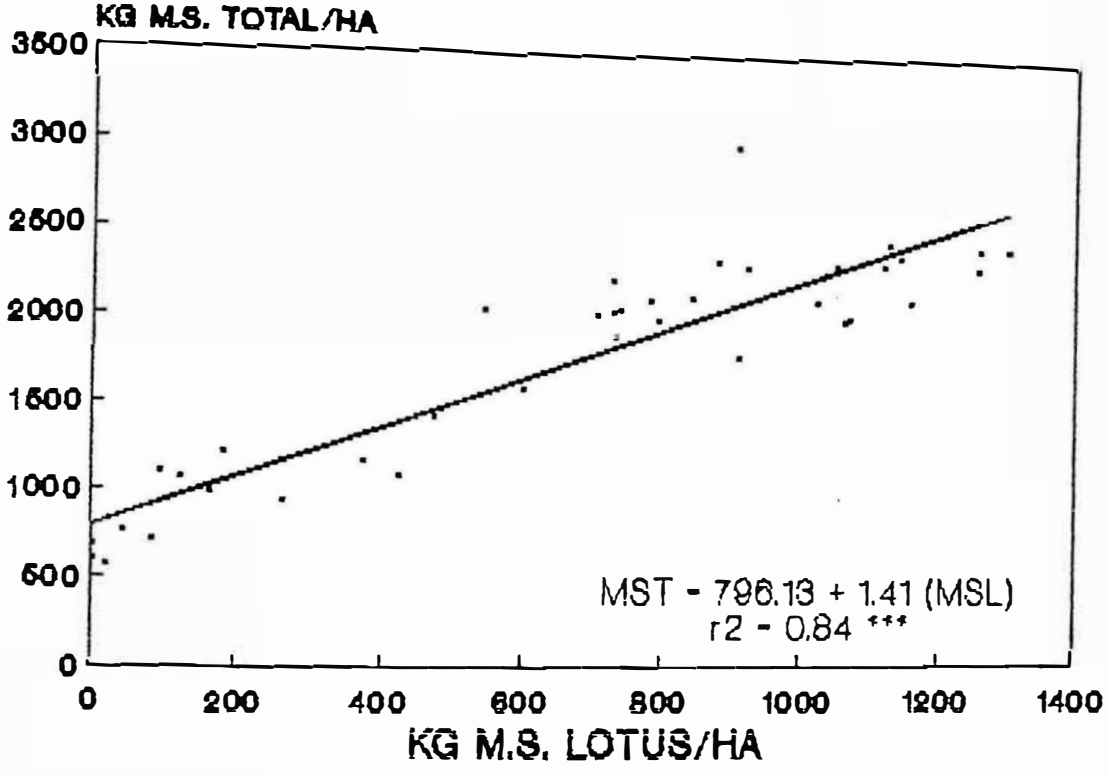


FIGURA No.7 - Relación entre la materia seca del lotus y la materia seca total, para el corte de octubre, en Kg/há.

Como se observa en la gráfica, se ajustó una regresión de tipo lineal simple para estudiar la relación entre las variables, encontrando que el 84 % ($r^2 = 0.84$) de la variación, fue explicada por la regresión. Si se observa la distribución de los puntos en la gráfica, se puede ver que los mismos tienden a agruparse en dos sectores de la misma, uno es entre 0 y 400 y el otro entre los 650 y 1200 Kg MS/há de producción del Lotus; estos dos grupos se corresponden con los tratamientos no refertilizados y refertilizados, respectivamente.

Por otra parte, la distribución de puntos muestra un

aumento en el rendimiento de la materia seca total a medida que aumenta el rendimiento de materia seca del lotus, hasta un punto aproximado correspondiente a los 2000 Kg de materia seca total, luego del cual la tendencia es a la estabilización del rendimiento de la misma. Esto se corresponde con 800 Kg de lotus, lo que daría un porcentaje del orden del 40 % de lotus. Los tratamientos por encima de los valores mencionados corresponden a las parcelas refertilizadas, donde son más notorias las diferencias en calidad (% de lotus) que en rendimiento de la pastura.

La relación entre la producción de materia seca total y del lotus, también se graficó para el corte de enero (figura No.8), el cual mostró mayor producción de M.S. que el corte de octubre. También se ajustó una recta para esta relación, tal como se ve en la figura.

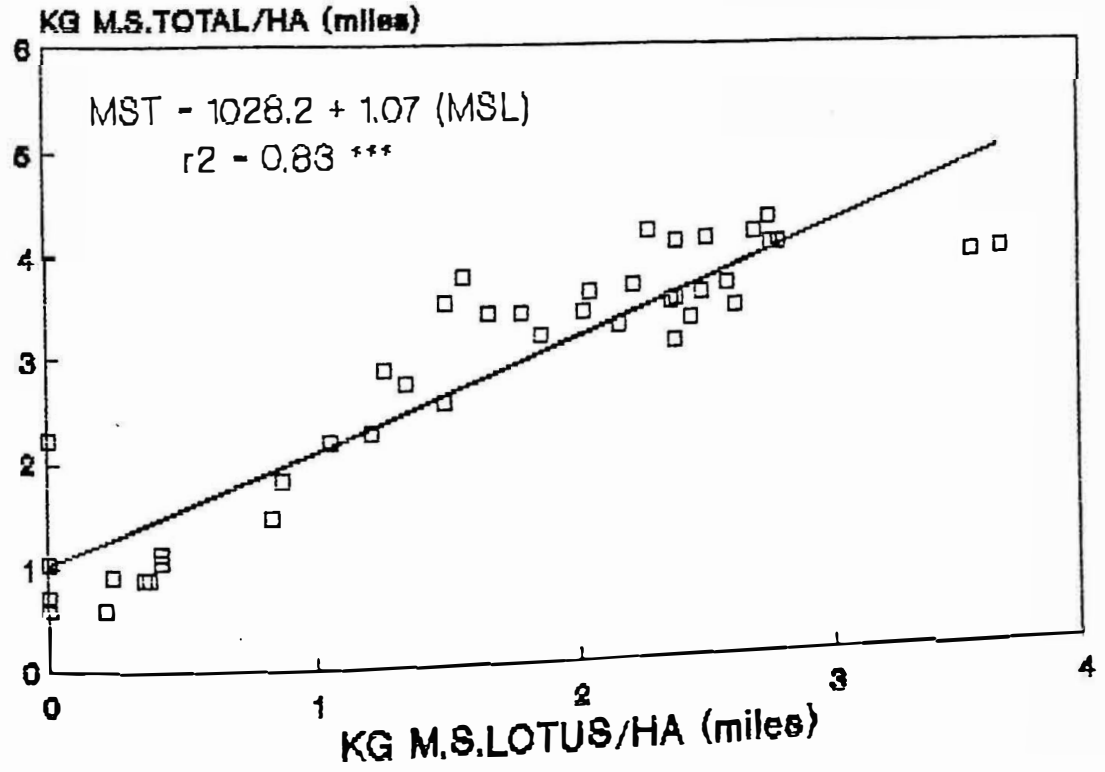


FIGURA No.8 - Relaciones entre la materia seca del lotus y materia seca total para el corte de ENERO.

Para el corte de abril también se graficó la producción de materia seca total versus lotus (figura No.9): en

la misma se observa que la asociación entre las variables es muy baja, existiendo tratamientos con alta producción de MS total (más de 2500 Kg/há), y muy poco lotus en su composición, asi como también de tratamientos con alta producción del lotus y no por ello aumentos significativos en la materia seca total.

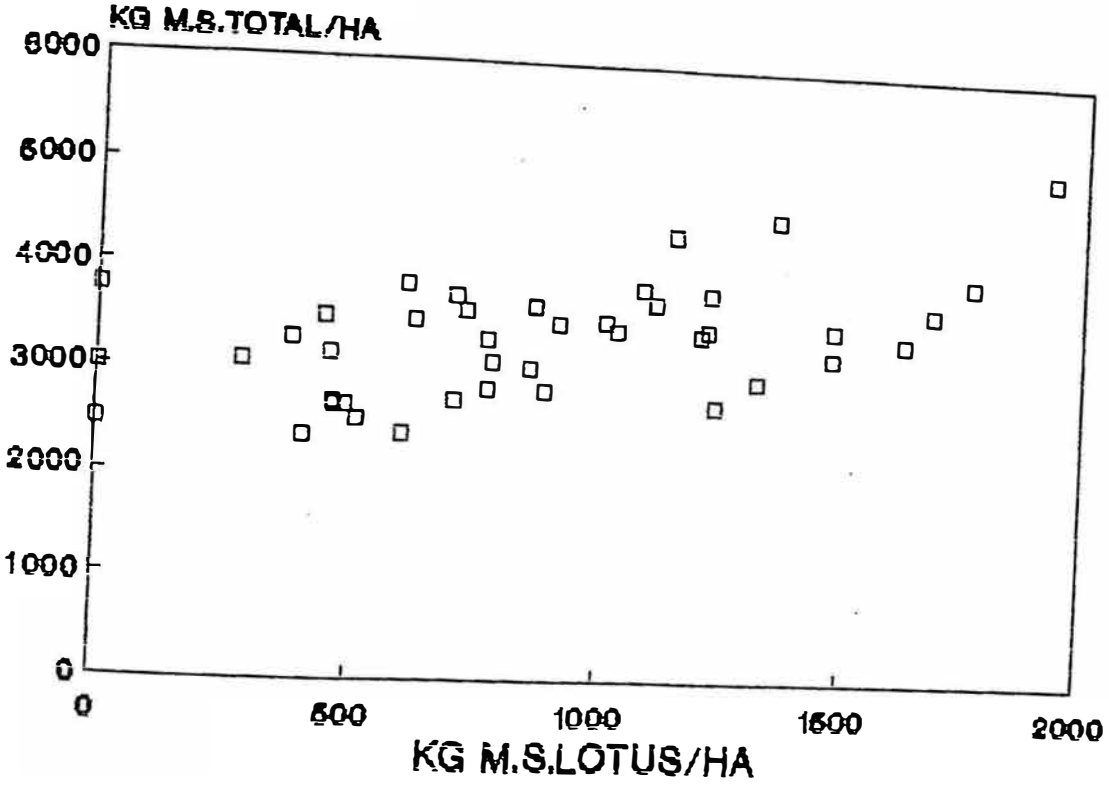


FIGURA No.9 - Relaciones entre la materia seca del lotus y materia seca total para el corte de ABRIL.

El corte de abril fue el que presentó mayor producción de materia seca de los cuatro, debido seguramente a las buenas condiciones para el crecimiento que se dieron hacia el final del verano, y según los resultados observados, el componente que más respondió a las mismas, fue la gramínea, probablemente por mayores niveles de N en el suelo hacia fines del verano.

El corte de invierno también fue estudiado, no encontrándose relaciones claras debido a que fue un corte donde el lotus tenía un escaso crecimiento.

Para la producción anual, también se graficó la relación entre la materia seca total y la materia seca de la leguminosa, lo cual se presenta en la figura No.10.

En la misma se observa más claramente el agrupamiento de los puntos en dos sectores de la gráfica comentados para el corte de octubre; a pesar de lo cual se puede decir que, la tendencia que muestra la misma es una alta asociación entre las dos variables, o sea que una alta producción de la leguminosa determina una alta producción de la materia seca total de la pastura, a lo largo del año. La regresión estimada confirma lo anterior:

M.S.T. = 4807.8 + 1.06 M.S.L. r2= 0.81

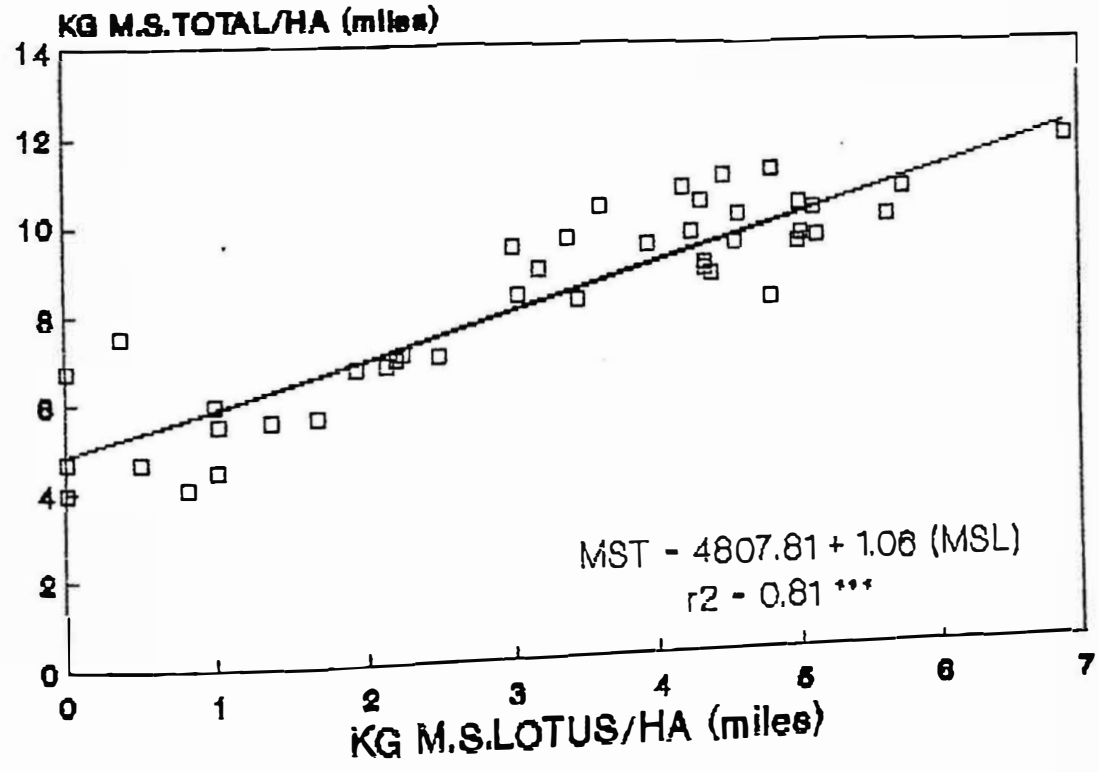


FIGURA No.10 - Relaciones entre la materia seca del lotus y la materia seca total para la producción TOTAL ANUAL.

- Relación, entre el % de Lotus y la producción total de materia seca.

Para el corte de octubre, se graficó la producción total de materia seca versus el % de Lotus gravimétrico, figura No.11.

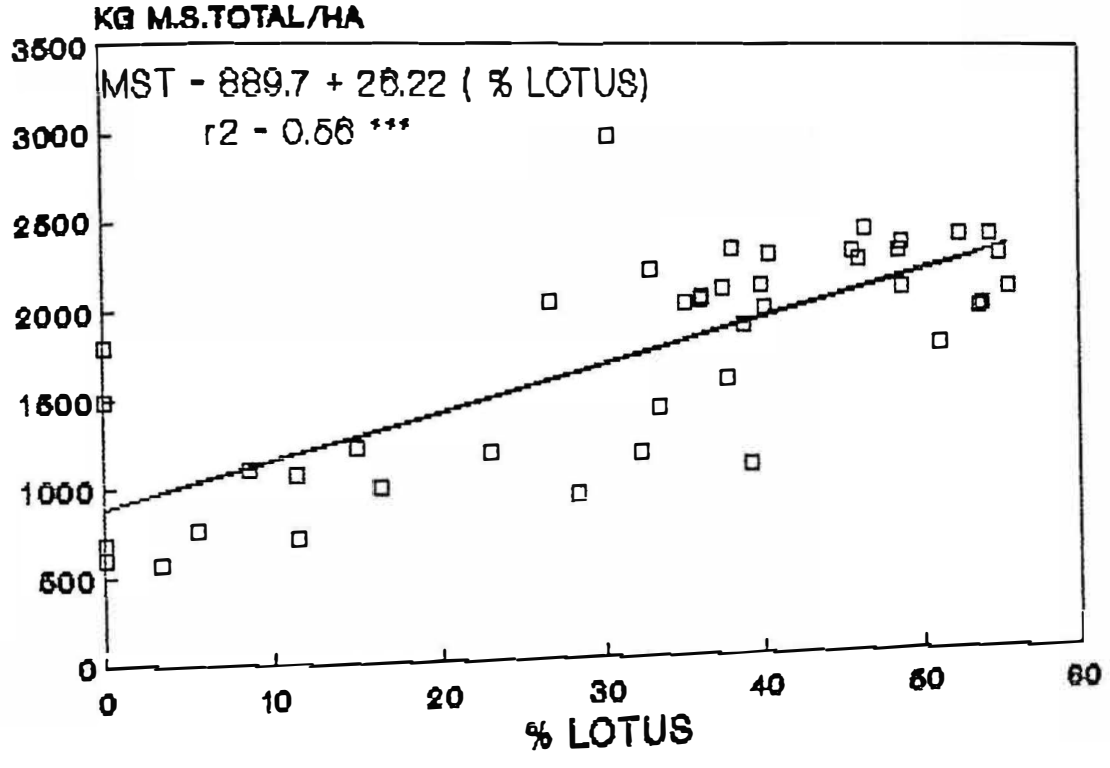


FIGURA No.11 - Relaciones entre el % de lotus y la producción total de materia seca, para el corte de OCTUBRE.

Aunque existe cierta dispersión de los puntos, se observa la tendencia de aumento de los rendimientos de materia seca total a medida que aumenta el porcentaje de lotus. Tal como se observó en la figura No.7, por encima del 40 % de lotus en la pastura, no hay aumentos significativos de la producción de materia seca total por aumento en el porcentaje de lotus.

- Relación entre, % Lotus determinado visualmente y % de Lotus gravimétrico.

La relación entre ambas variables, se muestra en la figura No.12, donde lo primero que se observa es la agrupa-

ción de puntos en dos sectores de la gráfica, también se puede observar en la misma, que ambos grupos de puntos muestran una diferente relación entre las variables: mientras en el grupo de valores bajos, ambas variables muestran un nivel similar, en el otro grupo se ve claramente que los valores de % de Lotus gravimétrico son menores que los valores determinados por estimación visual.

O sea, a altos niveles de producción de forraje, el método de estimación visual (cabe recordar que lo que se observa es área cubierta) sobrestima el contenido real de Lotus del forraje; mientras que a bajos niveles de producción este método es un buen estimador del % real de Lotus en el forraje. Esto se debe probablemente al porte de las plantas de lotus en altos porcentajes de área cubierta, que enmascaran las gramíneas que se desarrollan debajo, las cuales contribuyen en buena forma en el porcentaje en peso de la mezcla.

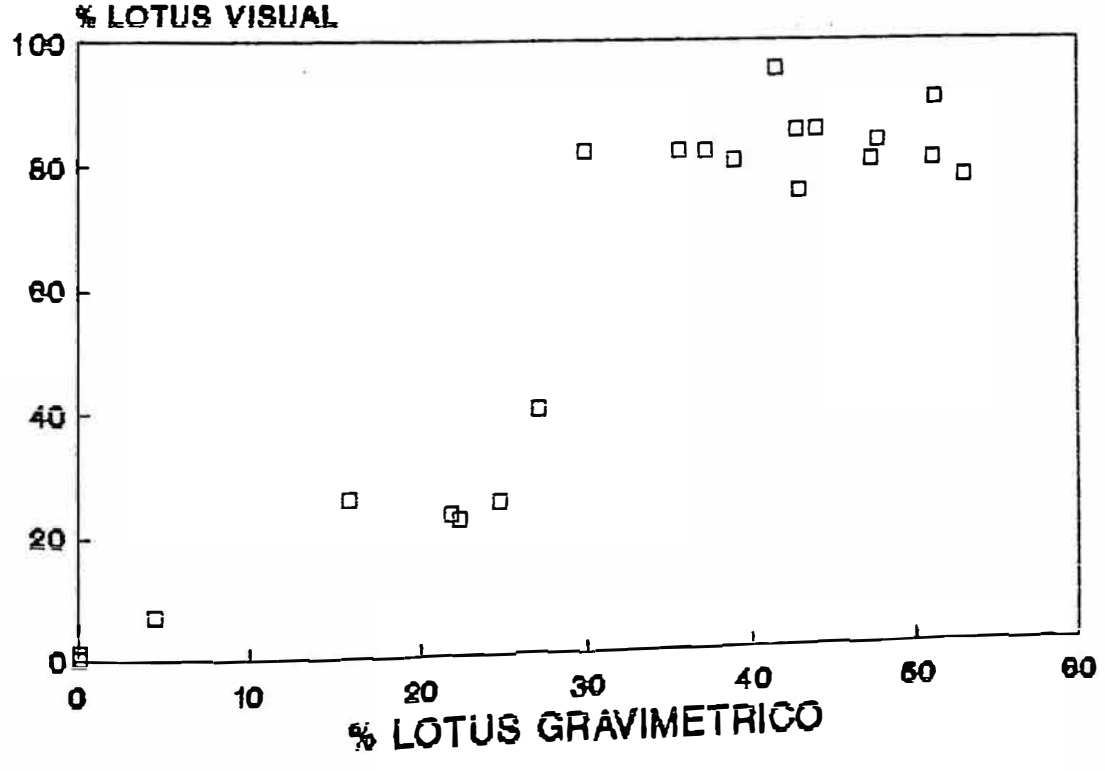


FIGURA No.12 - Relaciones entre porcentaje de lotus por estimación visual y por método gravimétrico.

V.I.2.2. Efecto del agregado de P en el % de Lotus.

En la figura No.13, se presenta el porcentaje de lotus gravimétrico de varios tratamientos.

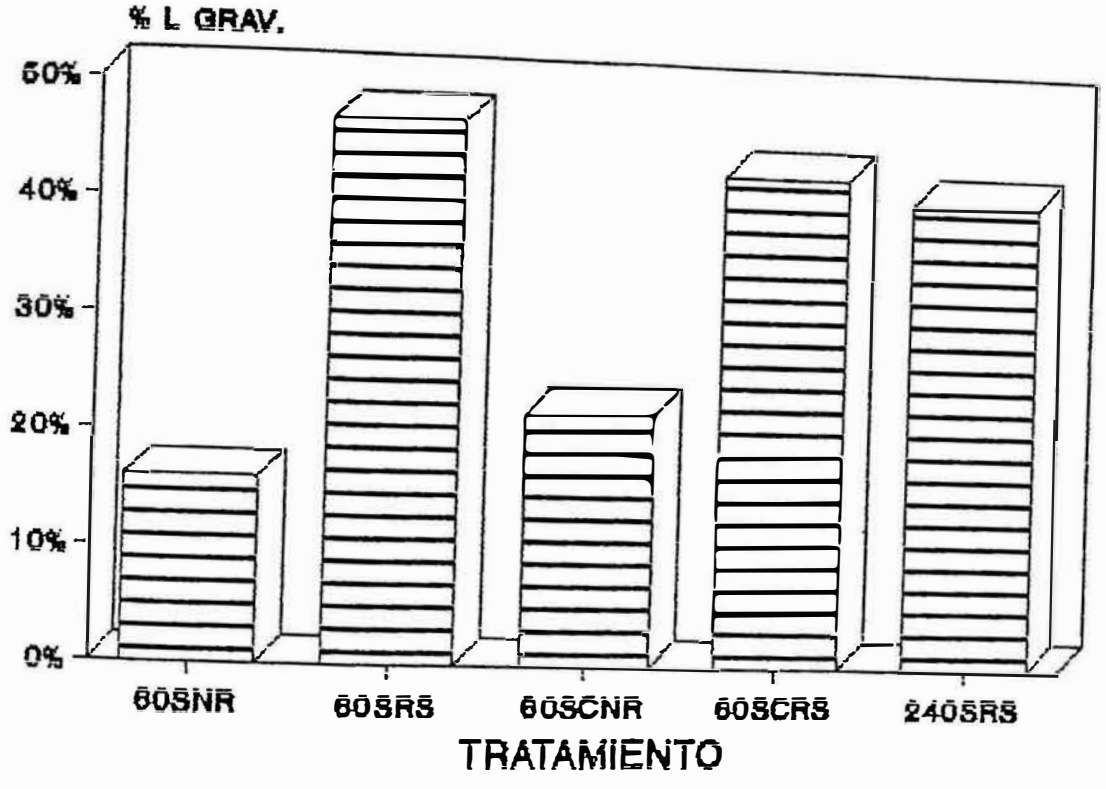


FIGURA No.13 - Porcentaje de lotus para tratamientos con o sin encalado en la dosis de 60 Kg P2O5/há en la instalación, con y sin refertilización, comparados con el tratamiento con fósforo no limitante, corte de OCTUBRE.

En el histograma anterior se observa, primero una respuesta importante del % de lotus a la refertilización, también porcentajes de lotus similares en parcelas refertilizadas con poco P acumulado y parcela de P no limitante, lo cual indica sobre todo la importancia de la refertilización en el porcentaje de lotus aunque sea con dosis bajas, y por último en cuanto al encalado, se observa cierta tendencia del tratamiento con cal sin refertilizar a tener mayor porcentaje de lotus.

V.I.3. CONTENIDO DE NUTRIENTES EN LA MATERIA SECA.

V.I.3.1. Absorción de fósforo.

V.I.3.1.1. Absorción total y por corte.

En el cuadro No. 13 del apéndice, se presentan los valores de Kgs de fósforo absorbido por la pastura en cada tratamiento, para los dos bloques analizados.

En la figura No.14, se observa que al aumentar la dosis de fertilizante, aumentó la absorción de fósforo, siendo más marcada en el rango 0-90 Kg de P205/ha acumulado; en el rango entre 90-150, el aumento de la extracción es de menor magnitud, lo cual se debe a que realmente existiría poca diferencia en el P del suelo en ese rango, ya que correspondería solamente al P aplicado en la instalación del ensayo, y sujeto a una retrogradación importante en los dos años previos. Por otra parte, para los niveles 90, 120 y 150 se utilizó la misma dosis de refertilización.

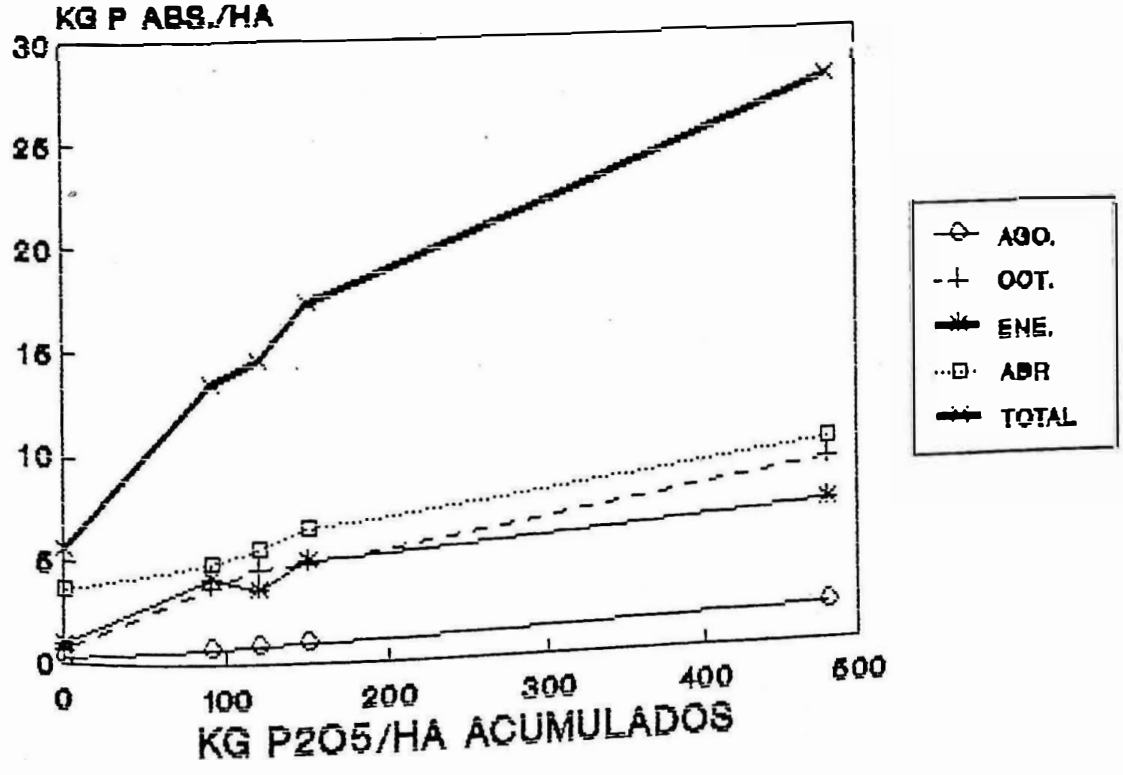


FIGURA No.14- Fósforo absorbido total (lotus más gramínea) anual y por corte según la dosis de fertilizante acumulado.

En el mes de abril fue cuando la pastura extrajo mayor cantidad de fósforo del suelo; esto se asocia a una alta producción de materia seca para esa fecha; si lo comparamos con el corte de enero, donde la producción de materia seca fue igual o superior a la de abril dependiendo de la dosis, vemos que el % de fósforo fue siempre mayor en abril (ver apéndice, cuadro No.14), lo que indicaría una mayor disponibilidad de P en el suelo para la planta hacia el final del verano, ya sea por condiciones ambientales favorables para la mineralización del P orgánico (alta temperatura y humedad), o por condiciones favorables para el desarrollo radicular, que hubieran determinado una utilización más eficiente del P del suelo.

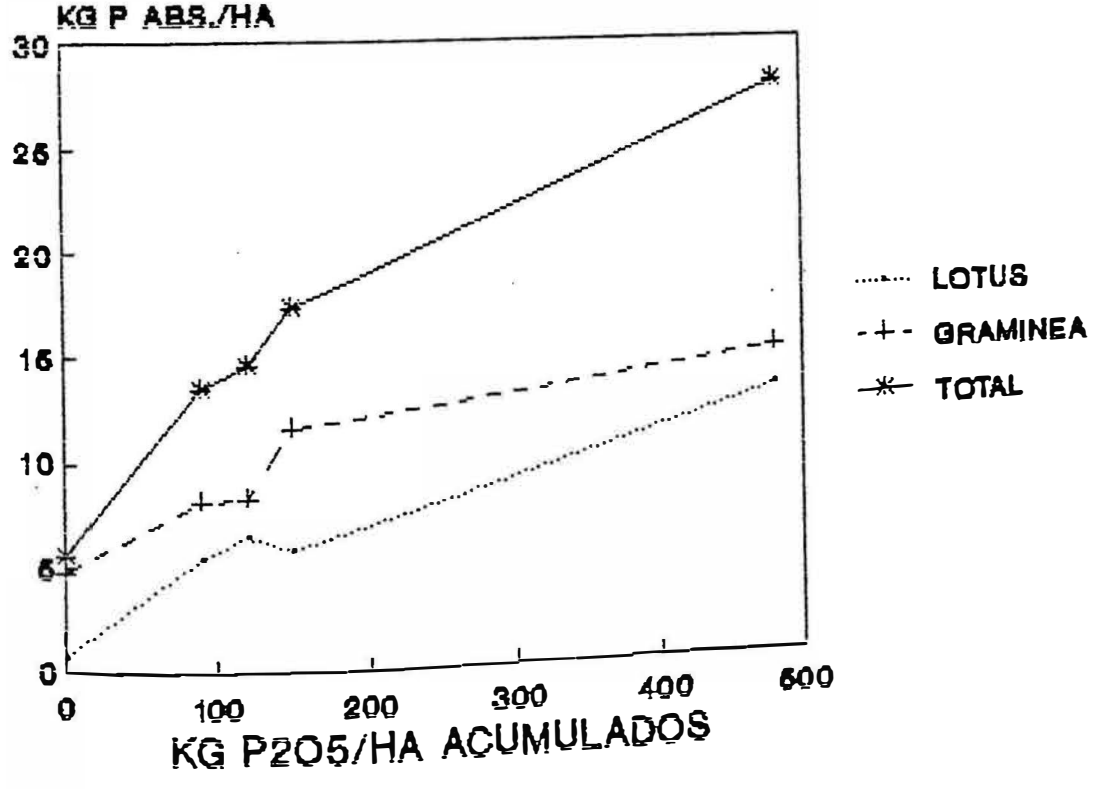


FIGURA No.15- Fósforo absorbido por la leguminosa y por la gramínea, a lo largo del año según la dosis acumulada de

fertilizante fosfatado.

En el otro extremo, observamos el corte de agosto, que se caracterizó por una muy baja producción de materia seca, por lo que no se pudo manifestar el efecto del fertilizante.

En la figura No.15, se observa el P extraído por la gramínea y la leguminosa en el total de los cortes. En la misma se ve que la gramínea extrajo más P que la leguminosa, esto se debió simplemente a que las gramíneas fueron dominantes en la composición botánica y produjeron más Kg de M.S. También se observa, que entre la dosis 90 y 150, al aumentar el P extraído por la gramínea disminuye el de la leguminosa y viceversa, lo que indicaría cierta compensación entre los componentes de la pastura en cuanto a la extracción de P.

En la gráfica correspondiente al corte de enero, que fue el que más explicó la respuesta anual en materia seca, se ve tambien claramente como entre las dosis 90 y 480, los dos componentes de la pastura manifiestan su compensación en la absorción de fósforo (ver apéndice, figura No.1).

También se graficó la extracción de P de los dos componentes de la pastura para el corte de abril (ver apéndice, figura No.2) el cual presentó también una alta producción de materia seca. En la misma también se observa claramente que al aumentar el P extraído por uno de los componentes disminuye el del otro. Esto se da en el rango de dosis 0-150, por encima de 150 unidades, ambos componentes aumentan el P extraído; lo cual era de esperar, puesto que en este tratamiento el P no sería limitante.

P absorbido por la pastura, en diferentes tratamientos.

En la siguiente figura (No.16), se ilustra la absorción relativa de fósforo de diferentes tratamientos respecto al de fósforo no limitante (nivel 240 de P2O5). En la misma se observa que el P absorbido total, sigue la misma tendencia que la materia seca producida por los mismos (ver cuadro No.2); sin embargo las diferencias entre los tratamientos son aparentemente más marcadas en cuanto a P absorbido, lo que significaría que hubo más P disponible en algunos casos, esto se verifica al observar el % de P en la planta (ver figura No.17).

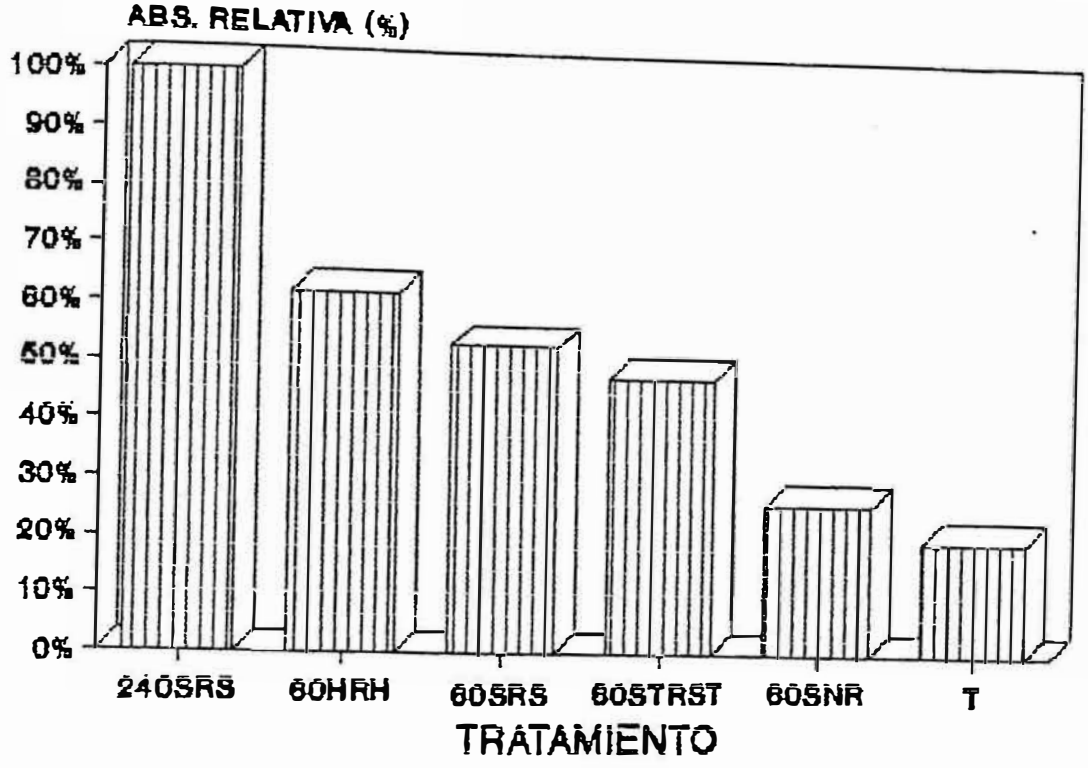


FIGURA No.16- Fósforo absorbido total anual, en diferentes tratamientos, relativo al tratamiento con P no limitante.

Por otro lado, se observa claramente la superioridad ya vista de los tratamientos con refertilización. Se observan algunas diferencias entre fuentes para la misma dosis de fósforo, siendo mayor la absorción (y también el % de P promedio) para el hiperfosfato. Superfosfato común dió a su vez mayor absorción que el supertriple, aunque ambos no difirieron en los porcentajes promedio de P. Esto podría estar descartando la hipótesis de una menor cantidad de gránulos en las parcelas con supertriple, y por lo tanto, de pocas zonas de suelo con alta concentración de P.

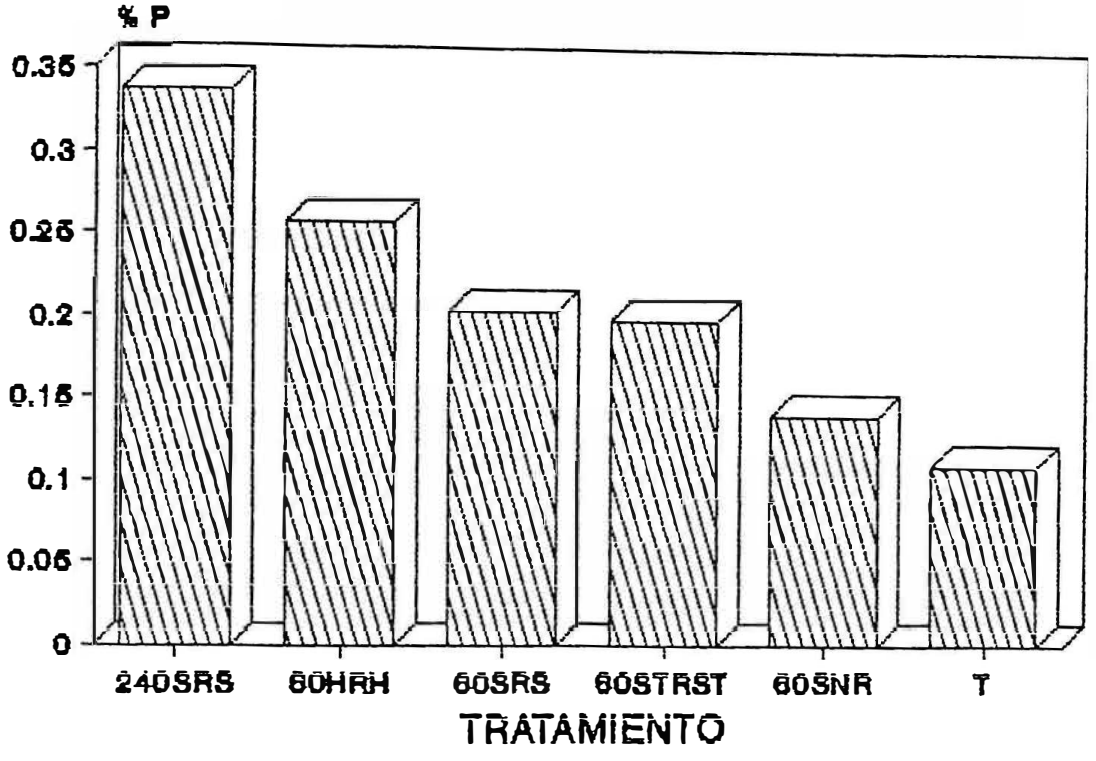


FIGURA No.17 - Porcentaje de P foliar, en diferentes tratamientos, promedio anual.

- P absorbido total anual, en los tratamientos con y sin cal.

En la figura No.18, se ilustra en un histograma el P absorbido por los componentes de la pastura, en diferentes tratamientos con cal y sus respectivos sin cal.

En la misma se observa, que cuando las parcelas fueron refertilizadas, el tratamiento con cal muestra una leve superioridad; resultado que es inverso al encontrado para la producción de materia seca (ver figura No.5), por lo que es de esperar un mayor % de fósforo en planta en esos tratamientos.
En el histograma también se visualiza, una mayor absorción de P del tratamiento 60 S no refertilizado respecto al testigo, lo que esta indicando un cierto efecto residual del P aplicado a la instalación del ensayo en su tercer

año.

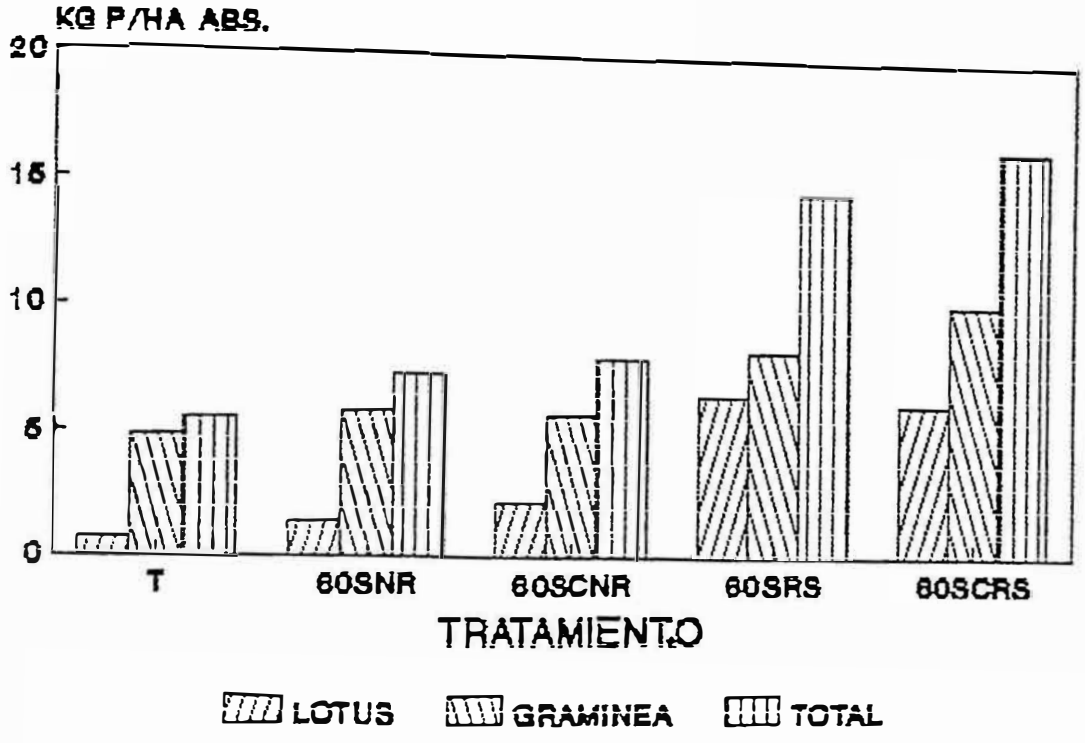


FIGURA No.18 - Fósforo absorbido total anual en tratamientos con y sin encalado, y con y sin refertilización, comparados con el testigo para las dos fracciones de la mezcla y el total.

V.I.3.1.2. Porcentaje de P en planta.

En el cuadro No.14 del apéndice, se pueden observar los valores de % de P, para todos los tratamientos analizados y en dos repeticiones.

- Porcentaje de P en gramínea y leguminosa según dosis de fertilizante fosfatado, en cada corte.

En la figura No. 19, se observa que el % de P varía con las estaciones, con la dosis de P y con los componentes de la pastura.

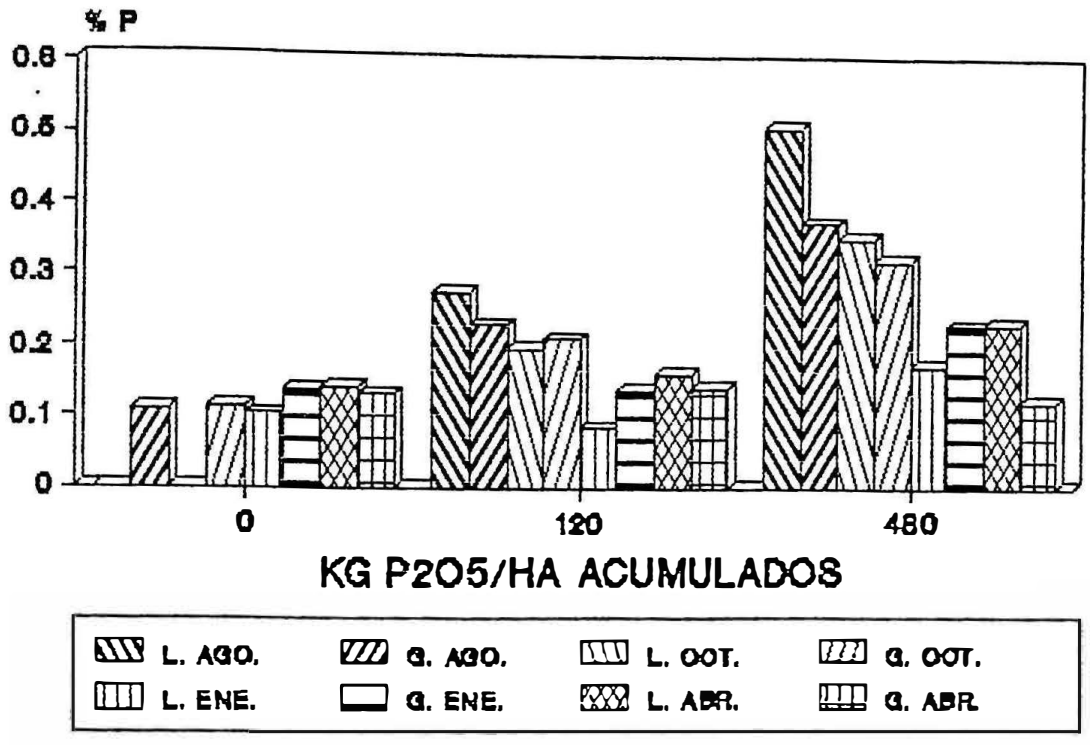


FIGURA No.19 - Porcentaje de P foliar en lotus y gramíneas, según dosis de P, para los cuatro cortes.

Lo primero que se visualiza, es que el % de P en ambos componentes de la pastura aumenta al aumentar la dosis de fertilizante.

En cuanto a las estaciones, los cortes de agosto y octubre son los que aparecen con mayor % de P, lo cual era de esperar ya que son los cortes que presentaron menor producción de materia seca; en los mismos seguramente, existieron otras limitantes de crecimiento que provocaron ese aumento en la concentración de P en la planta que no se traduce en producción de forraje.
Enero y abril, fueron dos cortes en donde la producción de materia seca fue alta, por lo que se podría decir que no existieron limitantes ambientales importantes al crecimiento; en el histograma no se observan claras diferencias entre ambos.

Relación entre el % de P en planta y la producción de materia seca.

En la figura No.20, se observa como varían, el % de P de la pastura y la producción en Kg de materia seca en el corte de enero.

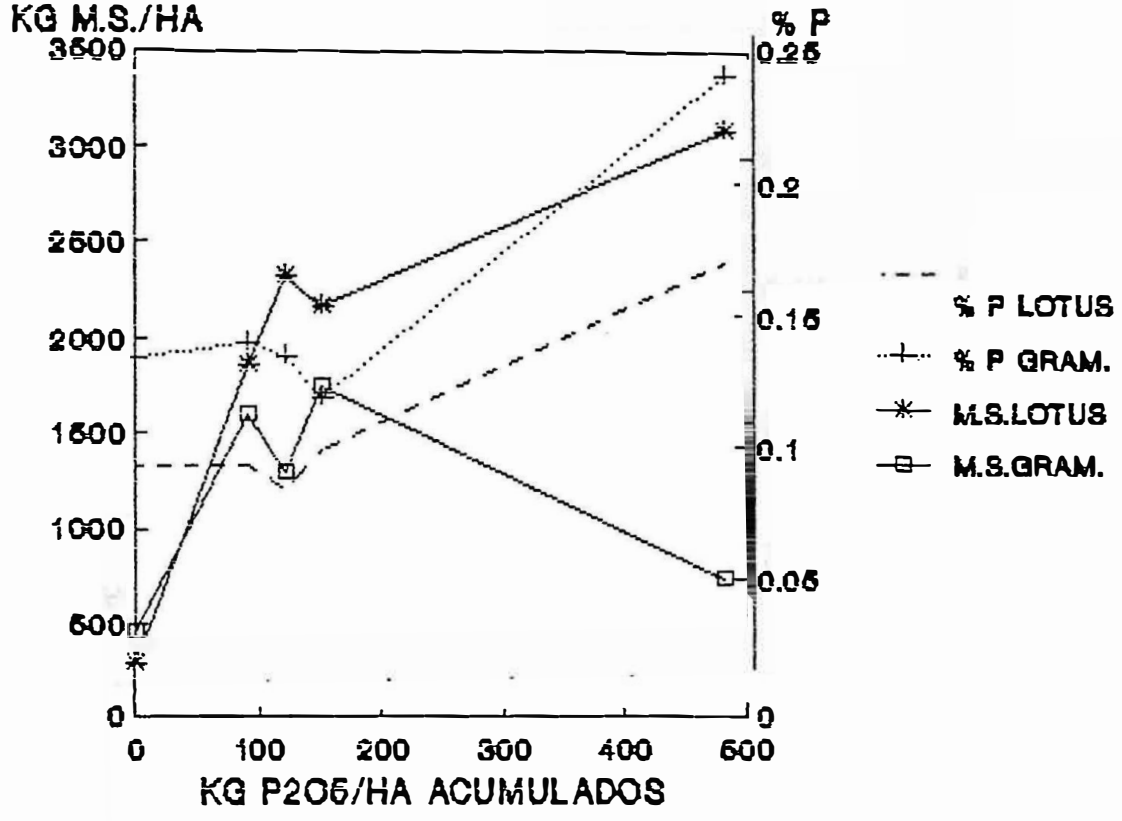


FIGURA No.20- Producción de materia seca y porcentaje de P para la fracción leguminosa y la fracción gramínea en función de la dosis acumulada de fósforo para el corte de enero.

En la gráfica se observa que a las dosis mayores de P la gramínea tiende a disminuir su producción de materia seca, mientras aumenta marcadamente su % de P, lo que significa que sus requerimientos ya están satisfechos a esas dosis de P habría un "consumo de lujo" de P. Para el Lotus se observa que el rendimiento en materia seca sigue aumentando, mientras su porcentaje de P se incrementa rápidamente. Esto indicaría que a esos niveles de P en el suelo, la leguminosa también tiene consumo de "lujo".

Otro aspecto a resaltar de la gráfica anterior se da entre el testigo y la dosis 90 donde se ve que aumenta considerablemente la producción de M.S. del Lotus y de la gramínea, siendo mayor el incremento de la leguminosa; mientras el % de P no varía mucho. La leguminosa responde más al P agregado pasando a dominar en la composición botánica.

V.I.3.1.3. Relaciones: P absorbido - producción de M.S.

Se graficó la producción de materia seca total anual según el P absorbido (figura No.21); solo se tomaron 5 tratamientos para realizar la gráfica por falta de datos, ya que no se realizó análisis foliar de todos los tratamientos en todos los cortes (ver: materiales y métodos).

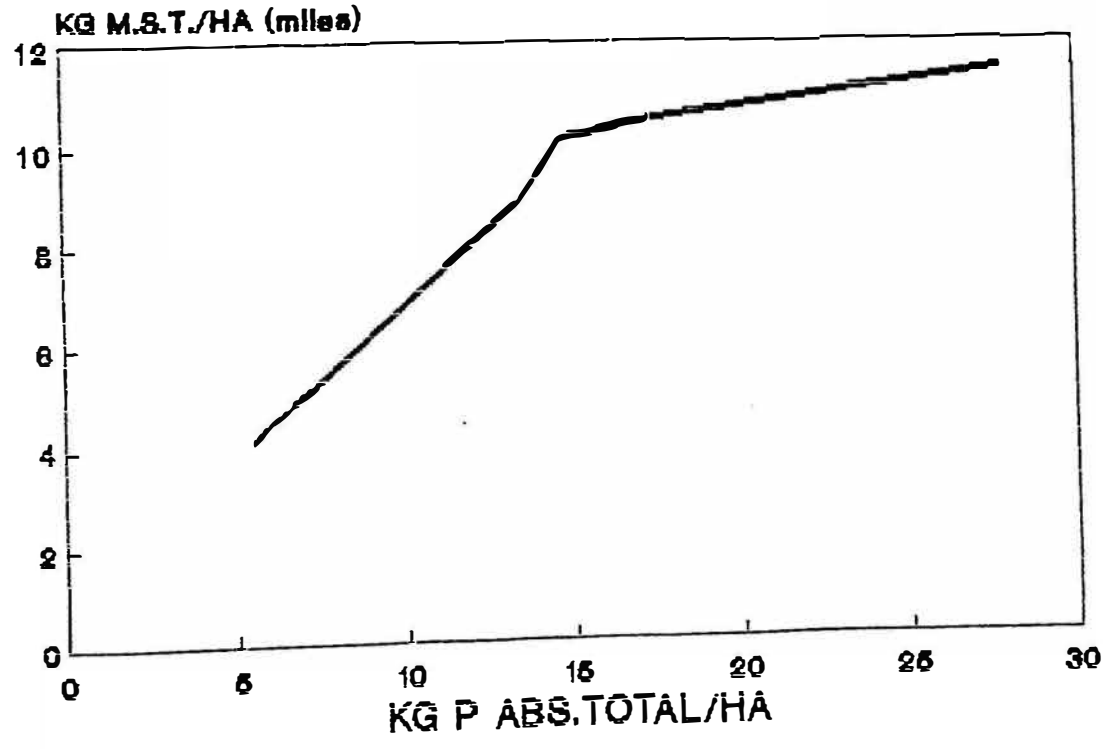


FIGURA No.21- Producción de materia seca total anual en función del P absorbido total anual.

En la gráfica se observa, que los mayores incrementos en materia seca por Kg de P absorbido se dan hasta los 15 - 20 Kg/há de P absorbidos, para luego ser menor el aumento en la producción de M.S. con la absorción de P. O sea que, la pastura por encima de cierto nivel continúa absorbiendo fósforo, sin que se traduzca en materia seca.

Para los cortes de agosto y octubre, se ajustó una regresión de tipo lineal a la relación entre éstas dos variables, siendo las ecuaciones encontradas:

Agosto: M.S.T. = 191.03 + 188.501 (P.A.T.)
Correlación: 0.824 ***

Octubre: M.S.T. = 801.11 + 244.958 (P.A.T.)
Correlación: 0.916 ***

Como se puede ver el ajuste de ambas regresiones, resultó altamente significativo.

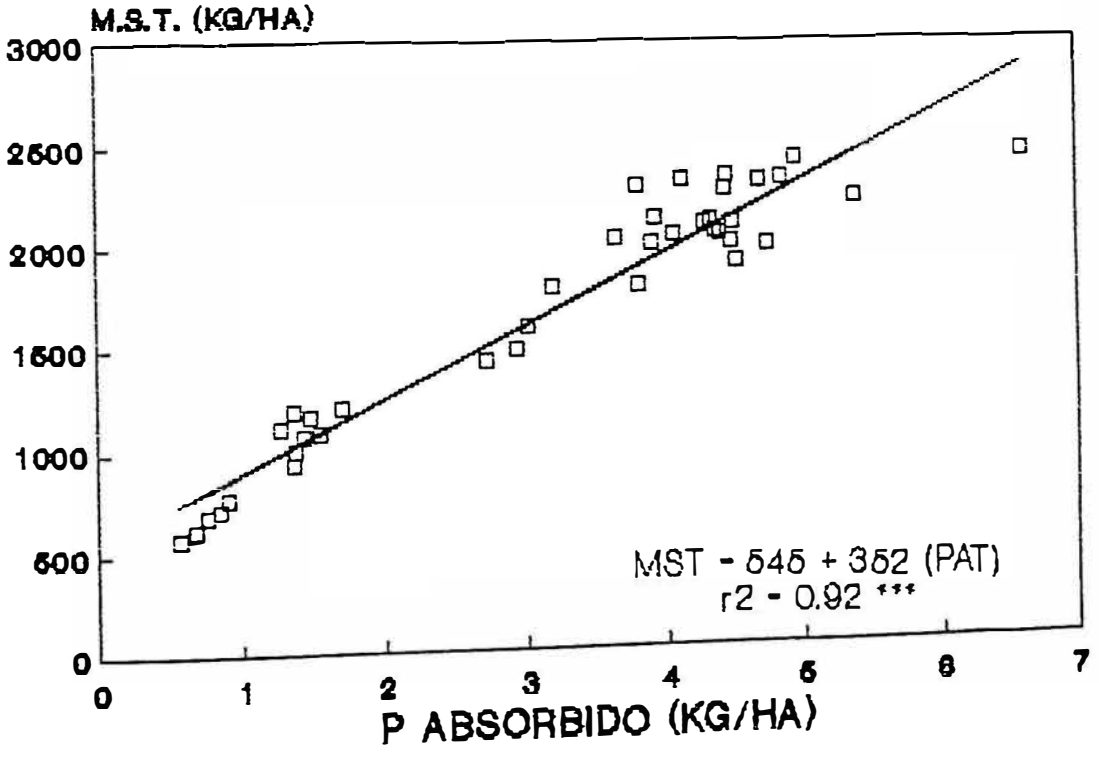


FIGURA No.22- Producción de materia seca en función del fósforo absorbido para el corte de octubre.

Para el corte de octubre, también se graficó la producción de materia seca total versus el P absorbido total (figura No.22), con los resultados de todos los tratamientos del ensayo (menos el de P no limitante), ya que para este corte sí se realizó el análisis foliar de todos.

En la gráfica se observa que la tendencia es a un aumento de la producción de materia seca a medida que aumenta el fósforo absorbido hasta cierto punto donde la producción de forraje tiende a detenerse mientras la absorción de P continúa. De todas maneras tal como se ve en la figura se intentó el ajuste de una regresión de tipo lineal, encontrándose una alta correlación entre las dos variables ($r2 = 0.92$).

Como se observa en la figura (No.22), a partir de los 5 Kg/há de fósforo absorbido aproximadamente el rendimiento no aumenta en función del fósforo, éste punto indicaría el nivel crítico de P absorbido, por encima del cual el aumento en absorción de P no se traduce en aumento de materia seca. Es decir, de acuerdo con la función ajustada, 5 Kg de P absorbido estan en 2305 Kg de materia seca. Por lo tanto, el % de P crítico sería del orden de 0.22 % .

- Producción de materia seca y absorción de P, según el nivel de fertilización.

En la figura No.23, se muestra el comportamiento de ambas variables a medida que aumenta la dosis de fertilizante fosfatado acumulado en los tres años del ensayo, para el total de los cortes.

Como se observa en la figura, ambas variables aumentan hasta la dosis de 150 unidades, después de ese nivel hasta la dosis 480, la absorción de P sigue aumentando mientras que la producción de forraje tiende a estabilizarse; esto indica que a esos niveles de fertilizante, se da un consumo de "lujo" de fósforo que no se traduce en materia seca.

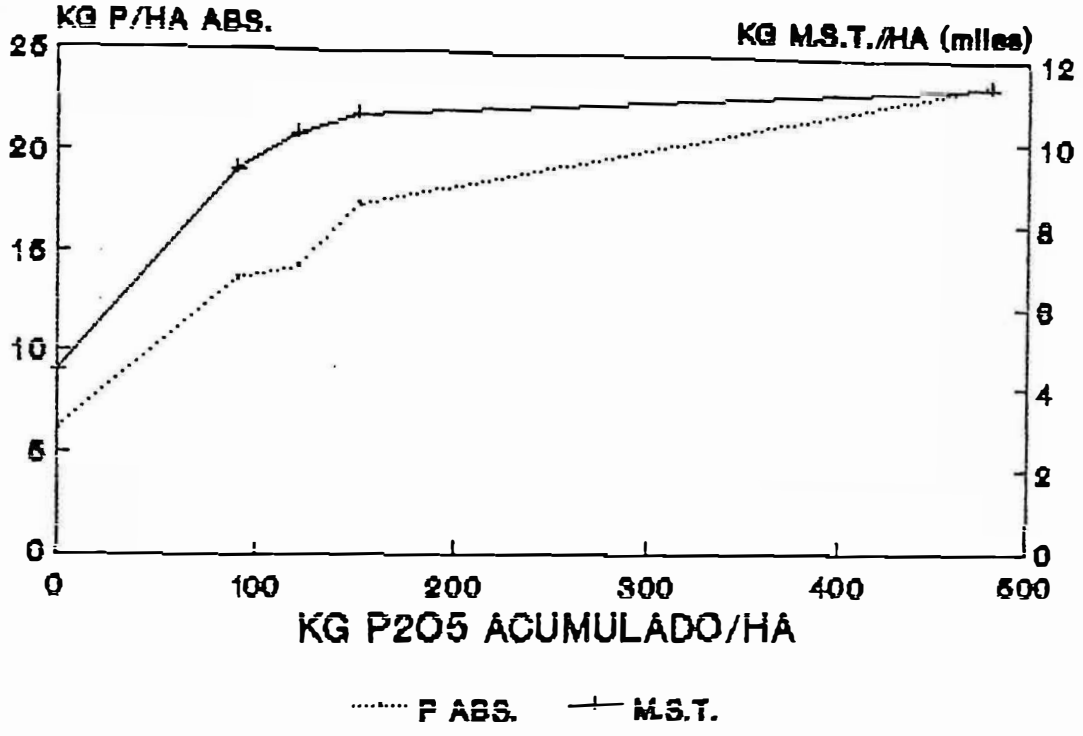


FIGURA No.23 - Fósforo absorbido y materia seca anual en función de la dosis acumulada de fósforo.

V.I.3.1.4. Eficiencia del fósforo absorbido en producción de materia seca.

El índice de la eficiencia del P absorbido, se calculó, dividiendo los Kg de materia seca producidos sobre los Kg de P absorbidos por la pastura, por há. El mismo se calculó para todos los tratamientos a los que se les hizo análisis foliar, cuyo resultado se puede ver en el cuadro No.15 del apéndice. Como se observa en el mismo, los tratamientos se ordenaron según la dosis de fertilizante fosfatado acumulado; y la tendencia que se observa, aunque no muy clara es a disminuír la eficiencia a medida que aumenta la dosis de P.

En el siguiente cuadro (No.6), se presenta el índice

de eficiencia mencionado, para los tratamientos con refertilización (diferentes niveles iniciales) cuya fuente de fósforo fue el superfosfato, y además el tratamiento testigo.

CUADRO No.6 - Eficiencia de producción de materia seca del fósforo absorbido. (Kg/há M.S. / Kg/há P absorbido).

CODIGO	DOSIS P	AGO.91	OCT.91	ENE.92	ABR.92	TOTAL
1	0	259	920	796	750	704
8	90	401	500	847	693	669
17	120	828	493	983	673	699
19	150	408	435	784	622	603
20	480	465	298	544	659	478

En el cuadro No.6 se puede ver lo mencionado anteriormente, la eficiencia del P absorbido disminuye a medida que aumenta el nivel de fertilizante fosfatado.

Al analizar la diferencia entre los cortes, se ve que el de mayor eficiencia fue el de enero, el cual tuvo una alta producción de materia seca al igual que el corte de abril, sin embargo este último, presenta un índice de eficiencia menor que el de enero.

Por otro lado, el corte de agosto, que fue el de menor producción de materia seca, presenta también los menores índices de eficiencia, lo que indica, que en invierno la pastura absorbió P que no se tradujo en materia seca. Esto era de esperar ya que la leguminosa utilizada es de ciclo estival.

El testigo, como se puede observar presenta un alto índice de eficiencia, lo cual nos podría decir que la pastura nativa es más eficiente que el Lotus en el uso del fósforo absorbido.
Para aclarar esto, también se calculó este índice de eficiencia, por un lado para la gramínea y por otro para la leguminosa, cuyo valores se pueden ver en los cuadros No.16 y 17 del apéndice, en el cuadro No.7 se presentan en forma resumida (solo algunos tratamientos, y para el total

anual). En los mismos se puede observar que en la mayoría de los tratamientos el lotus resultó más eficiente que la gramínea en la utilización del P absorbido. O sea que la superioridad en eficiencia que mostró el testigo, no se debe a que la gramínea sea más eficiente que el Lotus, sino que se debe a que la pastura natural esta adaptada a bajos niveles de fertilidad de suelo, y por lo tanto produce forraje absorbiendo muy poco P.

CUADRO No.7 - Eficiencia de producción de materia seca anual del P absorbido por los dos componentes principales de la pastura. (Kg M.S./Kg P abs.).

CODIGO	DOSIS P*	GRAMINEA	LEGUMINOSA
1	0	683	854
8	90	618	746
17	120	653	756
19	150	574	662
20	480	512	448

* La dosis indicada es la dosis acumulada de P (Kg P2O5/há) al tercer año.

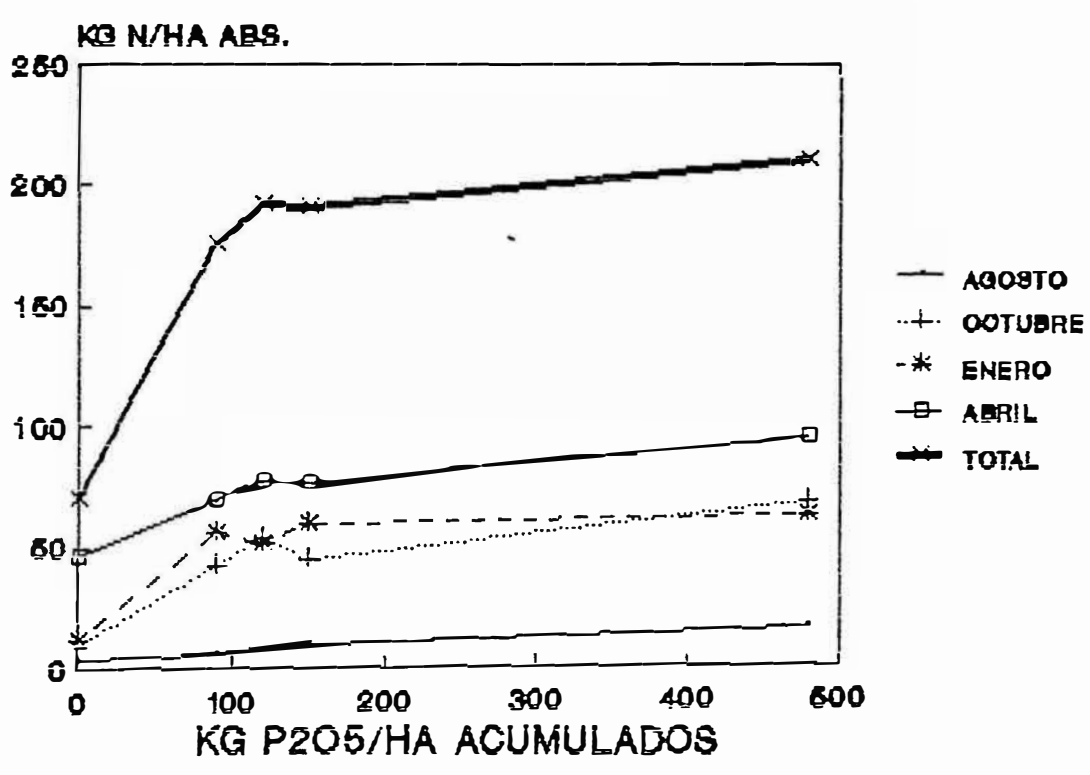
Se podría concluír, que a bajos niveles de P en el suelo la pastura natural es más eficiente que la leguminosa en el uso del mismo; pero que al aumentar el nivel de P, la leguminosa es más eficiente en aprovechar ese aumento de la fertilidad del suelo.

V.I.3.2. Absorción de Nitrógeno.

En el cuadro No.18 del apéndice se presenta el nitrógeno absorbido por la pastura en todos los tratamientos que fueron analizados.

Se graficó el nitrógeno absorbido total por la pastura, por corte y anual, en función de la dosis de fertilizante fosfatado (figura No.24). En la misma se observa claramente como al aumentar la dosis de P, la pastura absorbió más nitrógeno, esto se debe a que al haber más P

en el suelo, se favorece la leguminosa, la cual expresa su potencial productivo a altas dosis de P, pasando a dominar en la composición de la pastura. Esto provoca un aumento en el N foliar, no solo porque las leguminosas en general son más ricas en proteínas que las gramíneas sino que también porque al aumentar la fijación simbiótica de N, éste también es utilizado por las gramíneas, aumentando su crecimiento y calidad como forrajera. No obstante, la diferencia importante en la absorción de nitrógeno se da entre el testigo y los tratamientos fertilizados con fósforo.



GRAFICA No.24 - Efecto de la dosis de P en la absorción de N, por corte y anual.

También se graficó la absorción de N de la leguminosa y de la gramínea, anual (ver apéndice, figura No.3). En la misma se observa como al aumentar la dosis de P, aumenta la absorción de N de la pastura, siendo mayor el incremento de la leguminosa. Esto se debe a que la leguminosa es el componente de la pastura que se favorece más directamente

con el agregado de P.

Con respecto al porcentaje de nitrógeno en planta, en el cuadro No.19 del apéndice se indican los % de N para los tratamientos analizados, y en las figuras No.25 y 26 se indica el % de N en leguminosa y gramínea en función de la dosis de P para cada corte. De la información presentada surge que:

- el % de N varía en forma importante en los diferentes cortes,

- los mayores % de N los presenta la fracción leguminosa,

- no existe una variación muy marcada del % de N en función de la dosis de P, sobre todo para la fracción gramínea, para la fracción leguminosa se observa un aumento en el % de N para los cortes de agosto y octubre, lo cual indicaría una mayor dependencia de la leguminosa de altos niveles de P para el desarrollo y fijación de N.

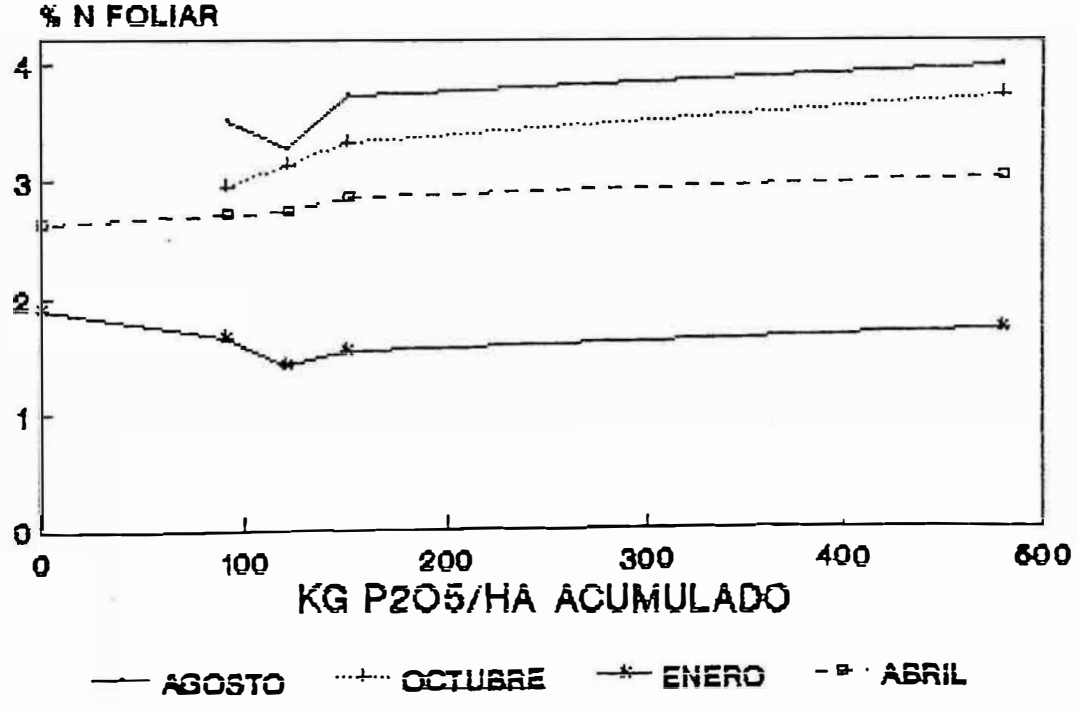


FIGURA No.25 - Porcentaje de nitrógeno en la leguminosa en

función de la dosis acumulada de fósforo, para los cuatro cortes.

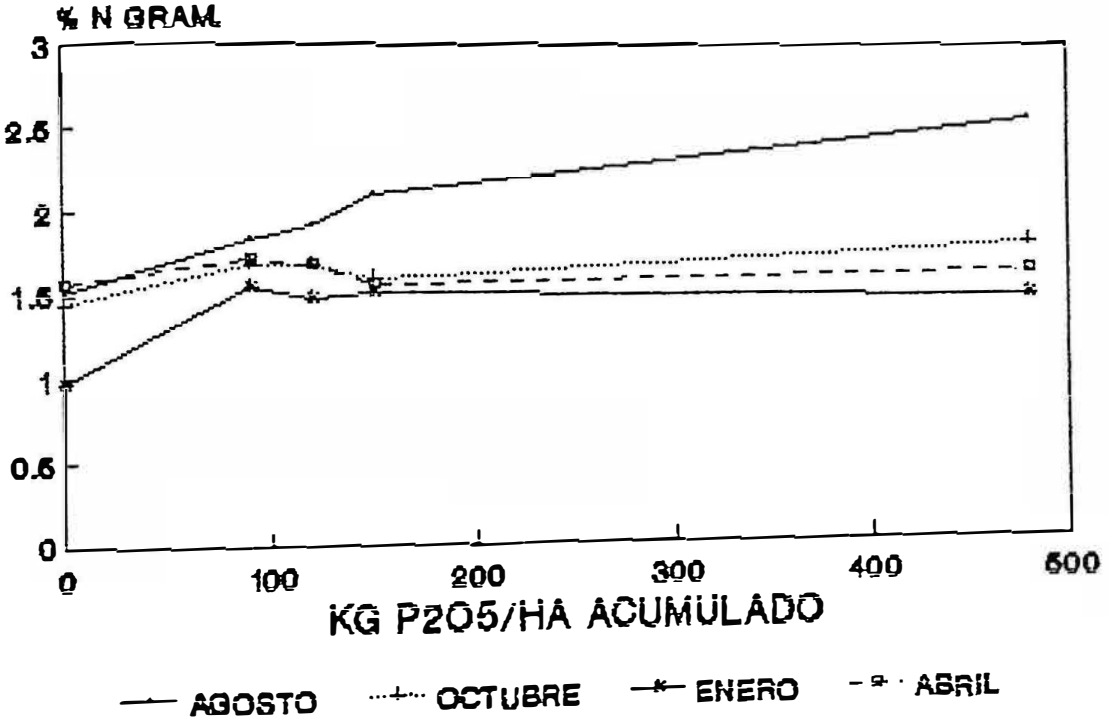


FIGURA No.26 - Porcentaje de nitrógeno en la graminea en función de la dosis acumulada de fósforo, para los cuatro cortes.

V.I.3.3. ABSORCION DE POTASIO.

En los cuadros Nos. 20 y 21 del apéndice, se presentan los valores de potasio absorbido y del % de potasio en planta, de los tratamientos analizados.

Se graficó el Potasio total absorbido en función de la dosis de fósforo, ver figura No.27. En la misma se observa, que no se afecta mucho la extracción de K con la dosis de P, la mayor diferencia se observa entre las dosis 0 y 90, se podría suponer que se debe a un efecto indirecto del P, o sea la mayor extracción de K observada se debería al incremento de la producción de materia seca.

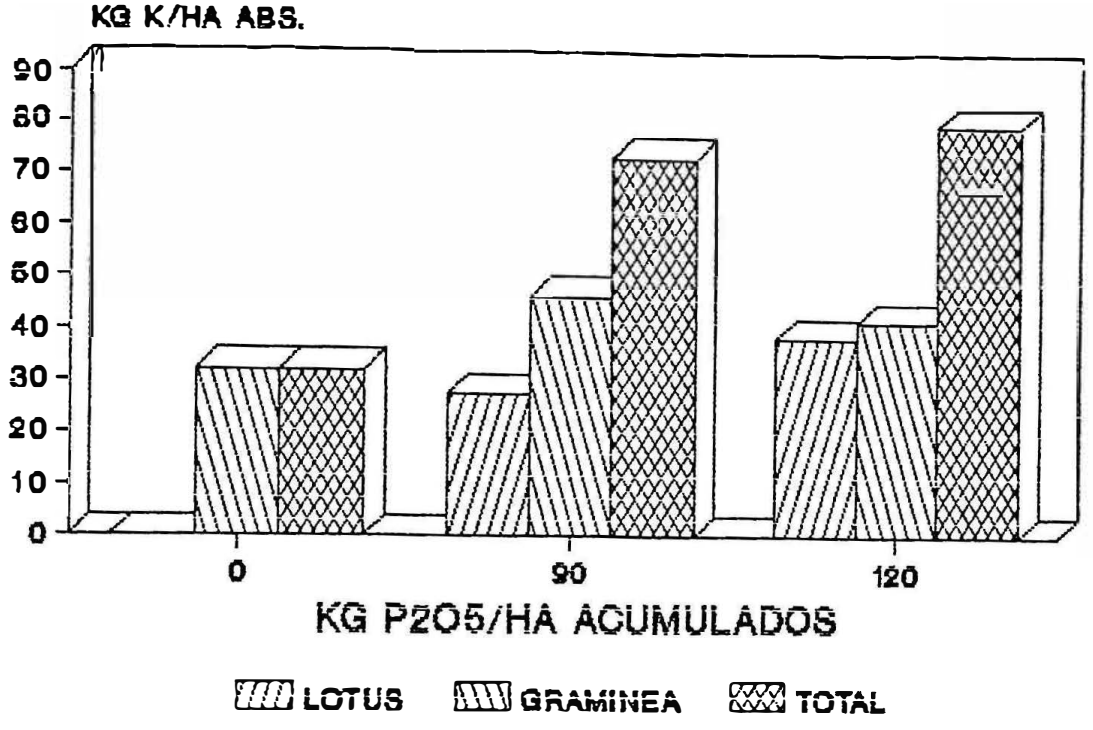


FIGURA No.27 - Absorción de potasio por el lotus, las gramíneas y el total anual, para el testigo y dos tratamientos con fósforo.

Para intentar esclarecer este punto también se graficó, el % de K en planta en función de la dosis de P, ver figura No.28. En la misma se observa que el % de K se incrementa al aumentar la dosis de P, siendo muy claro en la gramínea.

Es decir, el aumento en la extracción de potasio se debe no solo a un aumento en la producción de materia seca, sino también a un aumento en el porcentaje de potasio en dicha materia seca. Es posible que el desarrollo de plantas más grandes, determine una mayor exploración radicular y por lo tanto, mayor utilización del potasio del suelo. Por otra parte se observa también una mayor absorción y % de K en la fracción gramínea de la mezcla, lo cual coincide con lo mencionado por diversos autores, en torno a una mayor

capacidad de absorción de K y habilidad competitiva de estas especies, comparadas con las leguminosas.

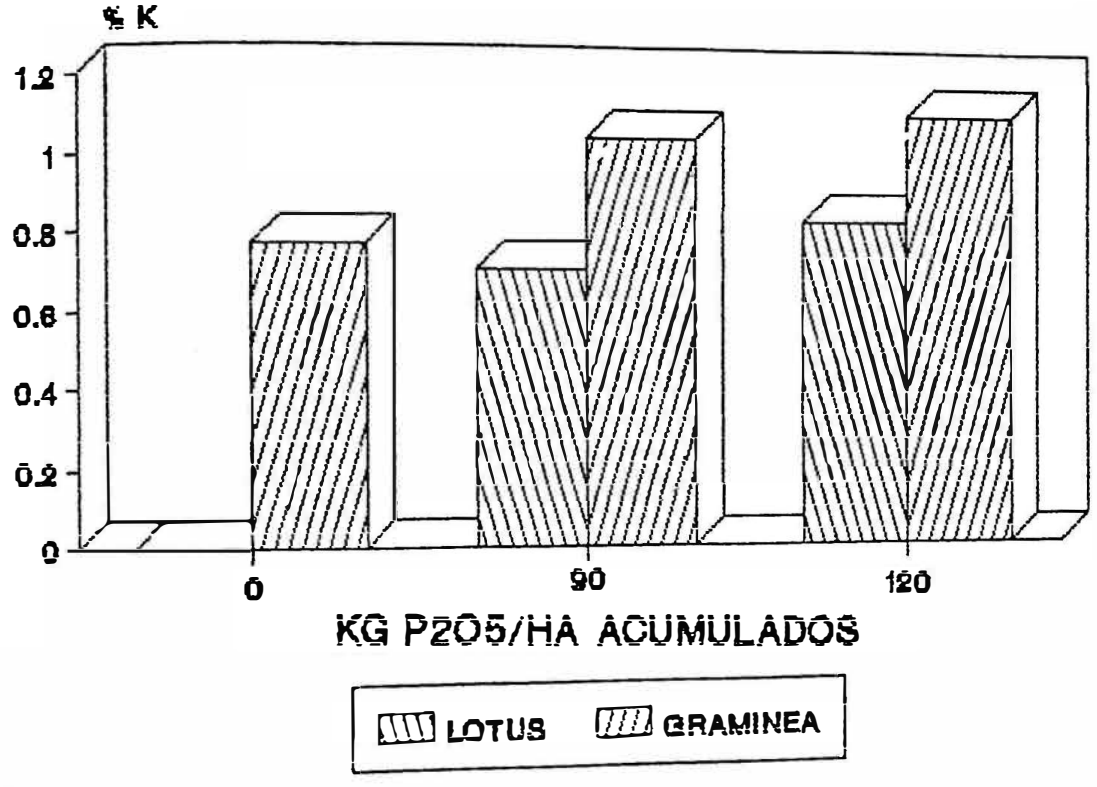


FIGURA No.28 - Porcentaje de potasio en planta para el lotus y las gramíneas, en el testigo y dos tratamientos con fósforo, corte de octubre.

V.I.3.4. Absorcion de nutrientes por la pastura en los mejoramientos del campo natural.

En el cuadro No.22 del apéndice y en forma resumida (total anual solamente) en el cuadro No.8 , se presentan los valores de N, P y K absorbidos por el campo natural y los tres mejoramientos. En el mismo se puede observar que el CN con lotus y P es superior en calidad de forraje al CN con N y P. También se observa cierta diferencia en favor del CN con Lotus respecto al CN solo; esto nos estaría diciendo que el agregado de una leguminosa al CN mejora la calidad de la pastura aunque no se de un aumento significativo en la cantidad de forraje producido, para lo cual es necesario la aplicación de fertilizante fosfatado.

CUADRO No.8 - Extracción de N, P y K del campo natural y diferentes alternativas de mejoramiento, en Kg/há. Datos correspondientes al total anual.

TRATAMIENTO*	N	P	
CN	52.48	4.59	32.03
CN+L	70.70	5.50	
CN+L+P	175.81	13.47	73.94
CN+N+P	98.46	10.31	54.20

CN = Campo natural.
CN+L = Campo natural con lotus.
CN+L+P = Campo natural con lotus más fertilización fosfatada.
CN+N+P = C.N. solo más fertilización fosfatada y nitrogenada.

V.I.4. EVOLUCION DE PARAMETROS QUIMICOS DEL SUELO.

V.I.4.1. Fósforo asimilable.

En el cuadro No.9, se presentan los valores de P del suelo de algunos tratamientos, del muestreo realizado en abril de 1991, o sea al comienzo del año que se analiza en este trabajo (tercero), los niveles de P disponible en el total de los tratamientos se encuentran en el cuadro No. 23.a del apéndice.

CUADRO No.9 - Fósforo asimilable en el suelo (bray No.1), para algunos tratamientos, promedios de dos repeticiones. Muestreo de abril de 1991.

TRATAMIENTO	CODIGO	P (ppm)
T	1	3.03
60SNR	15	2.97
60SRS	17	3.03
60HRH	10	2.75
240SRS	20	10.62

Como se puede ver en el mismo, el análisis no detectó diferencias en contenido de P del suelo entre los diferentes tratamientos; todos presentan valores similares, excepto el tratamiento de P no limitante que muestra un valor de P disponible algo superior.
Diferencias en contenido de P disponible en el suelo, se sabe que las hubo, ya que lo indican los parámetros de la pastura; el problema estuvo probablemente en el muestreo de suelo, en la profundidad de toma de las muestras; como las fertilizaciones se realizaron en cobertura, es de esperar que la mayor concentración de P esté en la capa más superficial del suelo, o sea que al haberse hecho el muestreo a 15 cm, seguramente se diluyó la concentración de P, no pudiendo ser detectadas las diferencias entre los tratamientos.

Otra posibilidad sería por el lado del método de análisis empleado, parece ser que el método Bray no estima bien la disponibilidad de P en suelos ácidos, aunque aún no existe información experimental que lo confirme.

V.I.4.2. Parámetros de acidez.

- PH, Acidez titulable e intercambiable.

Se analizaron muestras que fueron extraídas en abril de 1991 y 1992 de tratamientos con y sin cal cuyo resultado se presenta en el cuadro No. 23.b

No se observan grandes diferencias en PH entre los tratamientos con y sin cal , lo cual era de esperar, dada la profundidad de muestreo (15 cm) y el tiempo transcurrido desde el encalado hasta ese momento.

V.II. SITIO NUMERO DOS, S.U.L.

V.II.1. RENDIMIENTO DE MATERIA SECA TOTAL DE LA PASTURA.

V.II.1.1. Producción de materia seca anual y por corte.

En el siguiente cuadro (No.11), se muestran los datos promedio de producción de materia seca por corte y el total anual acumulado por tratamiento.
El corte de verano, se perdió debido al ingreso de ganado en el ensayo; y el de abril presentó una producción muy baja lo que determinó que las diferencias entre los tratamientos no se manifestaran claramente.

CUADRO No.11 - Producción de materia seca anual y por corte en Kg/há según el tratamiento.

TRATAMIENTOS					CORTES (KG M.S./HA)				
CODIGO	DOSIS P	FUENTE P	ACC.	REFERT.	AGO.91	OCT.91	ENE.92	ABR.92	TOTAL
1	0	T	SA	NR	686	957		204	1847
2	30	H	SA	NR	784	1293		295	2373
3	30	H	SA	RH	806	2371		594	3770
4	30	H	SA	RS	903	2964		518	4385
5	30	S	C	NR	688	1530		287	2505
6	30	S	C	RS	845	3446		587	4878
7	0	T	CN	NR	605	652		159	1416
8	30	S	SA	RS	828	3145		592	4565
9	60	H	SA	NR	712	1763		311	2786
10	60	H	SA	RH	851	3612		564	5027
11	60	H	SA	RS	956	3442		690	5088
12	60	S	C	NR	670	2113		349	3132
13	60	S	C	RS	988	3770		623	5381
14	60	S	M	RS	999	4149		936	6085
15	60	S	SA	NR	645	2143		337	3125
16	60	S	SA	RH	968	3377		737	5082
17	60	S	SA	RS	980	3425		577	4982
18	60	ST	SA	RST	815	3765		644	5224
19	90	S	SA	RS	876	4555		795	6225
20	240	S	SA	RS	1142	6128		793	8064
21	30	S	CNN	RS	1103	2692		179	3974

‡	S - SUPERFOSFATO	C - CAL
	ST - SUPERTRIPLE	T - TESTIGO
	H - HIPERFOSFATO	CN - CAMPO NATURAL
	SA - SIN ACCESORIO	CNN - CAMPO NATURAL CON N.
	R_ - REFERTILIZADO	NR - NO REFERTILIZADO

‡ Los kilogramos de materia seca del cuadro corresponden al forraje tota, Lotus mas gramínea.

Para estudiar el efecto de los tratamientos, se realizaron los análisis de varianza correspondientes, los cuales se presentan en el apéndice (cuadros No.: 24, 25, 26, y 27), cuyo resumen se puede ver en el siguiente cuadro No.12 .

CUADRO No.12 - Analisis de varianza para el efecto de los tratamientos en la producción de materia seca total anual y por corte.

		AGOSTO		OCTUBRE		ABRIL		ANUAL	
FUENTE	GL	F	Prob.‡	F	Prob.	F	Prob.	F	Prob.
BLOQUE	3	3.28	0.0269	0.71	0.5505	1.63	0.1920	0.49	0.6876
TRATAM.	20	5.44	0.0000	14.29	0.0000	29.11	0.0000	19.85	0.0000
ERROR	60								
TOTAL	83								
MEDIA GRAL.		850.043		2918.720		512.819		4281.583	
C.V. (%)		15.14		23.63		16.18		16.87	

‡ Las probabilidades indicadas como 0.000 son menores a 0.001 .

Como se observa, el efecto de los tratamientos fue altamente significativo en la producción de materia seca total anual y en cada uno de los cortes; las diferencias entre bloques no fueron significativas en la producción total anual, aunque si lo fueron en el corte de agosto (a nivel de 2.69 %).

V.II.1.2. Respuesta al agregado de P.

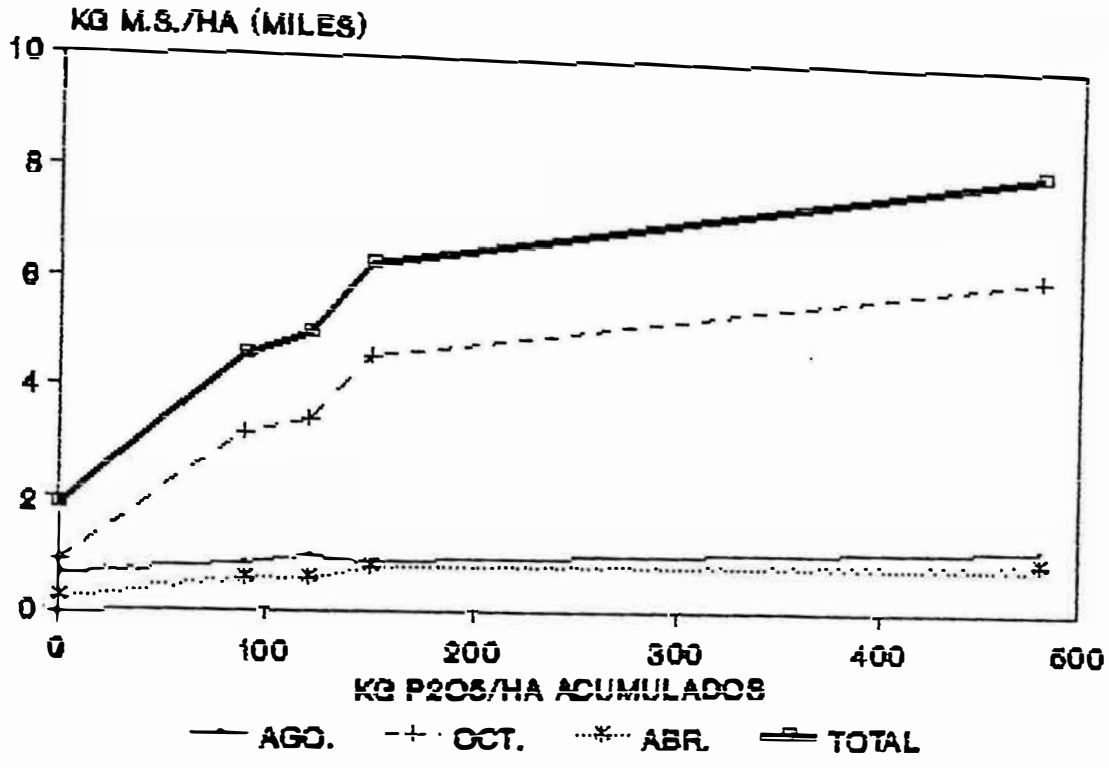


FIGURA No.29 - Respuesta en Kg/há de materia seca total (M.S.T.) a la dosis acumulada de P (fuente soluble, superfosfato común).

En el gráfico anterior se observa, en primer lugar una alta respuesta al P agregado, los tratamientos fertilizados rindieron en promedio más de 200 % respecto al testigo. También se observan diferencias entre los niveles 90, 120 y 150, esto indicaría residualidad de dosis en instalación, o también podría ser que un buen desarrollo inicial del lotus permita un mayor efecto de la refertilización, ya que las tres recibieron la misma dosis de refertilización (30 Kg/há/año). Otra cosa que se observa, es que el rendimiento de materia seca sigue aumentando hasta la dosis 480 (P no limitante).

Según se desprende del gráfico el corte más relacionado a la producción anual es el de octubre. En los otros dos cortes la respuesta a fósforo es muy baja y con un comportamiento poco claro a dosis intermedias (ver cuadro No.11); lo que se pudo deber a diferentes causas, en agosto

las bajas temperaturas restringieron el crecimiento del Lotus (estival) por lo que es difícil que se manifieste el efecto de una dosis creciente de P. El corte de abril se caracteriza también por su baja producción, que se pudo deber a factores climáticos o a un efecto negativo del pisoteo que se dió en enero con la entrada de animales.

Para determinar en que medida la producción de materia seca estuvo determinada por la fertilización fosfatada, se intentó el ajuste de regresiones cuadráticas para el corte de octubre y el total anual de materia seca producida. El modelo estadístico utilizado para estimar las regresiones fue el siguiente:

$$\hat{y} = b_0 + b_1 x - b_2 x^2$$

Donde:

- $\hat{y}$: es el rendimiento estimado en Kg/Há.
- b_0: es el estimador de la ordenada en el orígen.
- b_1: es el estimador del término lineal.
- b_2: es el estimador del término cuadrático.
- x : son los Kg/Há de P205 agregados.

En el cuadro No.13, se muestran las regresiones estimadas. Un estudio más detallado del cálculo de las regresiones se puede ver en el cuadro No. 29 del apéndice.

CUADRO No.13 - Resúmen de las regresiones estimadas para la respuesta anual y del corte de octubre (Y = Kg/Há M.S.T.), según la dosis de P utilizada (x = Kg P205/Há acumulado).

CORTE	RECTA ESTIMADA	SIGNIFICACION* F	Prob.	r^2
OCTUBRE	$Y = 914.7 + 27.78\ x - 0.0352\ x^2$	39.40	< 0.001	0.823
TOTAL	$Y = 1807.0 + 34.41\ x - 0.0445\ x^2$	51.25	< 0.001	0.858

Como se visualiza en el cuadro anterior la curva de

respuesta se ajustó bien a una regresión de tipo cuadrática, siendo el grado de asociación entre las variables alto.

También se confirma, que el corte de octubre es el que más explica la respuesta anual, mientras que los cortes de abril y agosto no ajustaron bien a ningún método, debido a la presencia de otros factores que afectaron la respuesta y que ya han sido mencionados.

V.II.1.2.1. Residualidad del P agregado en la instalación de la pastura.

En este ítem se analizan los tratamientos que sólo recibieron P en la instalación de la pastura, a los efectos de estudiar por separado el efecto residual del P, del efecto de las refertilizaciones anuales.
Para el estudio de este punto, se realizó un histograma de rendimiento relativo de los tratamientos correspondientes, respecto al tratamiento de P no limitante. Se representa en la siguiente figura.

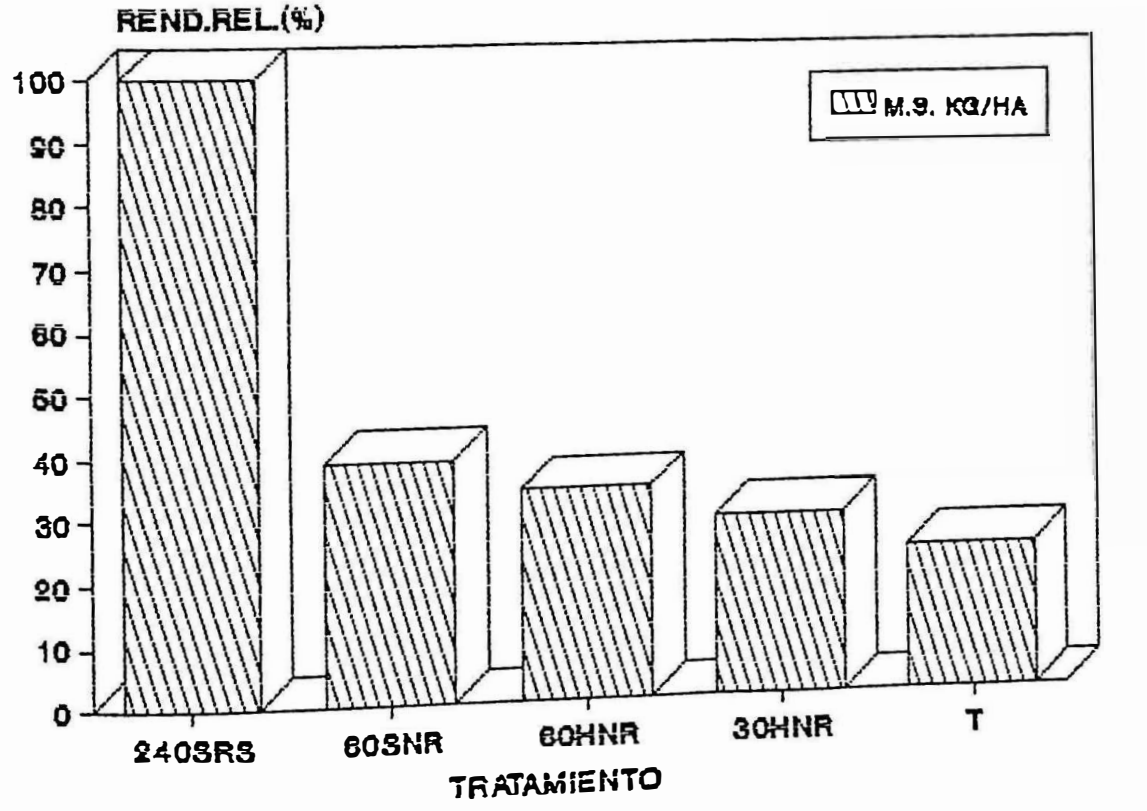


FIGURA No.30 - Rendimiento relativo, del testigo y los tratamientos no refertilizados, respecto al tratamiento de P no limitante (RR 240SRS = 100).

Del gráfico se concluye, que existe un efecto residual visible pero de poca magnitud, del P aplicado a la instalación de la pastura, las diferencias entre fuentes y dosis son también pequeñas. Si bien los tratamientos que recibieron P a la instalación, presentan un rendimiento superior al testigo, al compararlos con el tratamiento de P no limitante, rinden en promedio un treinta y cinco por ciento respecto de éste tratamiento; lo cual significa que el nutriente podría estar restringiendo seriamente el desarrollo de la pastura.
Al comparar éstos resultados con los obtenidos en el sitio anterior, donde los tratamientos rindieron un sesenta por ciento respecto del mismo tratamiento (240SRS), se podría concluír que en éste sitio puede existir un efecto fijador del suelo mucho más importante, donde disminuyen más rapidamente los niveles de P disponible. O tambien pudo haber existido en el sitio anterior, un techo a la producción impuesto por otras limitantes del suelo y/o del ambiente, que impidieron una mayor respuesta al tratamiento de P no limitante.

Para estudiar más profundamente el efecto residual del P, se realizó el contraste No.1 (ver cuadro No.24 del apéndice) , que compara el testigo con los tratamientos fertilizados a la instalación. En él se establece que el P agregado, tuvo un efecto poco significativo (Prob. = 3 %) luego de tres años. Cuando se estudió la respuesta estacional se vió que el mismo contraste resultó también poco significativo para el corte de abril.(Prob. = 2 %) y muy poco significativo para el corte de octubre (Prob. = 6 %) (ver contraste No.1 en cuadros Nos. 25, 26, y 27 del apéndice).
Con el contraste realizado, se reafirma lo visto en el párrafo anterior, ya que nos permite concluír que el P aplicado a la instalación, tuvo un efecto poco significativo en la producción de materia seca, que se podría deber a que los niveles del nutriente del suelo tienden a restablecer su equilibrio original más rapidamente que en el sitio anterior, por estar sujeto a procesos de fijación más fuertes. No se dispone de parámetros analíticos de suelo para confirmar esta tendencia.

Cuando se estudió la residualidad en función de la dosis y la fuente (ver contrastes 2 y 3 en cuadro No.24 del

apéndice) de P utilizadas no se encontraron diferencias significativas, lo que esta diciendo que no hubo diferencias significativas al tercer año entre los niveles 30 y 60 unidades de P a la instalación, aunque se visualiza una leve superioridad de los tratamientos que recibieron sesenta unidades de P.

V.II.1.2.2. Respuesta a la refertilización anual con P.

Para el estudio global de este punto, se realizó el contraste No.4 que se muestra en el cuadro No.24 del apéndice. Este compara los tratamientos no refertilizados con los refertilizados, la diferencia entre ellos es altamente significativa en el total anual y en todos los cortes (ver cuadros No. 25, 26, y 27), en promedio para el total anual la refertilización significó un aumento en la producción forrajera de un 70 %.
De lo anterior surge, en primer lugar, que son necesarias aplicaciones periódicas de P si se quiere mantener una alta producción forrajera. También, estos resultados obtenidos, resaltan la importancia de la refertilización fosfatada en otoño, como forma de mantener una alta disponibilidad de fósforo en un momento crítico, ya que las temperaturas bajas del invierno provocan una disminución en la disponibilidad de fósforo, y también al comienzo de la primavera, cuando empieza a aumentar la tasa de crecimiento.

-Respuesta a la refertilización según la dosis utilizada a la instalación.

Se estudió el efecto de la utilización de diferentes dosis de P a la instalación, en la respuesta a las refertilizaciones posteriores de 30 Kg/Há de P2O5 anuales.
Observando el contraste No.5 del cuadro No.24 del apéndice, se visualiza que existe una diferencia altamente significativa entre los tratamientos. Esto significa, que las diferencias entre las dosis iniciales se mantienen luego de tres años, cuando las parcelas son refertilizadas anualmente, a diferencia de lo ocurrido cuando no lo fueron.

La explicación de ésto, al igual que para el sitio anterior, radica en que la dosis proporcionada anualmente logra abastecer a la planta y compensar en parte los mecanismos fijadores del suelo, de manera que las diferencias iniciales pueden mantenerse.
Por otra parte, las diferentes dosis utilizadas en la

instalación pueden haber determinado diferencias en la pastura (mayor porcentaje de lotus, mayor vigor de plantas). Estas diferencias en función de dosis fueron mantenidas a través de las refertilizaciones posteriores.

Para todos los cortes menos en el de agosto, se encontró el mismo resultado que para el total anual lo que se puede observar en los cuadros No. 25, 26 y 27 del apéndice.

-Respuesta a la refertilización según fuente de P a la instalación.

Para el estudio de ésto, nos basamos en el contraste No.6 del cuadro No.24 del apéndice. En el mismo queda claro que la respuesta a la referilización no fue afectada por la fuente de P utilizada a la instalación, pues no se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos. Se podría decir entonces, que la solubilización de la fosforita, hizo que la disponibilidad de P para la planta fuera similar a cuando éste fue proporcionado por una fuente soluble.

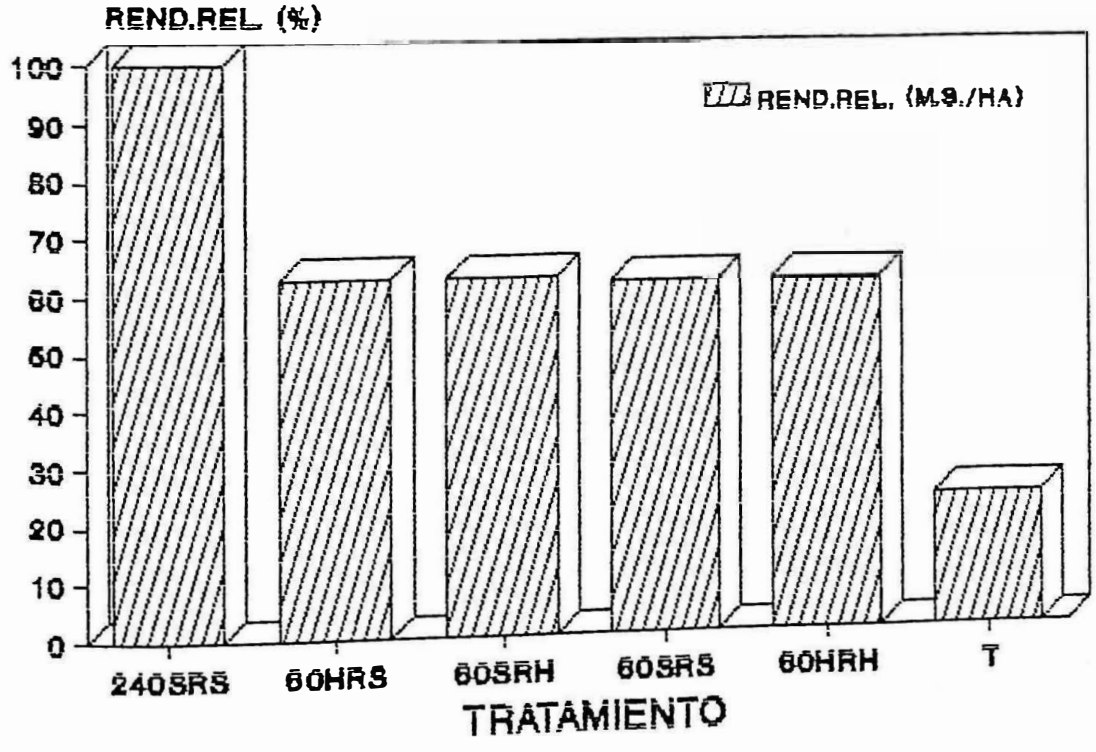


FIGURA No.31 - Efecto de diferentes fuentes de P a la instalación y en las refertilizaciones, para la dosis de 60 Kg P2O5/há en la instalación. Datos expresados en rendimiento relativo a tratamiento con fósforo no limitante.

En la figura No.31, se visualiza claramente que la respuesta a la refertilización no varió, ni con la fuente utilizada a la instalación, ni con la fuente de refertilización. Otro aspecto a destacar, es que cuando se utilizó una dosis inicial de 60 unidades y dosis de 30 unidades en las refertilizaciones anuales, el rendimiento obtenido respecto al tratamiento de P no limitante fue de un 60 %.

Aquí también aparecen diferencias importantes comparadas con el sitio anterior, donde bajo el mismo régimen de fertilizaciones se alcanza casi un 90 por ciento del tratamiento con P no limitante. Lo que se podría deber a que en éste sitio, la dosis aplicada anualmente no fue suficiente para lograr un nivel alto de producción, o podría ser también que el sitio anterior hubiera tenido algún otro factor limitante que impidiera que se manifestaran claramente las diferencias entre los niveles de P aplicados.

-Respuesta a la refertilización según la fuente de refertilización.

En el punto anterior, fue mencionado que no hubo diferencias entre los tratamientos que recibieron diferente fuente de P en la refertilización, tal como se observa en el histograma de la figura No.31.
Dicho comportamiento fue comprobado estadísticamente (contrastes Nos.7 y 8 en cuadro No.24 del apéndice). Al analizar cada corte individualmente (cuadros No. 25, 26 y 27), se observa la misma tendencia que para el total anual en todos los cortes, menos en el de abril donde hubo una diferencia significativa entre los tratamientos fertilizados con 60 unidades de superfosfato iniciales en favor del refertilizado con hiperfosfato (contraste No.8), diferencia que no puede explicarse en base a la información disponible por lo que la atribuímos a algún factor no relacionado con la fuente de fósforo utilizada, cabe recordar que este corte se caracterizó por una muy baja producción de materia seca.

Se destaca nuevamente entonces, el comportamiento similar de ambas fuentes de P, lo cual probablemente se

deba a la acidez del suelo sobre el cual se desarrolla la pastura, el cual solubiliza el P proveniente del hiperfosfato .
Este hecho ya había sido verificado en el sitio anterior, y coincide con los resultados encontrados por otros autores en éstos suelos de PH en el entorno a 5.3, aunque muchos de esos trabajos fueron realizados utilizando métodos convencionales de siembra.

V.II.1.2.3. Evaluación de fuentes de P.

- Análisis de tres alternativas tecnológicas.

A los efectos de estudiar en profundidad la respuesta a la refertilización según la fuente de P utilizada , se ajustaron al igual que para el sitio anterior regresiones lineales para los tratamientos:

- hiperfosfato en instalación - hiperfosfato en refertilización (H-RH),

- hiperfosfato en instalación - superfosfato en refertilización (H-RS),

- superfosfato en instalación - superfosfato en refertilización (S-RS).

El objetivo perseguido con éste análisis, es detectar si existen diferencias en respuesta al incrementarse la dosis de P, entre las diferentes fuentes.

El modelo estadístico utilizado para estimar las regresiones fue el siguiente:

$\hat{y} = a + b\,(x)$ donde:

$\hat{y}$ - es el rendimiento estimado en Kg/Há.
a - es el estimador de la ordenada en el orígen.
b - es el estimador del coeficiente angular de la recta estimada.
x - es la dosis de P en Kg P2O5/Há.

En cada regresión se utilizó como cero al testigo del ensayo, por lo cual el cero es común a las tres regresiones.

El análisis estadístico de la estimación de las regre-

siones y de su significación para la producción total anual, se presenta en el siguiente cuadro No.14.

CUADRO No.14 - Estimación de regresiones para el efecto de las diferentes fuentes de P utilizadas a la instalación y en la refertilización sobre la materia seca TOTAL ANUAL. Análisis de varianza para las diferencias entre parámetros estimados.

TRAT.	r	a	b	t (b)	P*
H-RH	0.953	1775.81	25.3	9.95	0.000
S-RS	0.872	1903.28	27.0	5.64	0.000
H-RS	0.927	1863.26	27.2	7.80	0.000
Total	0.911	1847.45	26.5	12.87	0.000

Analisis de varianza:

Fuente	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	Prob
Diferencias	4	529528.722	132382.180	0.30	n.s.
Dif.en nivel	2	456536.243	228268.122	0.56	n.s.
Error	32	13097643.764	409301.368		
Dif.en ángulo	2	72992.478	36496.239	0.08	n.s.
Error	30	13024651.285	434155.043		

* Las probabilidades indicadas como 0.000 son menores a 0.0001.

De las regresiones estimadas, se concluye en primer término, que las variables presentan un alto grado de asociación y en segundo lugar que el ajuste de la recta es alto, lo que significa que un alto porcentaje de la variación de la materia seca producida es explicada por la dosis de P.

Una vez ajustadas las regresiones, se procedió al estudio de las diferencias entre ellas por medio de análisis de varianza, lo cual puede verse también en el cuadro No.14. En caso de obtener diferencias entre las regresiones, ello significaría que una de las alternativas tecnológicas sería superior. Pero los resultados del cuadro descartan esa posibilidad, confirmando lo visto en párrafos anteriores; donde observamos que las fuentes tuvieron un

comportamiento similar tanto a la instalación como en las refertilizaciones posteriores. El análisis de los cortes individuales (cuadros Nos. 30, 31 y 32 del apéndice) confirman la misma tendencia.

De lo anterior se concluye, que la aplicación en cobertura de fuentes solubles o insolubles de P, tuvieron el mismo efecto en términos de materia seca producida Recordemos que resultados similares fueron obtenidos en el sitio anterior (No.1).

-Evaluación de fuentes solubles: superfosfato y supertriple.

Para completar el estudio de las fuentes, se estudió si podrían existir diferencias entre las fuentes solubles. Para ello se realizó el contraste No.9 (ver apéndice cuadros Nos. 24, 25, 26 y 27), en el se visualiza que no existieron diferencias significativas entre estas dos fuentes, ni en el total anual ni en los cortes individuales.

Recordando los resultados del sitio anterior, se obtuvieron allí diferencias que fueron atribuídas, o al azufre contenido en el superfosfato, o a un problema de distribución del supertriple. Si el supertriple tuvo un problema de distribución, se tendría que haber manifestado también en éste sitio, ya que las cantidades aplicadas, son exactamente las mismas.
Esto lleva a suponer que en aquel sitio pudo existir una deficiencia de azufre, que al ser levantada por el superfosfato, el rendimiento aumentó significativamente. Sin embargo, ésta suposición no se puede confirmar por la falta de datos de determinación de S en planta.

V.II.1.3. Residualidad del encalado en la instalación.

Se estudió el efecto residual de la cal agregada en el año de instalación, algunos datos se presentan en la figura No. 32.

De la misma se desprende, en primer término que se confirma nuevamente el efecto positivo de la refertilización anual, donde los tratamientos no refertilizados rindieron un 60 % de los que si lo fueron, independientemente del efecto de la cal. No se observa ningún efecto positivo

ni antagónico del encalado, en cuanto a la respuesta a la refertilización. Lo mismo queda claro, al comparar los tratamientos con cal según fueran o no refertilizados por medio de un contraste ortogonal (contraste No.11, cuadros No.24, 25, 26 y 27 en el apéndice), donde se manifiesta una superioridad altamente significativa de los tratamientos refertilizados, lo que nos dice que el encalado no afectó la respuesta al fertilizante fosfatado.

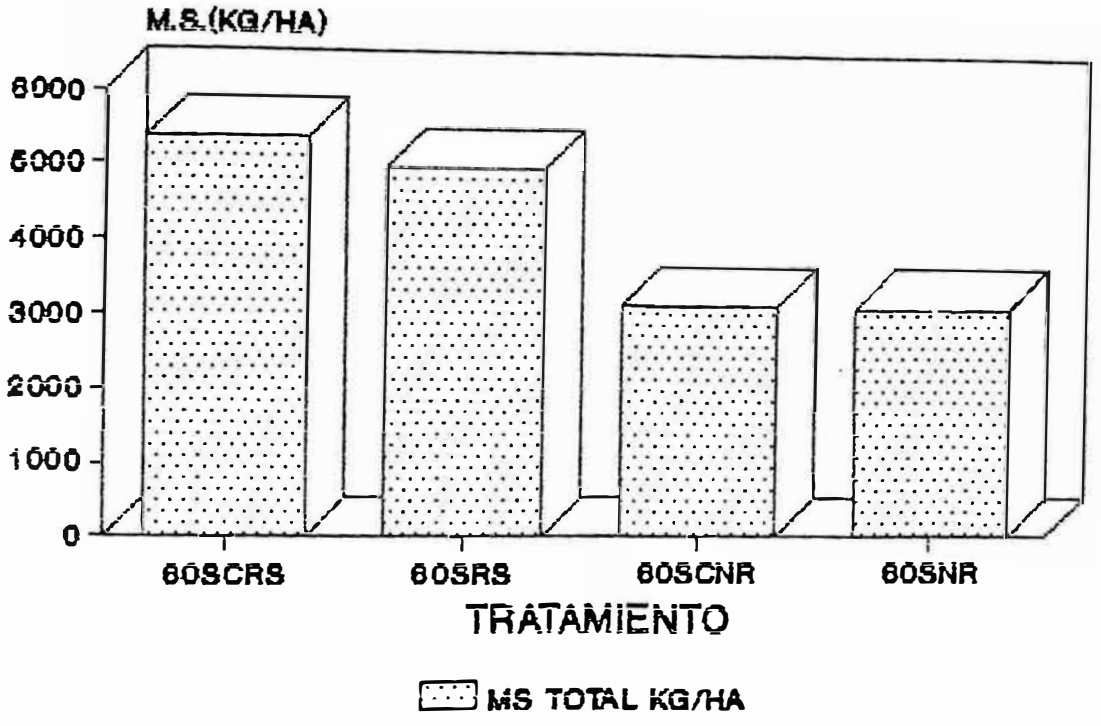


FIGURA No.32 - Producción de materia seca en los tratamientos con y sin cal, y con y sin refertilización anual.

En cuanto a la residualidad del encalado, en el histograma de la figura No.32 no se aprecian tendencias claras del encalado, salvo una pequeña superioridad del tratamiento con cal cuando las parcelas fueron refertilizadas anual-

mente.

Se puede decir entonces, que no existió un efecto residual importante de la cal. Dicho comportamiento fue comprobado estadísticamente tanto para la producción anual como para los cortes parciales (ver contraste No.10 en cuadros No. 24, 25, 26 y 27 del apéndice).

V.II.1.4. Alternativas para el mejoramiento del campo natural.

- Respuesta global a los mejoramientos.

Las tres alternativas tecnológicas que se analizaron al igual que en el sitio anterior, son las siguientes:

- Campo natural sobre el que se sembró lotus en cobertura.

- Lotus también sembrado en cobertura sobre el campo natural más una dosis de 30 Kg P2O5/há/año.

- Campo natural que recibió nitrógeno y fósforo en cobertura anualmente.

En la figura No.33 se presenta la producción de materia seca en los mejoramientos de campo natural analizados, del total anual (tres cortes).

En la misma queda claro, en primer lugar, una importante respuesta al agregado de lotus y P, así como de nitrógeno y P; triplicando prácticamente la producción del campo natural. En segundo término, se manifiesta una respuesta de escasa magnitud al agregado de lotus en cobertura solamente.

Con respecto a esto último, se realizó el contraste No.12 (cuadro No.24, ver apéndice), de donde se concluye que la leguminosa en cobertura sin fertilizante, no difirió significativamente en rendimiento de materia seca del campo natural. Si se observan los datos de composición botánica gravimétrica (cuadro No.33 del apéndice), vemos que a diferencia del sitio anterior (donde hubo cierto porcentaje de implantación), la leguminosa no se implantó, por lo que no podemos pensar en una mejora de la calidad del forraje. Esta nula implantación, se debe no sólo a los bajos niveles de P, que no superan los mínimos requeridos por la especie,

sino podría ser también por una competencia fuerte del tapiz natural.

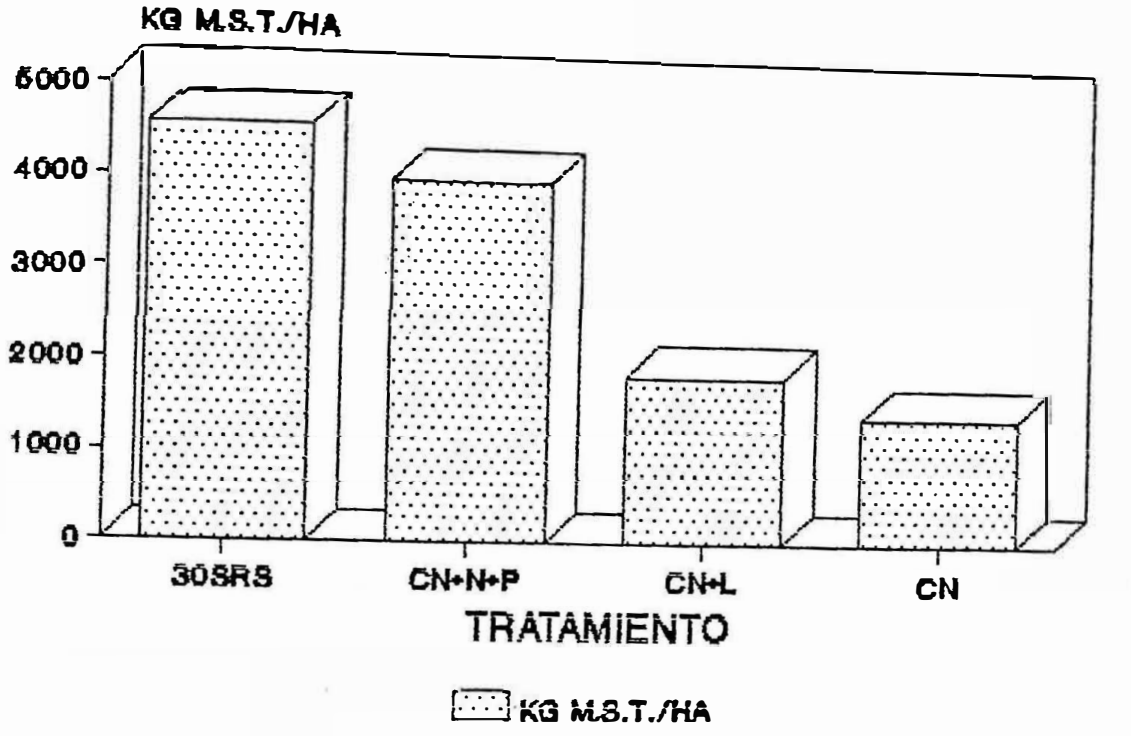


FIGURA No.33 - Alternativas de mejoramiento del campo natural.

Por medio del contraste No.13 (ver apéndice, cuadro No.24), se encontró que la diferencia que se observa en la figura No.33 entre las dos alternativas de mejoramiento más productivas, no es significativa estadísticamente. Esto da cuenta nuevamente de la capacidad de respuesta del tapiz natural, como fue comentado en puntos anteriores. Esta mayor capacidad, se debería a la presencia de especies naturales sensibles a las deficiencias sobre todo de N; que cuando reciben el aporte del nutriente aumentan notablemente su producción. Sin embargo, no se debe perder de vista la calidad de la pastura, la cual es superior en el tratamiento que incluyó al lotus (mayor valor nutritivo), lo que se observa en el siguiente cuadro (resultado del análisis foliar):

	N	P	K (kg/há absorbidos)
CN+L+P	104.1	9.2	64.6
CN+N+P	54.8	7.6	51.2

También se realizó este contraste para cada corte individualmente, encontrándose el mismo resultado que para

el total en el corte de octubre, en cambio la diferencia es significativa en los cortes de agosto y abril (ver contraste No.13 en cuadros No. 25, 26 y 27 del apéndice). En el corte de agosto, fue el campo natural fertilizado el que tuvo un rendimiento significativamente mayor que el tratamiento con Lotus más fertilizante, en cambio en el corte de abril, el tratamiento más productivo fue el que incluye al Lotus en el mejoramiento (ver cuadro No.11). Esto es lógico si se considera que la leguminosa utilizada es de ciclo estival, por lo que su producción en invierno es baja mientras que en abril las condiciones para su crecimiento son óptimás, esto se comprueba claramente si observamos el % de Lotus gravimétrico que pasa de un 17% en agosto a un 83 % en abril (ver cuadro No.33 del apéndice). Por otra parte el agregado de nitrógeno en abril tiene un efecto importante en el desarrollo de especies invernales del tapiz, ya que es un período crítico en cuanto a la disponibilidad de ese nutriente; en el tratamiento con lotus y fósforo, en la misma época, se dió una menor disponibilidad de nitrógeno, lo cual determinó una menor producción de forraje en el mismo.

V.II.2. RENDIMIENTO DE LEGUMINOSA.

V.II.2.1. Efecto de rendimiento y porcentaje de leguminosa en el rendimiento total de materia seca.

El porcentaje de leguminosa al igual que en el sitio anterior fue estimada visualmente y también calculado por gravimetría. Ver apéndice, cuadros Nos. 33 y 34.

Los datos de composición botánica utilizados para la determinación gravimétrica presentan ciertas limitantes, al igual que para el sitio anterior, debido principalmente a que solo se muestrearon dos de los cuatro bloques. Además en este sitio, los datos no repiten en forma aceptable, algunos tratamientos presentan una excesiva variación.

La estimación visual se realizó en los cuatro bloques, cuyo valor también es limitado debido a la subjetividad del método, ya comentadas para el sitio anterior. Además, en este sitio, solo se realizó la estimación visual en los cortes de agosto y octubre.

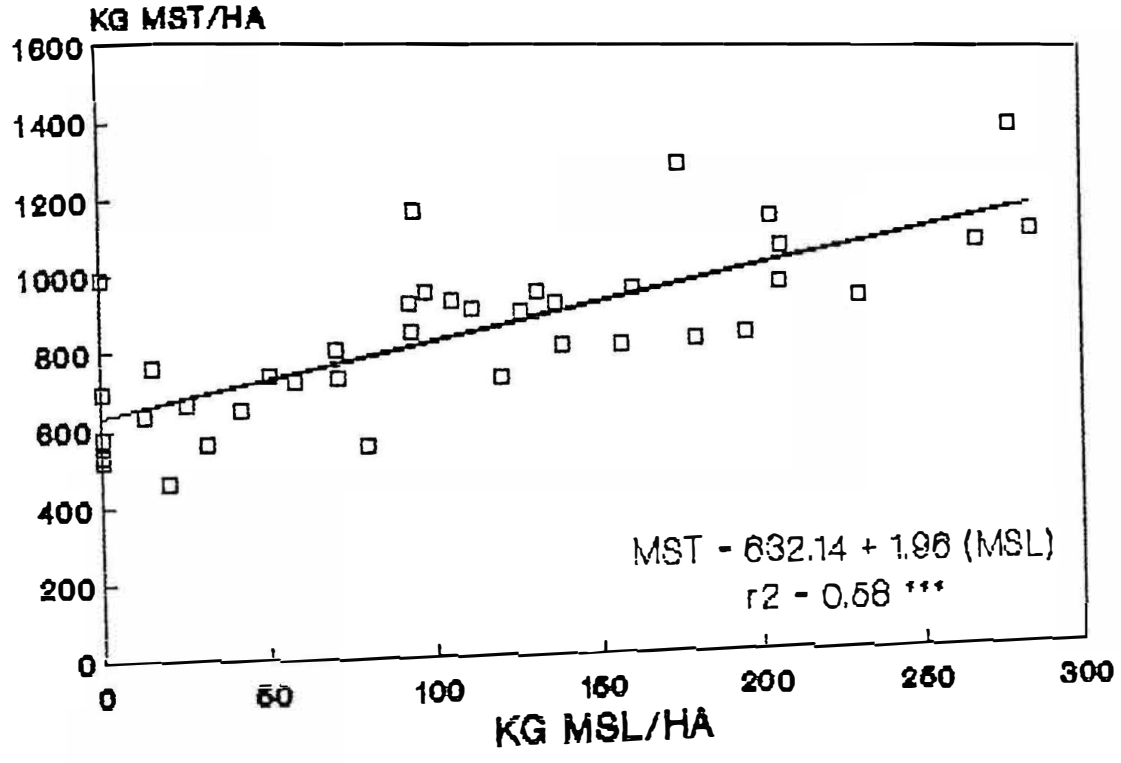


FIGURA No.34 – Relaciones entre la materia seca de lotus y materia seca total para el corte de agosto.

A los efectos de visualizar las relaciones existentes entre el rendimiento total de la pastura y el rendimiento de la leguminosa introducida, se realizaron gráficas de rendimiento de materia seca total en función del rendimiento del Lotus en cada corte, y en aquellos casos en que se vió que podría existir una relación clara, se estimaron regresiones. En las figuras Nos. 34, 35 y 36, que corresponden a los cortes de agosto, octubre y abril, podemos visualizar dichas relaciones.

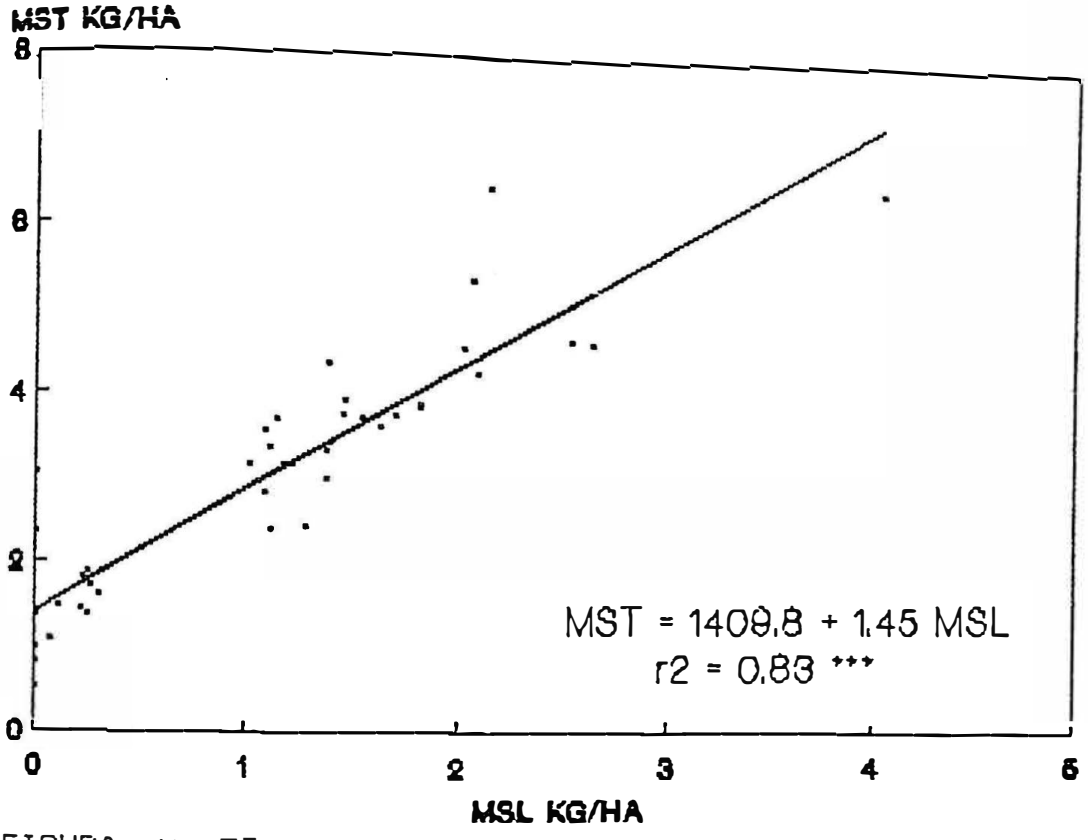


FIGURA No.35 - Relaciones entre materia seca de lotus y materia seca total para el corte de octubre.

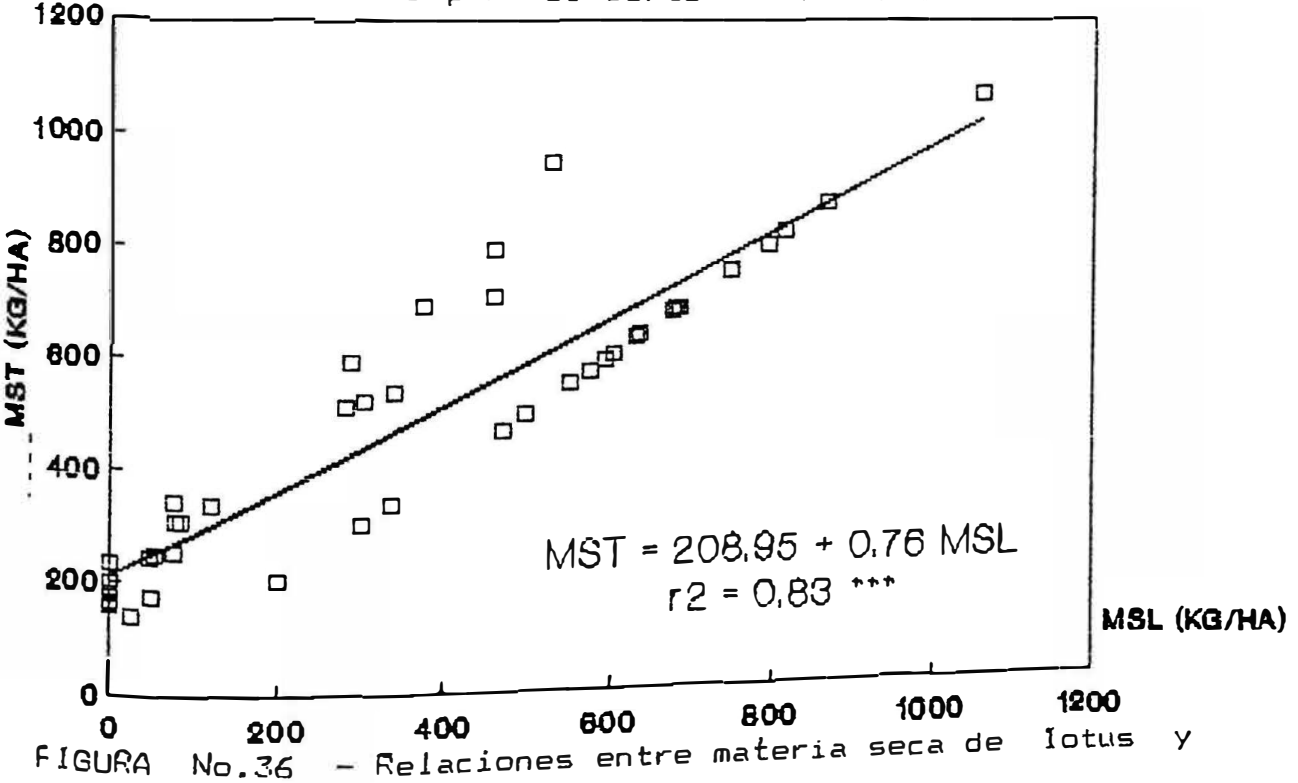


FIGURA No.36 - Relaciones entre materia seca de lotus y

materia seca total para el corte de abril.

En las tres figuras anteriores se observa que los puntos se distribuyen en forma aproximadamente rectilínea.

En las figuras Nos. 35 y 37 (corte de octubre y total anual respectivamente), se observan dos grupos de puntos, correspondientes a tratamientos con y sin refertilización, los refertilizados muestran un mayor aporte de la leguminosa a la materia seca total. En agosto y abril esta diferencia no se manifiesta claramente.

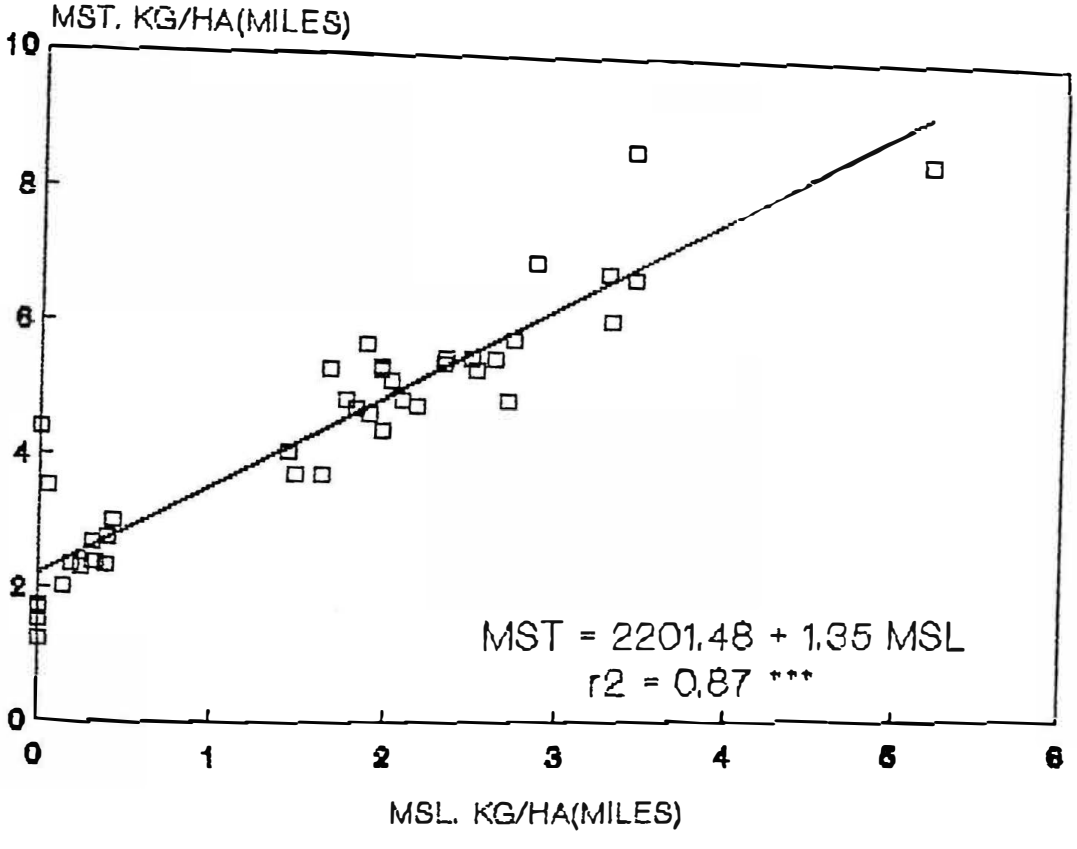


FIGURA No.37 – Relaciones entre materia seca de lotus y materia seca total, para la producción total anual.

Como se observa en las figuras anteriores, se realizó el ajuste de rectas que estiman la relación entre las dos variables. Para todas menos para el corte de agosto se observa claramente que la producción de lotus se asocia directamente con la producción total de materia seca, tal

cual lo determina el alto grado de estrechez existente entre las variables (r2 > 0.80 en las tres). En agosto la asociación entre las variables resultó baja.

En otra etapa del análisis, se investigó si podría existir relación entre el % de lotus gravimétrico y la materia seca total producida.

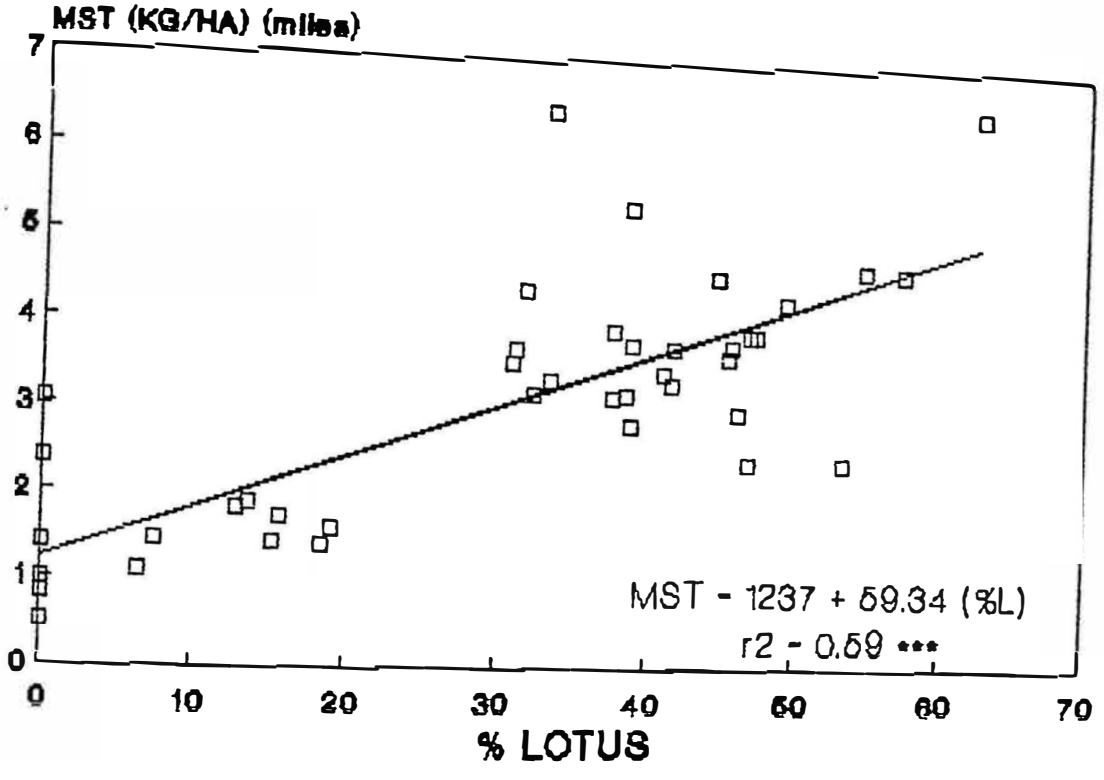


FIGURA No.38 - Relaciones entre el porcentaje de lotus y la materia seca total para el corte de octubre.

En este caso las tendencias observadas no fueron tan claras como anteriormente. En la figura No.38 se presenta la relación entre el % de lotus gravimétrico y la producción de materia seca total, para el corte de octubre donde la dispersión vista fue menor que en los demás casos por lo que además se ajustó la siguiente ecuación.

Y oct. = 1237.78 + 59.34 (% Lotus) r2 = 0.59

En consecuencia el porcentaje de lotus gravimétrico no resulta tan buen estimador del rendimiento como son los

kilogramos de lotus producidos.

Para este sitio también se graficó la relación entre el porcentaje de Lotus gravimétrico y el visual, para el corte de octubre, lo cual se presenta en la figura No.4 del apéndice. En la misma se observa una tendencia similar al sitio anterior, primero que los puntos se agrupan en dos sectores de la gráfica, los cuales corresponden seguramente a tratamientos con y sin refertilización, además que en el grupo de puntos de menor nivel, ambas variables tienen valores similares, mientras que en el de mayor nivel, el porcentaje de Lotus gravimétrico presenta valores menores que el porcentaje de Lotus determinado por estimación visual. O sea que a altas producciones de forraje, el método de estimación visual sobrestima el contenido real de la leguminosa en la pastura, mientras que a bajos niveles de producción este método resulta un buen estimador.

V.II.2.2. Efecto del agregado de P en el % de Lotus.

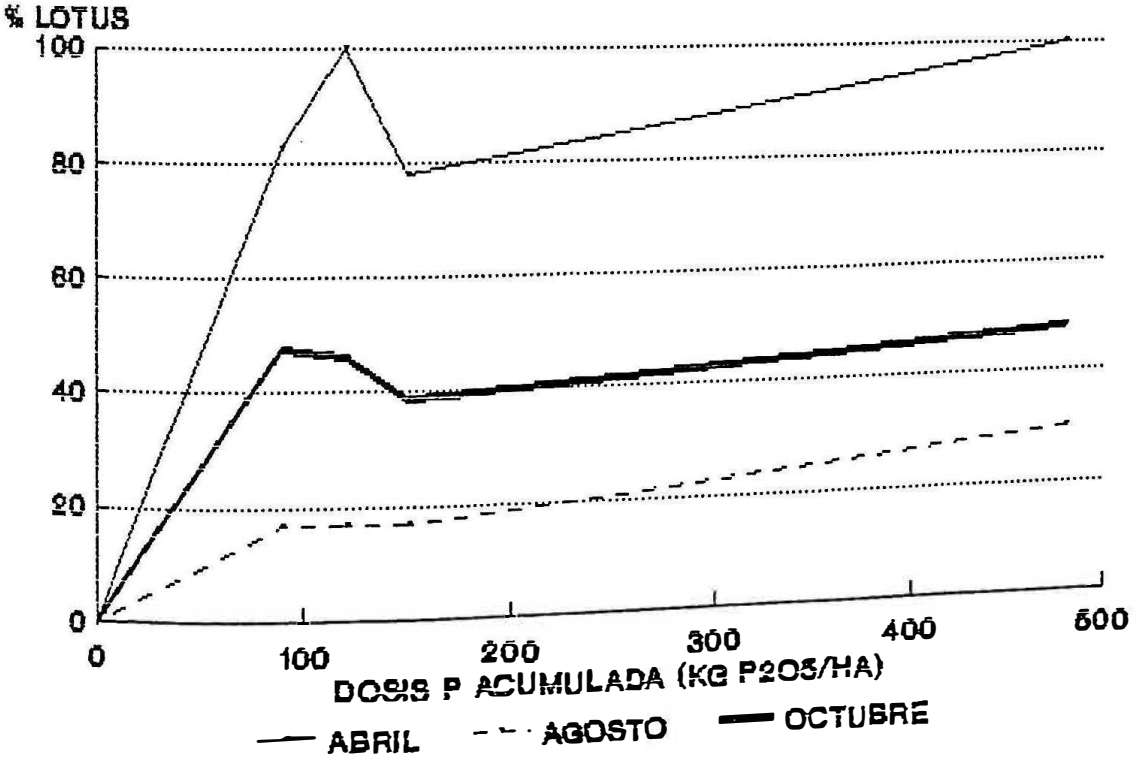


FIGURA No.39 - Porcentaje de lotus gravimétrico según dosis

de P (acumulada al tercer año), en los tres cortes realizados.

En la figura No.39, se observa la variación del porcentaje de Lotus gravimétrico según la dosis acumulada de fósforo. En la misma se observa que sin el agregado de fósforo, el Lotus desaparece de la composición de la pastura. En los cortes de octubre y agosto el porcentaje de Lotus aumenta hasta las 90 unidades de P acumulado, para luego estabilizarse; en el corte de abril se da la misma tendencia, aunque se observa que el porcentaje de Lotus llega hasta el 100 %, cabe recordar que este corte se caracterizó por una muy baja producción de materia seca.

- Efecto residual del encalado en el porcentaje de lotus.

Para el corte de octubre, se estudió el efecto del agregado de cal (trat. refertilizados y no refertilizados) en el % de lotus, lo que se presenta en la figura No.40. En la misma se visualiza claramente que los tratamientos con cal tuvieron un menor % de lotus siendo la tendencia más clara en los tratamientos no refertilizados. Entre los mismos no se habían determinado diferencias significativas en producción de materia seca, además, las diferencias en porcentaje de lotus determinado visualmente son muy pequeñas (4%). Si se considera la composición botánica gravimétrica (ver cuadro No.33 del apéndice) se ve que en el tratamiento con cal no solo la producción del Lotus fue menor sino que la gramínea también resintió su rendimiento (aunque en menor medida que el Lotus, provocando una disminución en el porcentaje de Lotus gravimétrico). Estas diferencias no tienen una explicación aparente, considerando que para producción de materia seca no hubo diferencias significativas, solo se podría inferir la incidencia de algun factor no controlado en el porcentaje de lotus para estos tratamientos.

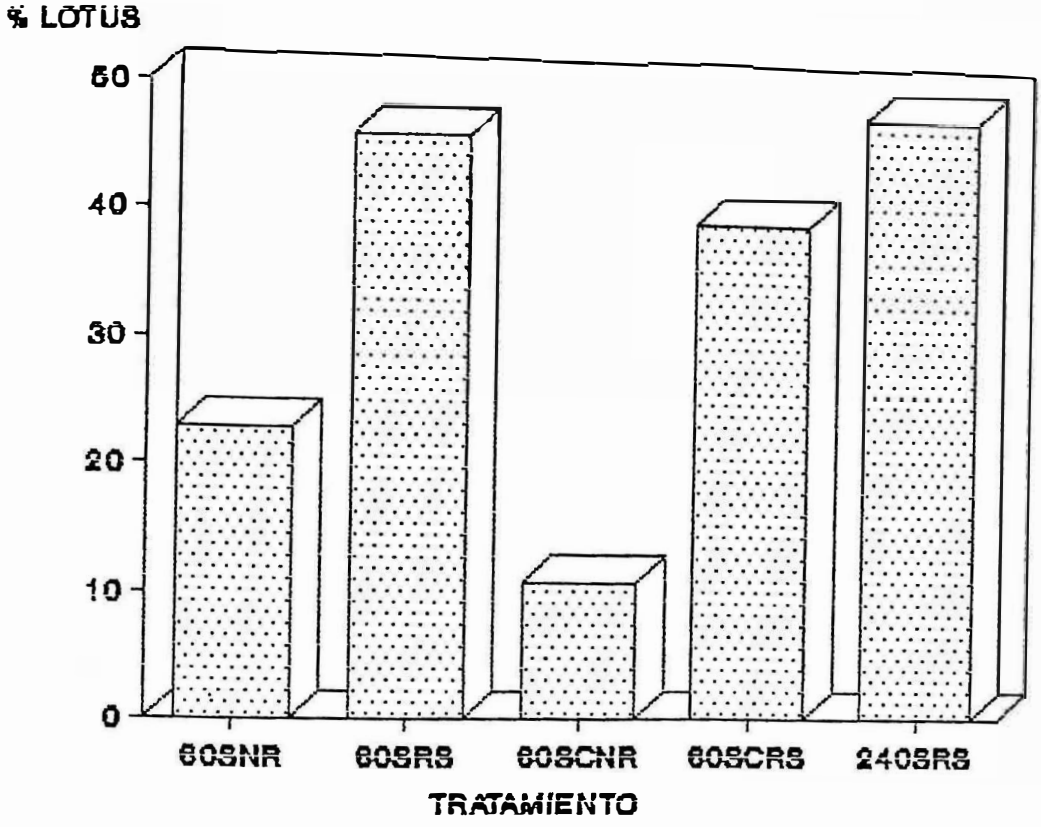


FIGURA No.40 - Porcentaje de lotus en tratamientos con y sin cal, y con y sin refertilización, comparados con el tratamiento con fósforo no limitante para el corte de octubre.

V.II.3. CONTENIDO DE NUTRIENTES EN LA MATERIA SECA.

V.II.3.1. Absorción de P.

V.II.3.1.1. Absorción total y por corte.

En un principio se estudió la absorción de P total y por corte, la cual se presenta en la figura No.41. En la misma se visualiza, primero que el corte de octubre que había sido el de mayor producción de materia seca fue logicamente el que extrajo más P y por otro lado hay una estrecha relación entre el P absorbido en octubre con el P absorbido total.

En la medida que la planta tuvo más P en el suelo extrajo una mayor cantidad del nutriente pudiendo extraer

hasta 23 Kg/há de P durante el año cuando el nutriente no fue limitante, situación muy distante del testigo sin P donde se extrajeron menos de 2 Kg/há de P.

La figura No.41 muestra claramente al P como uno de los principales factores limitantes para el crecimiento, al igual que lo observado para la respuesta en materia seca. En la primavera, donde las limitantes de crecimiento son superadas, se observa claramente la respuesta al agregado de P, la cual se traduce en un mayor rendimiento de materia seca y P absorbido, como consecuencia de una mayor dispo nibilidad de P. En conclusión se confirma la necesidad de la fertilización fosfatada para la pastura en éste tipo de suelos.

Por otra parte, se observa una absorción elevada de P para el tratamiento con P no limitante en el corte de octubre, lo cual no llega a manifestarse en los restantes, por problemas de crecimiento de la pastura.

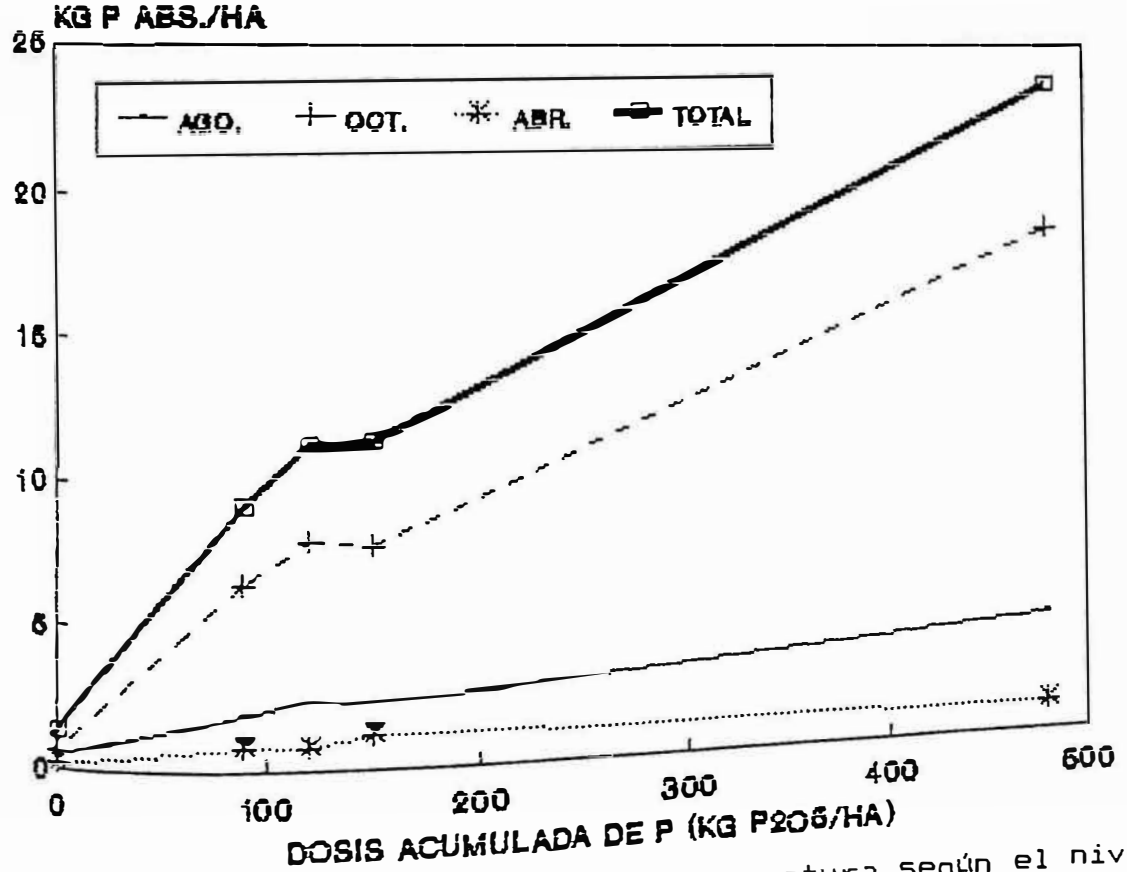


FIGURA No.41 - Absorción de P por la pastura según el nivel de P aplicado, para cada corte y para el total anual.

Se estudió también la absorción total y por corte, para cada componente de la pastura (figuras No. 5 y 6 del apéndice), observándose una mayor absorción de P en la fracción gramínea. Esto está relacionado a una mayor contribución de esta fracción dentro de la mezcla.

Se estimó conveniente estudiar la absorción de fósforo según la fuente utilizada y según fueran o no refertilizados, en la figura No.42 se presenta la absorción relativa de fósforo de varios tratamientos respecto al tratamiento de P no limitante.

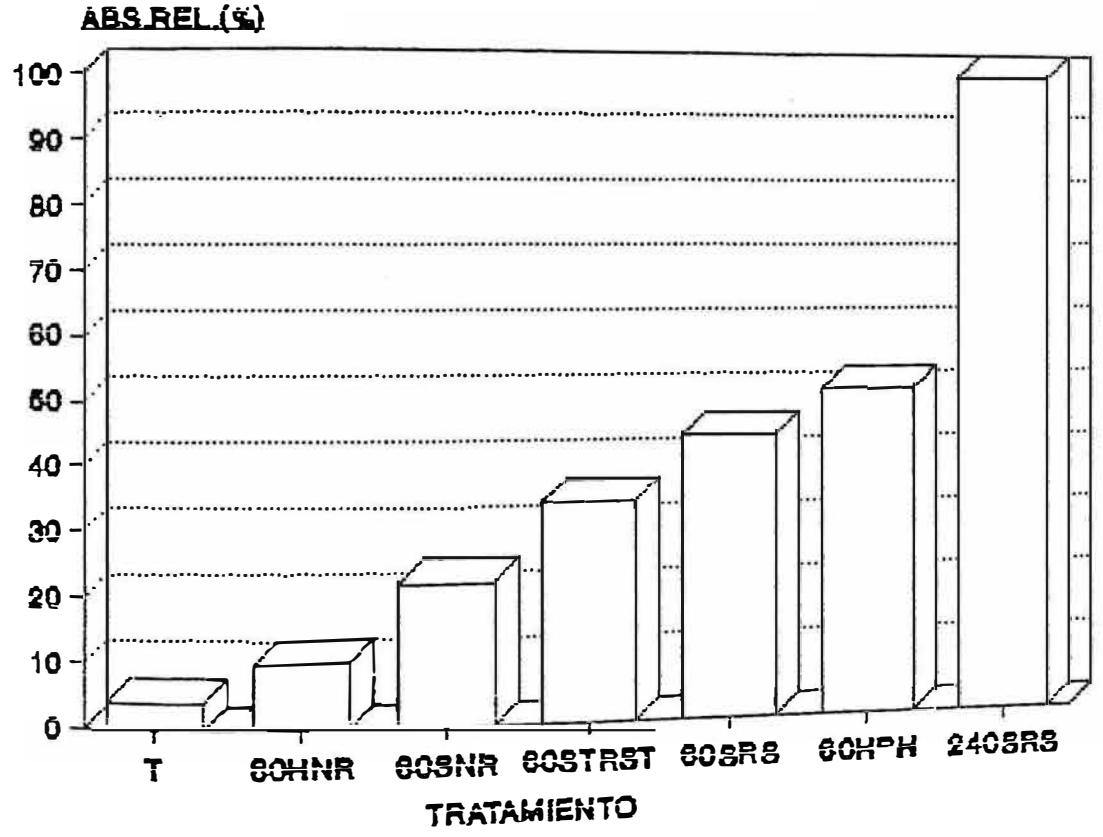


FIGURA No.42 - Absorción relativa de fósforo (tratamiento 240SRS = 100) según fuentes de fósforo y refertilización, total anual.

Considerando los tratamientos refertilizados, cuando se utilizó supertriple se obtuvo más rendimiento que con las otras fuentes, ver cuadro No.11 (diferencia estadísticamente no significativa), sin embargo el P absorbido respecto al tratamiento de P no limitante fue menor que en

las otras dos fuentes. De esto se puede deducir que las diferencias en rendimiento no se deben exclusivamente a diferentes disponibilidades de P, pues como se vió en este caso, un tratamiento de menor absorción de P produjo mayor rendimiento de materia seca.

En los tratamientos no refertilizados, la tendencia del fósforo absorbido es similar a la de materia seca, aquel que recibió hiperfosfato absorbió menos que el correspondiente con superfosfato, lo que indicaría que el hiperfosfato tuvo menos disponibilidad. Además se comprueba claramente la menor disponibilidad de P en el suelo respecto a los tratamientos refertilizados.

- Efecto del encalado en la absorción de P.

En este punto se comparó la absorción de fósforo en los tratamientos con y sin cal, cuando fueron refertilizados y cuando no lo fueron; ésto se representa en la figura No.43.

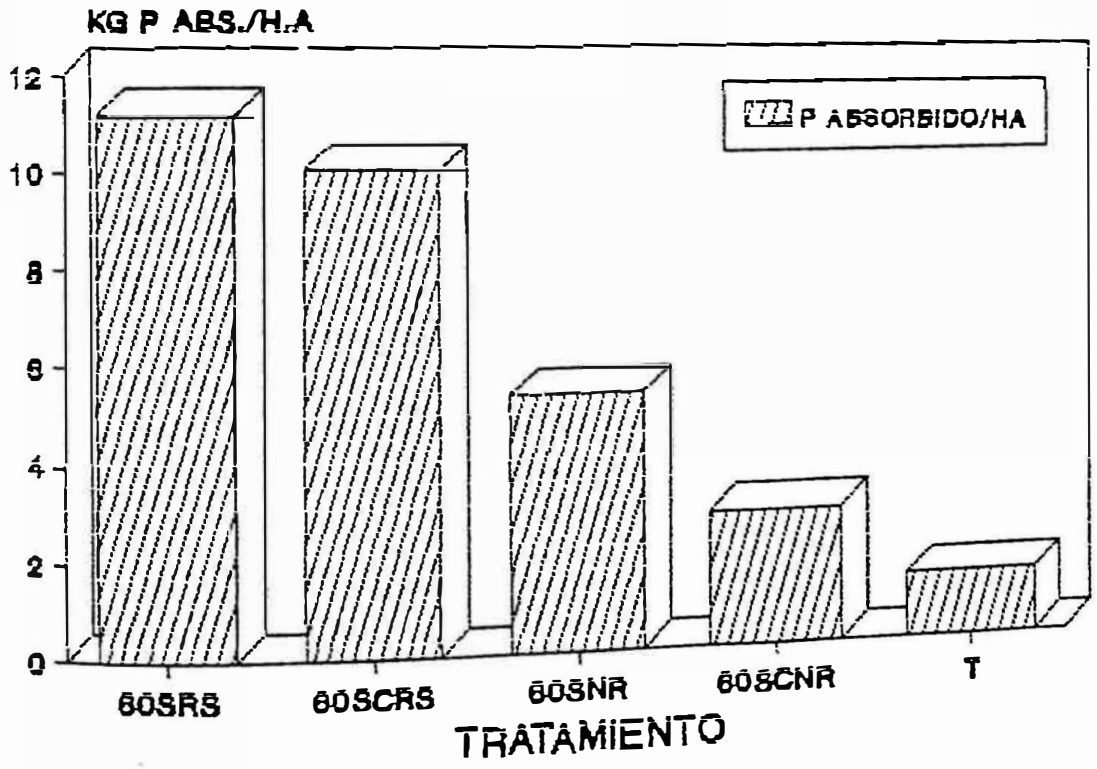


FIGURA No.43 - Absorción de fósforo en tratamientos con y sin cal, y con y sin refertilización, comparados con el testigo.

En la figura anterior se visualiza que la cal afectó negativamente la absorción de fósforo, siendo muy claro el efecto cuando las parcelas no fueron refertilizadas, observándose una diferencia en P absorbido de 50 % en relación al tratamiento sin cal correspondiente. Probablemente la cal no afectó la absorción de P en forma directa sino que actuó sobre la disponibilidad del mismo. Pero dado que no existieron diferencias en materia seca, no se intentó encontrar posibles explicaciones para estos resultados encontrados.

Cabe mencionar que este resultado coincide con lo visto en el punto V.II.2.2. donde se observó que la producción de la leguminosa disminuyó en el tratamiento encalado, sobre todo cuando no se refertilizó.

V.II.3.1.2. Porcentaje de Fósforo en la planta.

En éste punto se compara el % de P en gramínea y leguminosa según la dosis de P utilizada y según el corte considerado. Los valores de % de P foliar se presentan en el cuadro No.35 del apéndice.

Para todas las dosis, se ve claramente que el corte de agosto fue el que presentó un mayor porcentaje de P foliar, lo que fue acompañado por un bajo rendimiento de materia seca como se vio en el cuadro No.11. Estas altas concentraciones de P en la planta indican que el nutriente no fue el factor limitante para el desarrollo, sino que existen otros que lo impidieron, probablemente, luz y temperatura.
Otro factor que explicaría esta tendencia es que la fertilización fosfatada fue realizada a la entrada del invierno, entonces en ese corte se absorbe mucho P disponible lo que se traduce en altos porcentajes de P en la planta. En los cortes siguientes el P absorbido se diluyó en una mayor cantidad de materia seca producida, también pudo haber existido cierta retrogradación del P agregado.

Cuando consideramos la concentración de P según la especie, se observan resultados variables según la época del año, en agosto y abril la leguminosa tuvo mayor concen-

tración de P que la gramínea; en agosto la explicación está dada por las limitantes ambientales para el crecimiento del Lotus (estival), mientras que en las gramíneas seguramente existieron especies invernales que pudieron desarrollarse bajo esas condiciones y por lo tanto hacer uso del P absorbido. En abril, la explicación estaría dada por el estado fenológico del Lotus ya que la pastura se encontraba en pleno rebrote en el momento del corte.
En el mes de octubre la tendencia verificada es hacia una mayor concentración de P en las gramíneas, la explicación de ello radica en que la leguminosa tenía un vigoroso desarrollo y una alta cobertura del suelo (ver apéndice, cuadro No.34 de estimación visual) lo que determinó una fuerte competencia, y en consecuencia un restringido desarrollo de las gramíneas, impidiéndole a éstas utilizar completamente el P absorbido.

Por otro lado se compararon los % de P entre los tratamientos con y sin refertilización, lo que se aprecia en la figura No.44.

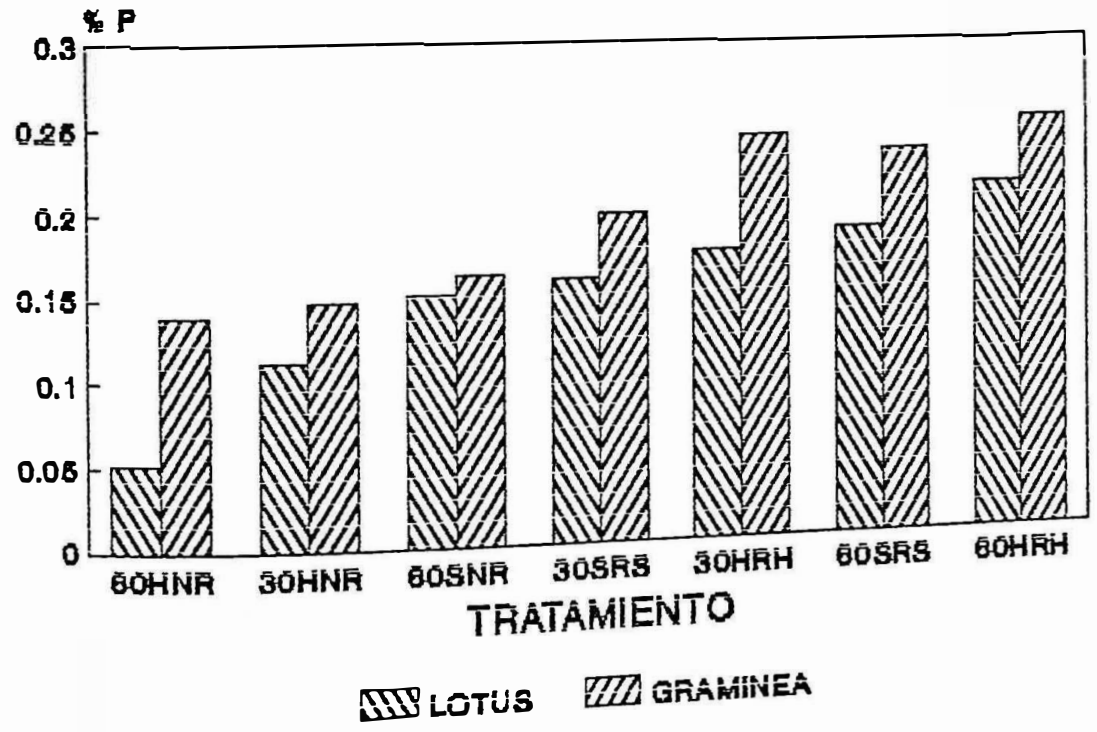


FIGURA No.44 - Porcentaje de fósforo de las fracciones

lotus y gramínea, para diferentes tratamientos con fuentes de fósforo.

Los tratamientos sin refertilización presentaron un menor % de P, sumado ésto a que produjeron menos forraje, confirmando la hipótesis de una menor disponibilidad de P en el suelo.

Entre los tratamientos refertilizados, se observa que los tratamientos de 60 unidades a la instalación rindieron más y presentaron un mayor % de P que los de 30 unidades, lo que confirma que las diferencias en P disponible en el suelo se mantienen, aun refertilizando anualmente, independientemente de la fuente utilizada. En cambio en los tratamientos sin refertilización, no se observan diferencias claras en % de P foliar, entre los tratamientos con diferentes dosis de P iniciales.

V.II.3.1.3. Relaciones P absorbido - M.S. producida.

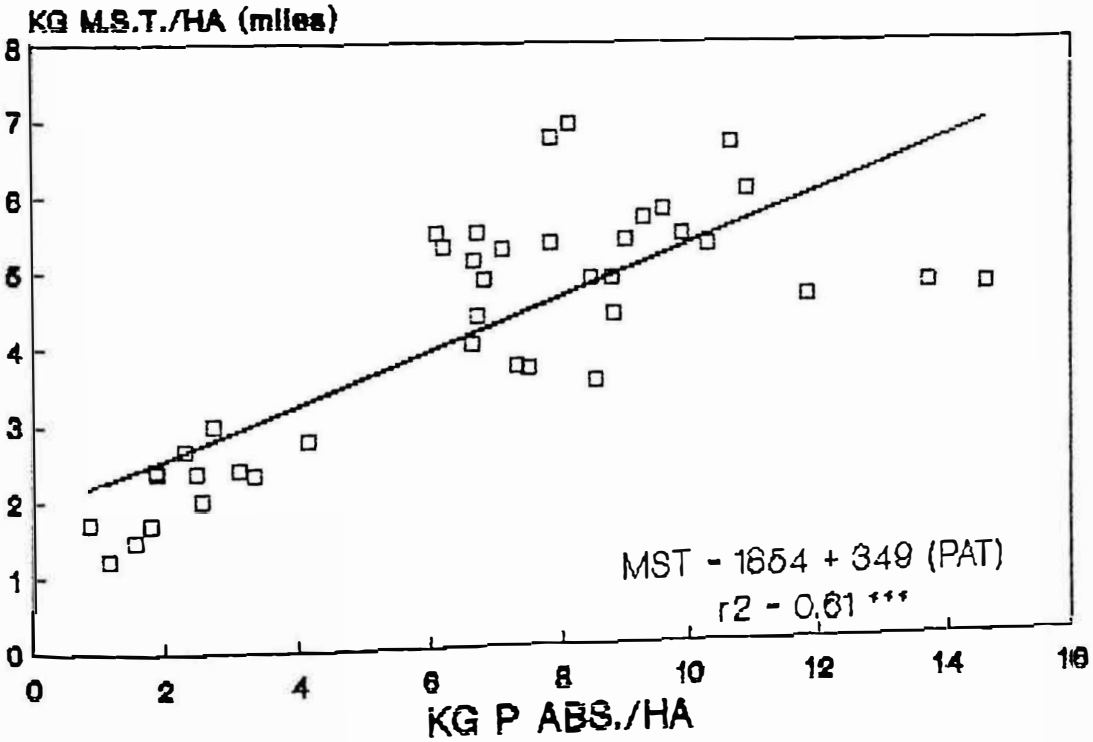


FIGURA No.45 - Relaciones entre el fósforo total absorbido y la producción anual de materia seca.

Para el estudio de dichas relaciones, se graficaron ambas variables, con los datos del corte de octubre y del total anual, los cuales se presentan en las figuras No.45 y 46, se ajustaron rectas en ambos casos, las ecuaciones encontradas también se presentan en las figuras.

El coeficiente de correlación de ambos cortes indican que la relación lineal entre el P absorbido y la materia seca producida es bastante estrecha, más o menos la mitad de la varianza de la producción de materia seca esta asociada con el P absorbido. Los coeficientes de regresión indican que por cada kilogramo de P absorbido la pastura produjo más de 300 Kg (b > 300) de materia seca.

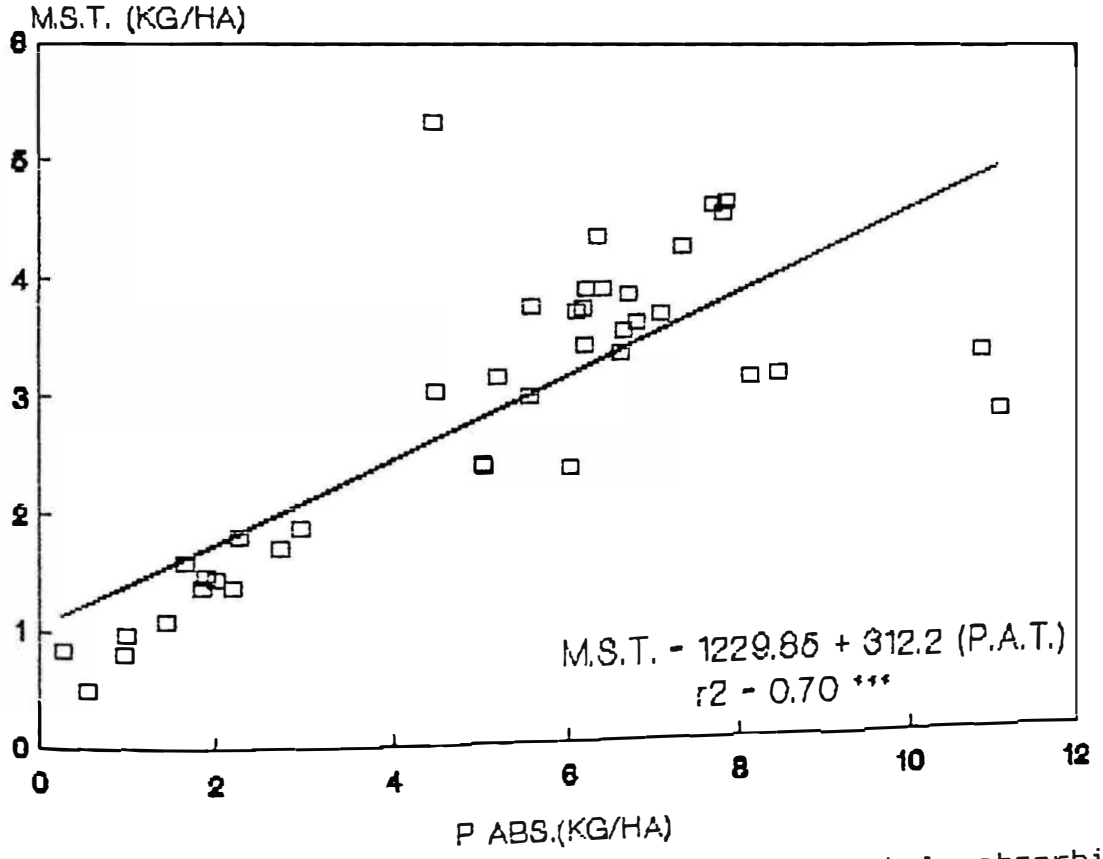


FIGURA No.46 - Relaciones entre el fósforo total absorbido y la producción de materia seca, para el corte de octubre.

También, para el corte de octubre, se ajustaron rectas a la relación entre la producción de materia seca y el P

absorbido para la leguminosa y la gramínea por separado, siendo las ecuaciones encontradas las siguientes:

M.S.L = 441.21 + 333.67 (P.A.L.)
r2 = 0.53

M.S.G. = 1127.12 + 209.58 (P.A.G.)
r2 = 0.40

Donde:

M.S.L.: Materia seca de lotus
M.S.G.: Materia seca de la gramínea
P.A.L.: P absorbido por el lotus
P.A.G.: P absorbido por la gramínea

Los coeficientes de correlación encontrados son menores que para la producción total de la mezcla, lo que indica que para ambos componentes por separado, la producción de materia seca estuvo menos explicada por la absorción de P. Los coeficientes de regresión indican como era de esperar que por cada Kg de P absorbido la leguminosa produce más forraje que la gramínea.

V.II.3.1.4. Eficiencia del P absorbido en producción de materia seca.

Se calculó un índice de eficiencia, al igual que para el sitio anterior, de materia seca producida por kilogramo de fósforo absorbido, el cual se presenta, para todos los tratamientos en el cuadro No.37 del apéndice y en el siguiente cuadro No.15 se presenta el mismo en forma resumida a algunos tratamientos. En los mismos mismo se observa cierta tendencia, aunque no muy clara, a disminuir la eficiencia del P absorbido a medida que aumenta el nivel de P aplicado como fertilizante. Además se ve claramente que en el corte de Agosto la gramínea fue en todos los tratamientos más eficiente que el Lotus en el aprovechamiento del fósforo, lo que se debe seguramente a que la leguminosa empleada es estival y por lo tanto su crecimiento se restringe mucho en invierno, mientras tanto las gramíneas adaptadas no lo sienten tanto pudiendo utilizar el P absorbido para su crecimiento; en octubre en cambio se dió que siempre la leguminosa fue más eficiente que la gramínea, lo cual era de esperar, ya que el P es el principal nutriente que limita la incorporación de leguminosas al campo natural.

CUADRO No.15 - Eficiencia en producción de materia seca del fósforo absorbido (Kg/há M.S. / Kg/há P absorbido).

	AGOSTO			OCTUBRE			ABRIL			TOTAL		
DOSIS P	LOTUS	GRAM.	TOTAL	LOTUS	GRAM.	TOTAL	LOTUS	GRAM.	TOTAL	LOTUS	GRAM.	TOTAL
0		1280	1280		2008	2008		1012	1012		1455	1455
90		467	470	630	507	559	699		771	623	503	552
120	386	545	500	657	440	488	765		765	632	459	509
150	320	442	396	726	725	725	632		683	589	588	588
480	225	338	294	441	381	357	820		820	441	360	366

También, y sobre todo aquí se ve la baja eficiencia de la dosis alta, lo cual indica "consumo de lujo" de P.

V.II.3.2. Absorción de N.

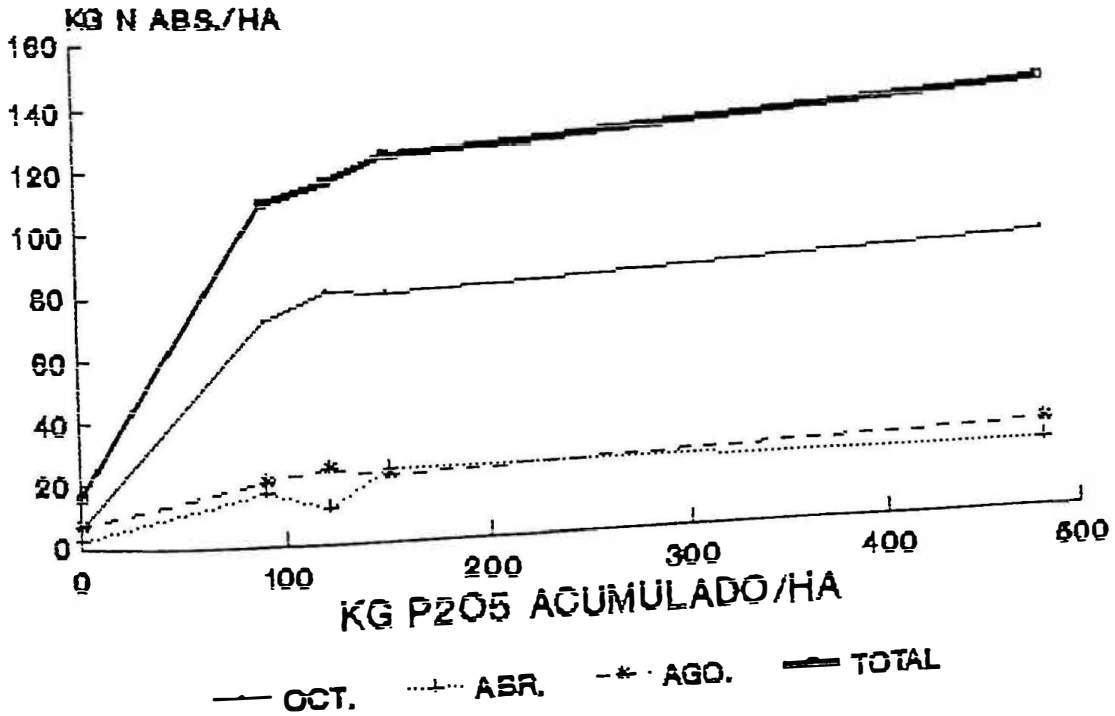


FIGURA No.47 - Nitrógeno absorbido por la pastura según el nivel de P aplicado en los tres cortes del ensayo, para

cada corte y el total anual.

En los cuadros No.38 y 39 del apéndice se presentan los valores de % de N foliar y de los kilogramos de N absorbidos por la pastura, de todos los tratamientos del ensayo.

El N absorbido por la pastura durante el año y en los diferentes cortes según la dosis de P acumulada, se representa en la siguiente figura No.47

El corte de primavera es el que explica en mayor proporción el total anual, siendo la tendencia de la curva similar.

El nitrógeno absorbido total, presenta mucha similitud con la materia seca producida total, siendo el mayor incremento en el primer intervalo (0-90 unidades) para luego estabilizarse, y aumentar en el tratamiento de P no limitante. Estos resultados indican que cuando hay leguminosas y buenas condiciones para su desarrollo, el N no es limitante del crecimiento de la pastura.

En las figuras No.48 y 49 se representa el nitrógeno absorbido por cada uno de los componentes de la pastura y el % de nitrógeno de ellos determinado por análisis foliar, para el corte de octubre. A altas dosis de P se observa un aumento del N absorbido por la leguminosa y por la gramínea. Si se observa el % de N foliar, se ve que el mismo tiende a aumentar en la gramínea a la dosis de P no limitante y a disminuir en la leguminosa. Esto podría estar relacionado con que la gramínea tuvo un mayor desarrollo que la leguminosa a la dosis de P no limitante, pero al observar el cuadro No.33 del apéndice se ve que el porcentaje de Lotus gravimétrico aumenta a la dosis de P no limitante, por lo que se descartaría esta hipótesis. El aumento en la absorción de N por la gramínea, se debería entonces a un efecto indirecto de la elevada producción del Lotus, el cual, por un lado determina una alta disponibilidad de N (fijado simbióticamente) en el suelo y transferido a la gramínea y al mismo tiempo ejerce una alta competencia impidiéndole a la gramínea aprovechar al máximo ese N disponible traduciéndolo en materia seca.

Este estímulo al crecimiento de la gramínea provocado por una alta producción de la leguminosa y que a la larga se traduce en detrimento de si misma, se da siempre en pasturas con este tipo de asociaciones.

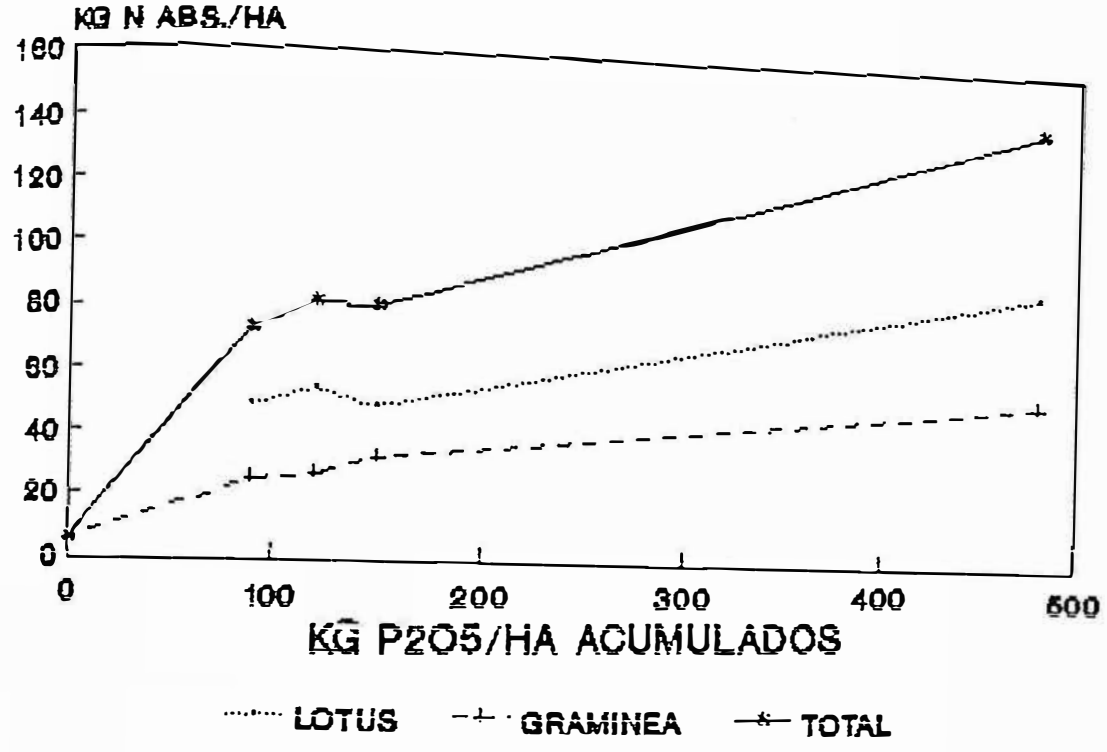


FIGURA No.48 - Absorción de N en función de la dosis acumulada de fósforo, para la fracción leguminosa y la fracción gramínea, en el corte de octubre.

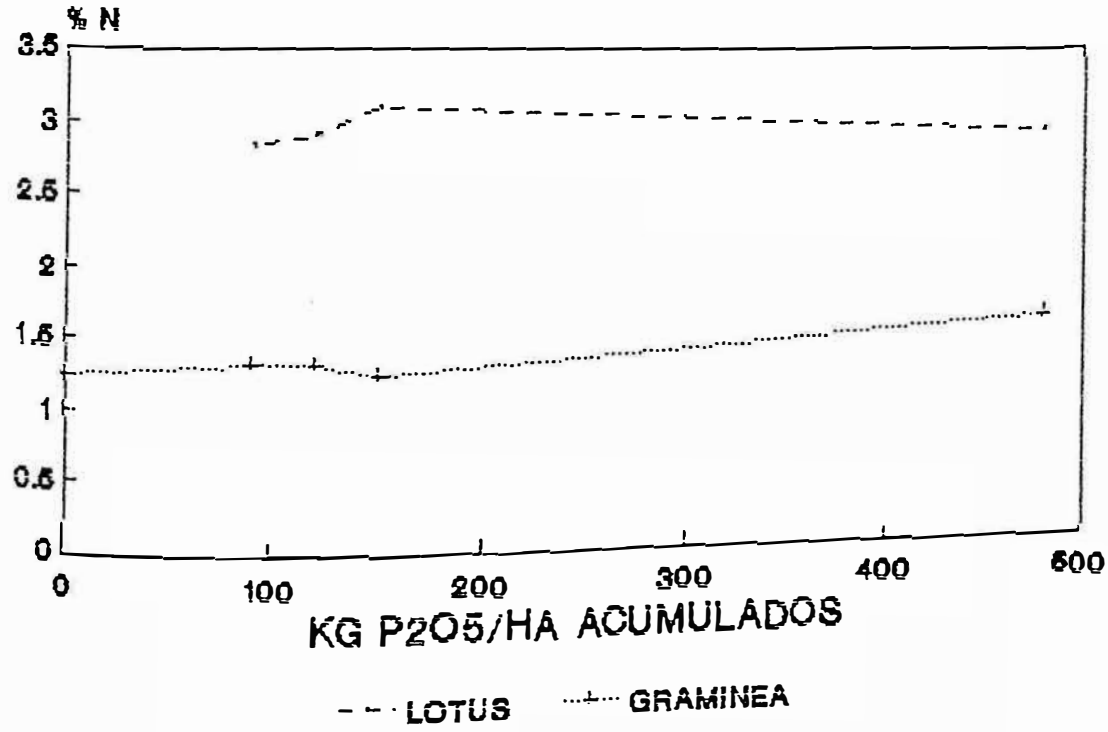


FIGURA No.49 - Porcentaje de N en función de la dosis acumulada de P para el lotus y la gramínea en el corte de octubre.

Para la producción anual también se graficó la absorción de nitrógeno por ambos componentes de la pastura (ver apéndice, figura No.7) según la dosis de P, en la misma se observa una tendencia similar a la vista en el corte de octubre, mientras el N absorbido por la gramínea aumenta con la dosis de P, el de la leguminosa permanece constante.

V.II.3.3. Absorción de Potasio.

En los cuadros No.40 y 41 del apéndice se presentan los resultados encontrados en los tratamientos analizados, de % de K foliar y de los kilogramos de K absorbidos.

En la figura No.50 se presenta el potasio absorbido por la pastura en tres niveles de fósforo aplicado.

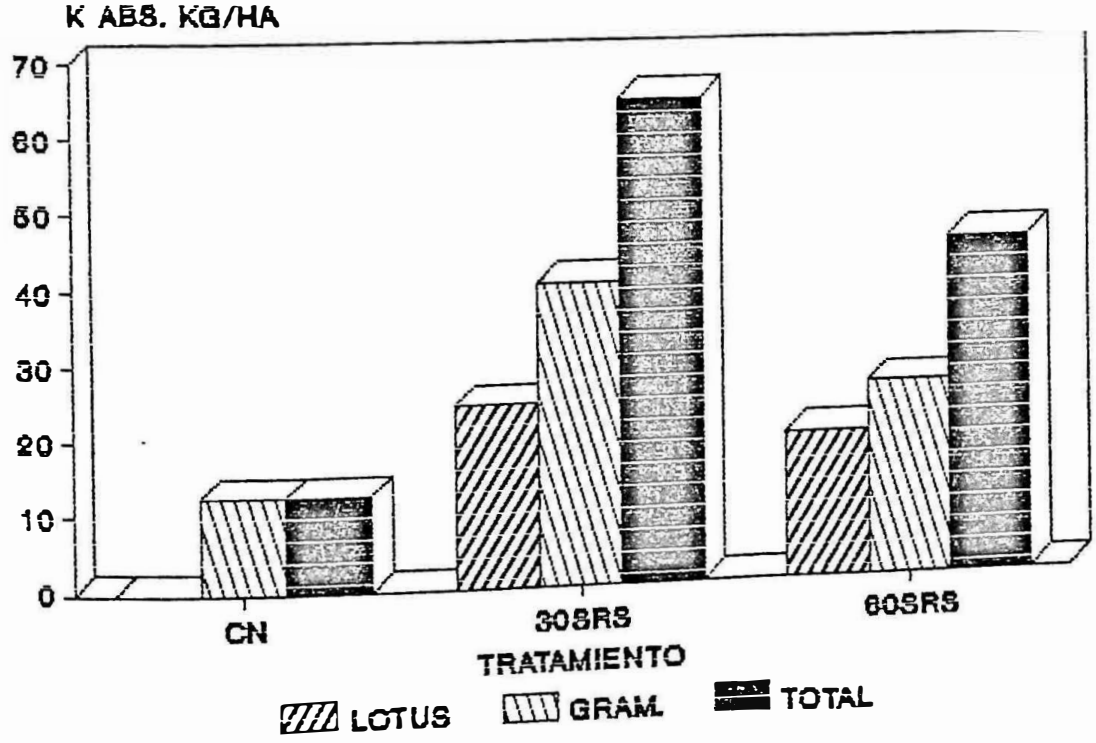


FIGURA No.50 - Absorción de potasio (total anual) por el lotus, la gramínea y el total, para el campo natural y dos tratamientos con P.

Se observa que la gramínea absorbe mayores cantidades que la leguminosa, debido probablemente a las características de su sistema radicular, el cuál al ser más ramificado, le permite hacer una mayor exploración del suelo, y por lo tanto tiene mayores posibilidades de interceptar el Potasio.

Según el histograma de la figura No.50, el K absorbido por la pastura parecería aumentar hasta la dosis 90 (30 inicial más 30 c/año) y después disminuír.
Este comportamiento presentado por el potasio no parece ser muy claro. Se debe tener en cuenta que el histograma anterior esta hecho en base a pocos datos (pocas repeticiones fueron analizadas), por lo que no se intentó explicar ese raro comportamiento del potasio absorbido.

También se analizó como variaba el % de K foliar según la dosis de fertilizante fosfatado aplicada (ver figura No.8 del apéndice), en la misma se observa el mismo comportamiento que los Kg de K absorbidos.

V.II.4. EVOLUCION DE PARAMETROS QUIMICOS DEL SUELO.

V.II.4.1. Fósforo asimilable.

En el cuadro No.16 se presentan valores de P disponible en el suelo, para varios tratamientos.

En el mismo se observa que los valores no muestran diferencias en disponibilidad de P entre los tratamientos, que se sabe que existieron en función de los análisis realizados en puntos anteriores. Los valores encontrados son similares en todos los tratamientos menos en el de P no limitante.

Como se mencionó para el sitio anterior esto se debe probablemente a un error en la profundidad de muestreo (15 cm), el cual debió ser menor si se pretendía observar diferencias entre tratamientos (los cuales se realizaron todos en cobertura), o también el tipo de análisis podría no ser el apropiado para este tipo de suelos.

CUADRO No.16 - Fósforo asimilable en el suelo (Bray No.1),

muestreo de abril de 1991.

BLOQUE	TRATAMIENTO	P BRAY
II	60 H	3
	0	2
	60 S+C	3
	60 S	4
	240 S	15
III	0	3
	30 S	2
	30 S	3
	60 S	2
	60 S+C	4
	60 H	3
	240 S	12

VI. CONCLUSIONES.

VI.1. SITIO No.1 - MASTROPIERRO.

VI.1.1. Producción de materia seca.

VI.1.1.1. Respuesta a fósforo.

Existió alta respuesta en materia seca al agregado de fertilizante fosfatado en el tercer año de la pastura, la respuesta es alta hasta una dosis de 90 - 120 unidades por há acumuladas al tercer año, a las dosis mayores los rendimientos marginales por cada unidad de P agregada tienden a ser menores para luego estabilizarse, o sea que la respuesta a P mostró una curva de tipo asintótica.

La alta respuesta a fósforo se manifestó durante la estación de crecimiento de la leguminosa (corte de octubre), siendo menor en los otros cortes.

VI.1.1.2. Residualidad del P.

Existió efecto residual importante del P al tercer año de agregado, los tratamientos no refertilizados rindieron un 40 % menos que el tratamiento con P no limitante y casi un 50 % más que el testigo sin P.

La residualidad del P agregado se manifestó independientemente de la dosis y fuente utilizada en la instalación (no hubo diferencia entre hiperfosfato y superfosfato). Esta clara respuesta al P agregado luego de tres años estaría relacionado el bajo contenido de P en este tipo de suelos.

VI.1.1.3. Respuesta a la refertilización.

Existió alta respuesta a las refertilizaciones anuales, los tratamientos refertilizados rindieron en promedió un 46 % más que los que no lo fueron.

La respuesta a la refertilización es independiente de la fuente utilizada, tanto en la instalación como en la

refertilización, entre superfosfato e hiperfosfato lo cual indicaría similar eficiencia de ambas fuentes para este suelo. En cambio entre las dos fuentes solubles sí se observaron diferencias: el superfosfato tuvo una respuesta significativamente mayor al supertriple, lo cual se debió probablemente al azufre que contiene en su composición el superfosfato.

Se observó una diferente respuesta a las refertilizaciones anuales entre dos niveles de P aplicados en la instalación, el tratamiento con dosis inicial de 60 Kg P205/há tuvo un rendimiento significativamente mayor que el de dosis de 30 Kg P205/há al tercer año con igual nivel de refertilización anual (30 Kg P205/há), esto indica que es importante lograr un buen desarrollo inicial de la leguminosa (con una buena dosis de P) para que la respuesta a las refertilizaciones posteriores sean altamente significativas. Con una dosis de 60 unidades por hectárea iniciales más 30 anuales se logró un 90 % de producción de materia seca de la obtenida con la dosis de P no limitante.

VI.1.1.4. Residualidad del encalado.

Al tercer año no hubo efecto residual del encalado realizado en la instalación de la pastura.

VI.I.1.5. Alternativas de mejoramiento del campo natural.

La respuesta global a los mejoramientos fue altamente significativa. La pastura no mejora a consecuencia de la sola introducción de una leguminosa cuando los niveles de disponibilidad de P no son suficientes para su crecimiento y desarrollo, es necesario el agregado de fertilizante fosfatado junto con la misma para lograr un aumento significativo en la producción de forraje.

El agregado de Nitrógeno y Fósforo incrementó la producción de forraje del tapiz natural en un 57 %, pero el mismo fue inferior al campo natural con Lotus más Fósforo (27 % menos). El escaso potencial productivo de las especies nativas no solo determina respuesta no muy alta al agregado de N, sino que también ejerce una baja competencia a la implantación de la leguminosa, una vez que aumentan los niveles de disponibilidad de P del suelo. Esto determina mayor aumento de rendimiento en la introducción de leguminosas con P.

VI.1.2. Rendimiento de leguminosa.

- Relación entre la producción de la leguminosa y la producción total de la pastura.

Se encontró una alta relación entre la producción total de la pastura y la producción de la leguminosa, la relación es lineal hasta cierto punto, que corresponde aproximadamente a un contenido de lotus entre 40 - 50 % en la composición botánica, luego del cual un aumento en la producción de la leguminosa significa un aumento en la calidad del forraje, ya que la producción de materia seca total tiende a estabilizarse a esos niveles.

El mantenimiento de niveles altos de disponibilidad de P permite mantener un alto porcentaje de leguminosa, lo cual determina no solo aumento en el volúmen, sino también en la calidad de forraje.

VI.1.3. Contenido de nutrientes en la materia seca.

VI.1.3.1. Absorción de Fósforo.

La absorción de P por la pastura aumenta constantemente hasta la dosis 480 (P no limitante). Entre ambos componentes de la pastura (leguminosa y gramínea) hubo cierta compensación en la absorción de P. A la dosis de P no limitante se observó consumo de lujo de P en ambos componentes de la pastura.

- Relaciones entre P absorbido y producción de materia seca.

La producción de materia seca aumenta constantemente con la absorción de P hasta un nivel del orden de 0.22 % de P foliar (promedio general de la mezcla, corte de octubre), por encima del cual, la pastura continúa absorbiendo P sin que se traduzca en materia seca.

- Eficiencia del P absorbido en producción de materia seca.

La eficiencia en producción de forraje del P absorbido disminuye a medida que aumenta la dosis de fertilizante fosfatado.

Sin el agregado de P o con un nivel bajo, la gramínea es más eficiente en la utilización del P absorbido que la leguminosa, en cambio a medida que aumenta el nivel de fertilizante la leguminosa produce más materia seca por Kg de P absorbido.

VI.1.3.2. Absorción de Nitrógeno.

El contenido de N en planta aumenta con el agregado de P, siendo mayor el incremento en la fracción leguminosa.

El porcentaje de Nitrógeno foliar se presentó variable en los diferentes cortes, observándose mayor relación entre % de N y dosis de P para la fracción leguminosa.

VI.1.3.3. Absorción de Potasio.

La absorción de K es mayor a medida que aumenta la producción de forraje, debido principalmente a un mayor tamaño de plantas y una mayor exploración radicular.

VI.1.4. Análisis de suelos.

El análisis de suelo realizado (Bray No.1) no detectó diferencias en P disponible entre los tratamientos, debido probablemente a una inadecuada profundidad de muestreo (15 cm), dadas las aplicaciones de P en cobertura.

VI.2. SITIO No.2 - S.U.L.

VI.2.1. Producción de materia seca.

VI.2.1.1. Respuesta a fósforo.

La producción de materia seca de la pastura (campo natural más lotus) aumentó significativamente con el agregado de fósforo, los tratamientos fertilizados rindieron en promedio más de un 200% respecto al testigo.

VI.2.1.2. Residualidad del P.

Existió un bajo efecto residual del P a tres años de agregado. Este efecto se manifestó independientemente de la dosis y de la fuente de P utilizada, siendo en promedio un 27 % del tratamiento con P no limitante. No hubo claras diferencias en rendimiento entre los tratamientos con agregado de P solo en instalación y el testigo sin agregado de P.

VI.2.1.3. Respuesta a la refertilización.

La respuesta a las refertilizaciones anuales fue altamente significativa. Los tratamientos refertilizados rindieron un 70 % más que los que no lo fueron.

Las diferencias entre distintas dosis iniciales de P se mantuvieron al tercer año en las parcelas refertilizadas. Esto indica que es importante lograr un buen desarrollo inicial de la leguminosa, con una buena dosis de P (60 Kg P2O5/há), para que la respuesta a la refertilización sea significativa.

No hubo diferencia en la respuesta a la refertilización entre las fuentes utilizadas tanto en la instalación como en las refertilizaciones (superfosfato, supertriple e hiperfosfato).

VI.2.1.4. Residualidad del encalado.

En este sitio tampoco existió efecto residual del encalado, al tercer año de realizado, en producción de materia seca.

VI.2.1.5. Alternativas de mejoramiento del campo natural.

La respuesta global a los mejoramientos fue altamente significativa. Al igual que en el sitio anterior, la producción no mejoró a consecuencia de la introducción de la leguminosa solamente.

La producción del campo natural fertilizado con N y P no difirió estadísticamente de la del campo natural con lotus y P para la producción total anual, lo que indica que

en el tapiz natural existen especies con alto potencial productivo capaces de responder al agregado de nutrientes como N. En cambio al analizar la producción estacional sí existieron diferencias entre ambos tratamientos, el campo natural más N y P fue superior al campo natural con lotus más P en el corte de agosto, debido al momento de la refertilización (otoño) y a la estacionalidad del lotus, ya que en la primavera (donde comienza la estación de crecimiento del lotus) cuando se agregó la segunda dosis anual de N no hubo diferencias entre ambos tratamientos. En el corte de abril fue el mejoramiento con lotus y P el que presentó una respuesta significativamente superior al campo natural con agregado de fertilizantes solamente.

VI.2.2. Rendimiento de leguminosa.

Relación entre la producción de la leguminosa y del total.

Se encontró una alta asociación entre la producción total de materia seca con la producción de la leguminosa. La relación es lineal entre ambas variables, o sea que una alta producción de la leguminosa determina una producción total de la pastura también elevada.

VI.2.3. Contenido de nutrientes en la materia seca.

VI.2.3.1. Absorción de P.

La absorción de P aumenta con la dosis de fertilizante agregado hasta el nivel de P no limitante, que es cuando se dió consumo de "lujo" de P.

- Relación entre P absorbido y producción de forraje.

Se encontró una alta asociación entre ambas variables, los coeficientes de regresión indican que por cada kilogramo de P absorbido la pastura produjo más de 300 Kg de materia seca. A su vez la fracción leguminosa fue más eficiente que la gramínea en la utilización del P agregado.

VI.2.3.2. Absorción de N.

La absorción de N aumentó con el agregado de P, siendo la leguminosa la fracción de mayor absorción de N foliar en la pastura. El % de N foliar no varió con la dosis de P.

VI.2.3.3. Absorción de K.

La absorción de K aumenta a medida que aumenta la producción de materia seca.

VI.2.4. Análisis de suelos.

Al igual que para el sitio anterior, los análisis de suelo realizados no detectaron diferencias en P disponible entre los tratamientos.

VII. RESUMEN

Con el objetivo de estudiar las limitantes nutricionales en mejoramientos extensivos de pasturas naturales, se instalaron experimentos de campo en dos suelos desarrollados a partir de materiales derivados del Basamento Cristalino: el sitio 1 corresponde a un Luvisol Umbrico Típico y el sitio 2 a un Argisol subéutrico melánico.

En ambos sitios se evaluó el tercer año de producción de un campo natural con lotus sembrado en cobertura en parcelas con diferentes dosis de fósforo a la instalación (0,30,60,90,240 Kg P2O5/há como superfosfato común 0-21-23-0), fuentes de fósforo (30,60 Kg P2O5/há como hiperfosfato 0-12-30-0 y 60 Kg de P2O5/há como superfosfato triple 0-48-48-0), refertilización anual con 30 Kg P2O5/há bajo diferentes fuentes en algunos tratamientos, y tratamientos con encalado (1 ton de caliza/há en niveles de 30 y 60 Kg P2O5/há). Se analizó también la producción del campo natural sin agregado de fertilizante y con 70 Kg N/há como urea y 30 Kg P2O5/há como superfosfato común anuales. Se realizaron diferentes cortes de la pastura, evaluando producción de materia seca total y de lotus, y absorción de nutrientes (N,P,K). Se observó efecto residual del P (altamente significativo en el sitio 1 y poco significativo en el sitio 2) y una alta respuesta a las refertilizaciones (46 % promedio de aumento en la producción en el sitio 1 y 70 % en el sitio 2). No se observaron diferencias entre fuentes solubles e insolubles de P, por lo cual ambos tipos de fuentes fueron igualmente eficientes para la instalación o mantenimiento de niveles adecuados de P en el suelo. En el sitio 1 el superfosfato común tuvo mayor respuesta que el superfosfato triple, lo que está probablemente asociado al contenido de Azufre del superfosfato común, en el sitio 2 se observó un similar comportamiento de ambas fuentes solubles. No hubo efecto residual del encalado. Se observó una respuesta clara del campo natural a la fertilización con N y P, el cual no difirió del campo natural con lotus y P en el sitio 2 para la producción total anual mientras que en el sitio 1 fue inferior al mismo (siendo esta diferencia variable según la estación del año), el agregado de lotus sin P no mejoró la producción de forraje ya que el lotus no logró implantarse. La absorción de P acompañó los niveles de fertilización y la producción de forraje, los mayores contenidos de P en planta (% P foliar) se dieron en los períodos de menor crecimiento de la pastura (invierno) mientras que la mayor eficiencia en la utilización del P absorbido se observó en el corte de primavera, siendo la

leguminosa a su vez la fracción más eficiente de la pastura cuando se fertilizó, ya que sin P el lotus no se implantó.

VIII.BIBLIOGRAFIA

ALIALL, F y DUQUE, A. 1986. Efecto de la fertilización fosfatada de la fuente de fósforo en una pastura convencional sobre un Vertisol (tercer y cuarto año). Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 183 p.

ALSTON, A.M. and CHIN, K.W. 1974. Response of Subterraneum Clover to rock phosphate as affected by particle size and depth of mixing in the soil. Australian Journal of Experimental Agricultural and Animal Husbundry, 14 (70): 649-655.

_____ , and _____ . 1974. Rock phosphate and superphosphate as sources of P for Subterraneum Clover on an acid sandy soil. Australian Journal of Experimental Agricultural and Animal Husbandry, 14 (68): 358-361.

ALZUGARAY, F.; BECOÑA, S.; Y REBOLLO, A. 1984. Evaluación residual y refertilización fosfatada de leguminosas forrajeras puras en un suelo ácido de la cuenca lechera sur. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía, 106p.

ANDREW, C.S. and VANDEN BERG, P.J. 1973. The influence of aluminium on phosphate sorption by whole plants and exised roots of some pasture legumes. Australian Journal of Agricultural Research 24 (3): pp.341-351.

ARGELAGUET, R.; e IRAZOQUI, A. 1985. Fertilización fosfatada en la implantación y producción de leguminosas en pasturas naturales. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía, 185p.

BACHE, B. and CROOKE,W. 1981. Interactions between Al, P and PH in the response of Barley to soil acidity. Plant & Soil 61; 365-375.

BARBER, S.A. 1984. Liming Materials and Practices. Pearson, R.W . Adams, F. ed. Soil acidity and liming. Agronomy 12:181-199 Am . Soc. of Ag. Madison, Wis.

BARROW, N.J. 1965. Further investigations on the use of lime on established pastures. Australian Journal of Experimental Agricultural and Animal Husbandry, v.5 (19): 442-449.

BELL, L., EDWARDS, D.G. 1986. The role of aluminium in acid

soil infertility. Soils and Fertilizers Abs. 51 (8) Abs.8198.

BLACK, C.A. 1967. Relaciones suelo planta. Buenos Aires. Hemisferio Sur, 197p. 2v.

BLAMEY, F.P.C.; EDMEADES, D.C.; WHEELER, D.M. 1990. Journal of Plant Nutrition 13 (6): 713-744. Australia 1990. (original no consultado) compendiado en Herbage Abstracts, v.60 (12), 3793-3794.

BOIX, J, et al. 1984. Efecto residual de la fertilización y el encalado de leguminosas forrajeras en suelos arenosos. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía, 183p.

BOLLAND, M.D.A. and BOWDEN,J.W. 1982. Long-term availability of phosphorus, from calcined Rock Phosphate compared with Superphosphate. Australian Journal of Agricultural Research 33: 1061-1071.

_____ , GILKES,R. and D'ANTUONO, F. 1988. The effect of rock phosphate fertilizers in Australian agriculture: a review. Australian Journal of Experimental Agriculture 28: 655-668.

_____. 1987. Effectiveness of top dressed and incorporated SuperP. and Duckress Rock P. for Subterraneum Clover on sandy soils near Esperance, W. Australia. Australian Journal of Experimental Agriculture 27: 87-92.

_____, and GILKES, R.J. 1989. Reactive rock phosphate fertilizers and soil testing for P. Fertilizers Research 21 (2): 75-93.

BORDOLI, J.M.; y CASELLA, R. 1983. Fertilización fosfatada de pasturas de Trébol Rojo y Ray Grass en suelos de la cuenca lechera. Tesis Ing. Ag. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía, 2 vol.

BROMFIELD, S.M., CUNWING, R.W., DAVID, D.J., and WILLIAMS, C.H. 1987. Long-term effects of incorporated lime and topdressed lime on the PH in the surface and subsurface of Pasture soils. Australian Journal of Experimental Agriculture 27: 533-538.

CAORSI, J.C.; DONADIO, E.; RAMOS, J.D. 1989. Encalado, fertilización fosfatada y refertilización en pasturas de

Trébol Blanco-Lotus en suelos arenosos, al tercer año. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía, 262p, 2 vol.

CARAMBULA, M. 1977. Producción y manejo de pasturas sembradas. Montevideo, Hemisferio Sur. 464p.

CERVEÑANSKY, A.; ROSA, F. DA. 1983. Evaluación de fuentes de P en pasturas convencionales sobre un suelo ácido. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía, 185p.

CHILIBROSTE, J.I.; MALLARINO, J.L.; PISON, P. 1982. Evaluación de los requerimientos de P en la instalación de leguminosas forrajeras. Tesis Ing. Agr., Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía, 83p.

CIAPPESONI, A.G y ETCHEVERRI, F.P. 1989. Encalado y fertilización fosfatada en pasturas de Trébol Rojo y Raigrás en suelos arenosos, segundo año. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía, 268 p.

COLLARES, C.E. 1982. 1)-Fertilización y encalado de leguminosas forrajeras en suelos arenosos; 2)- Efectos en la absorción de macro y micro-nutrientes. Tesis Ing. Agr., Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía, 184p.

CONDRON, L.H.; and GOH, K.M. 1990. Implications of long term superphosphate applications on the accumulation and plant availability of soil phosphorus under irrigated pastures. Proceeding of the New Zealand Grassland Association, 52: pp. 191-193.

CONYERS, M.K.; POILE, G.J.; and CULLIS, B.R. 1991. Lime responses by Barley as related to available soil Al and Mn Australian Journal of Agricultural Research 42 (3), 379-390.

_____, and SCOTT, B.J. 1989. The influence of surface incorporated lime on subsurface soil acidity. Australian Journal of Experimental Agriculture 29: 201-207.

CRISANTO, T.; CUELLA, I. 1986. Efecto de la cal en el P en 6 suelos ácidos. In Anuario del Centro de Edafología y Biología Aplicada de Salamanca, pp.199-215.

CURTIN, D. ; SMILLIE,G. 1986. Effects of liming on soil, chemical characteristics and grass growth in laboratory and long-term field amended soils. Plant & Soil 95 (1): 15-22.

DE LEON, C. 1992. Estudio de la fertilización fosfatada y el encalado en cobertura en suelos sobre Cristalino. Tesis Ing. Ag., Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 120p.

DURING, C. 1961. Liming in New Zealand. New Zealand Journal of Agriculture 103 (5): pp.436-446.

_____; JACKSON, B.L.; and DYSON, C.B. 1984. Lime effects on hill country, 1) Effect of lime and MCP on soil moisture. New Zealand Journal of Agricultural Research 27 (3): 383-387.

_____; _____ and _____ . 1984. Lime effects on hill country,2) relation of soil moisture, PH and Al with pasture yield. New Zealand Journal of Agricultural Research 27(3).

EDMEADES, D.C., et al. 1981. The role of lime in agriculture: some recents results. Proceeding of the Ruakura Farmers Conference, 45-51.

_____ . 1982. Effect of lime on effective CEC and exchangeable cations on a range of New Zealand soils. New Zealand Journal of Agricultural Research 25 (1) :27-33.

_____ , FEYTER, C., and O'CONNOR, M. 1984. Lime and P requeriments for hill country yellow brow earths. Proceeding of the New Zealand Grassland Association 45: 98-106.

_____ , et al. 1984. Predicting lime response. New Zealand Journal of Agricultural Research 27: 371-382.

_____ , et al. 1984. Effects of lime on pasture production on soils in the North Island of N.Z. New Zealand Journal of Agricultural Research 27: 349-356.

_____ , et al. 1985. Description of a lime recommendation scheme. New Zealand Journal of Experimental Agriculture v.13 :47-58.

_____ , et al. 1991. Effects of Ph and Al on the growth of temperate pasture species. II Temperate grasses and legumes supplied with inorganic N Aust. Jou. of Ag. Res. 42 (3), 559-569.

_____ , et al. 1991. Effects of Ph and Al on the growth of temperate pasture species. II Growth and nodulation of legumes. Australian Journal of Agricultural Research 42

(5), 893-900.

EDWARDS, D., and BEAGLE, D. 1986. No-till liming effects on soil PH, corn grain yield and ear-leaf nutrients contents. (Original no consultado), compendiado en Soils and Fertilizers Abstracts v.51 (9). Abs. num. 9345.

EVANS, J.; DEAR, B. and O'CONNOR, G.E. 1990. Influence of an acid soil on the herbage yield and nodulation of five annual pasture legumes. Australian Journal of Experimental Agriculture. v.30, 55-60.

EWING, M.A.; and ROBSON, A.D. 1990. The effect of solution PH and external Calcium concentration on the early growth and nodulation of several annual Medicago species. Australian Journal of Agricultural Research 41 (5), 933-939.

FLOATE, M.J., ENRIGHT, P.D., and WOODROW, K.E. 1989. Effects of lime and altitude on the performance of pasture based on six alternative legumes for acid Tussock grasslands. Proceeding of the New Zealand Grassland Associaton, 50: 213-218.

FOY, C.D. 1984. Phisiological effects of H, Al and Mn toxicity in acid soil. In PEARSON, R.W. ADAMS, F ed. Soil acidity and liming. American Society of Agriculture, Madison, Wis. pp.57-97.

FRANCO, MUNDS. 1982. Acidity and Aluminium restrains on nodulation, N fixation and growth of Phaseolus vulgaris in solution culture. Soil Science Society of American Journal 46: 296-301.

FURNES, J. 1989. Liming materials for small grains and grasses in middle Notway. (original no consultado), compendiado en Soils and Fertilizers Abstracts vol.53 (7). Abstr.num.8890.

GAMA, V. DA, M. 1987. Efeito do CaCO3 na movilizacao do K e do Mg numa serie de 20 amostras de solos ácidos derivados de granito. Agronomía Lusitana 42 (3-4): 285-300.

GARAYALDE, A.; MORTON, M. 1983. Fertilización fosfatada para la instalación de leguminosas forrajeras puras. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía, 113p.

GILLINGHAM, A.G., et al. 1990. Long term effects of with holding phosphorus application on N. Island hill country,

Whatawhata Research Centre. Proceeding of the New Zealand Grassland Association 51: 11-16.

GLAZUNOVA, N. 1989. Eficiencia de la fosforita en cobertura en suelos encalados. (Original no consultado) compendiado en Soils and Fertilizers Abstracts, vol. 52 (10). Abstr.11453.

GRANT, T., HARDGROVE, W. 1984. The chemist of soil acidity. In Soil Acidity and Liming. Madison USA, pp. 4-56.

GREGG, P.E.H.; et al. 1990. Application strategies for Sechura phosphate use on permanent pasture. Fertilizer Research 17 (3). (Original no consultado), compendiado en Herbage Abstracts v.60 (12), 3540.

GROVE, J.H., SUMMER, M.E., and SYERS, J.K. 1982. Effects of lime on exchangeable Mg in variable surface charge soils. Soil Science Society of Animal Journal 45: 497-500.

HAYNES, R.J., LUDECKE, T.E. 1981. Effect of lime and P applications on concentration of available nutrients, and on P, Al and Mn uptake by two pasture legumes in an acid soil. Plant & Soil 62: 117-128.

_____ , _____ 1981. Yield, root morphology and chemical composition of two pasture legume as affected by lime and phosphorus, to an acid soil. Plant & Soil 62: 241-258.

_____ 1982. Effects of liming on phosphate available in acid soils. Plant & Soil 68: 289-308.

HOWIESON, J.G.; ROBSON, A.D.; and ABBOTT, L.K. 1992. Calcium modifies PH effects on the growth of acid-tolerant and acid-sensitive Rizobium Meliloti. Australian Journal of Agricultural Research 43 (3), 765-772.

HOWIESON, J.G. and EWING, M.A. 1986 Acid tolerance in Rizobium Meliloti-Medicago symbiosis. Aust. J. of Ag. Res. 37 (1) 55-64.

LEITES, G; PORCILE, G. 1983. Fertilización y encalado de leguminosas forrajeras en suelos arenosos. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía, 173p.

LOWTHER, W.L., HAY, R., and RYAN,D. 1987. Effect of strain of rhizobio, lime and phosphorus on dry matter yield of three Lotus species in differing environments in Otago and

Southland. New Zealand Journal of Experimental Agriculture 15: 135-142.

LUCAS, R.J., et al. 1980. Lotus, White Clover and Caucasion Clover oversowing, Mesopotamic Station, Sth. Canterburry. Proceeding of the New Zealand Grassland Association 42: 142-151.

MAC KAY, A.D., CARADUS,J.R. 1988. White Clover cultivar responses to phosphate fertilizers of differing solubility. Proceeding of the New Zealand Grassland Association 49: 151-156.

MANSELL, G.P. et al. 1984. Interaction of lime with phosphorus. New Zealand Journal of Agricultural Research 27: 363-369.

MARWAHA, B.C.; and SOOD, R. 1990. Journal of the Indian Society of Soil Science 37 (2), 333-336. Original no consultado, compendiado en Soils and Fertilizers Abstracts, 53 (5), 5700

Mc INTOSH, P.D., ENRIGHT,P.D. and SINCLAIR,A.G. 1984. Fertilizers for Lotus and Clover establishment on a segment of acid soils on the east Otago Uplands. New Zealand Journal of Experimental Agriculture 12: 119-129.

Mc LAUGHLIN, M.J. and JAMES T.R. 1991. Effects of surface-applied phosphorus and superphosphate on the solution chemistry and phytotoxicity of subsurface Al: sand/solution and soil experiments. Australian Journal of Agricultural Research 42 (5) 859-874.

MONTES, M.; OCHOA, A. 1986. Fertilización fosfatada en la implantación y producción de leguminosas en pasturas naturales. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía, 118p.

MYERS, M., Mc SEAN, T., and BIGHAM, J. 1988. Reductions in exchangeable Mg with liming of acid Ohio soils. Soil Science Society of Animal Journal 52 : pp.131-136.

PERROTT, K.W., MANSELL, G.P. 1989. Effect of fertilizer phosphorus and liming on inorganic and organic soil P fractions. New Zealand Journal of Agricultural Research, v.32 (1): pp.63-70.

RAJAN, S.S., GILLINGHAM, A.G. 1986. Phosphate rocks and

phosphate rock/sulphur granules as fertilizers for hill country pasture. New Zealand Journal of Experimental Agriculture, v.14 (3): pp.313-318.

RAMOS, J. 1989. Effects of liming on phosphorus fixing soils. Anales de Edafología y Agrobiología 47 (3-4): 747-769.

RICHARDSON, A., et al. 1988. Effects of soil acidity and lime in the nodulation of Subterranean Clover, growing in an acid soil. Soil Biology and Biochemistry 20 (4):439-445.

_____ ; SIMPSON, R.; and ROLFE, M. 1989. Expresion of nodulation genes in Rhizobium Trifolii as affected by low PH and by Ca and Al ions. Applied and Enviromental Microbiology 54 (10) 2541-2548.

ROWE, B.A. 1981. Effects of limestone on pasture yields and the PH of two Krasnozems in N.W. Tasmania. Aust. Jou. of Exp. Agr. and Anim. Husb. V 22. 100-105.

SCOTT, R.S.; and MILLS, E.G. 1980. Establishment and management of grasslands Makú Lotus in acid, low fertility Tussock grasslands. Proceeding of the New Zealand Grasslands Association v.42: 131-141.

SEANEY, P.R.; and HENSON, P.R. 1970. Birds Foot Trifoil. Advances in Agronomy, v.22: 120-157.

SHANNON, P.W. et al. 1984. 2) The nature of seasonal pasture growth responses to lime aplication. New Zealand Journal of Agricultural Research, v.27: 357-361.

SHEID, A. 1986. Solos sob cerrado, características, propiedades e manejo. Ins. Bras. do Mg e da K. Brasil.

SINCLAIR, A.G.; DYSON, C.B.; SHANNON, P.W. 1990. The long term effectiveness of react. phosphate rock as a phosphate fertilizer for New Zealand pastures. Proceeding of the New Zealand Grassland Association 51: 101-104.

SUMNER, M.E.; and FARINA, M.P.W. 1986. Phosphorus Interactions with Others Nutrients and Lime in Field Cropping Systems. In Advances in Soil Science, v.5, edited by Stewart, B.A. USA. pp. 201-230.

TISDALE, S.L.;y NELSON, W.L. 1970. Fertilidad de los Suelos y Fertilizantes. Barcelona, edit. por Montaner y Simon.

760p.

WOOD, M.; COOPER,J.; and HOLDING, A.J. 1984. Soil acidity factors and nodulation of Trifolium Repens. Plant & Soil v.78: 367-379.

_____;_____; and_____ 1984. Aluminium toxicity and nodulation of T. Repens. Plant & Soil 78: 381-391.

_____; and_____ 1988. Acidity, Al and multiplication of Rizobium Trifolii, possible mechanisms of Al toxicity. Soil Biology & Biochemistry, v.20 (1): 95-99.

WOOLDRIDGE, J. 1990. Effects of liming and parent materials on the K quantity-intensity relationships of some upland soils of the west cape. In Soils and Fertilizers Abstract, v.53 (9), abs.10627.

WORFUINGE, DER.; and SUERDRUP, H. 1989. Modeling limestone dissolution in soils. Soil Science Society of Animal Journal 53 (1): pp. 44-51.

YEATES, J.S.; and ALLEN, D. 1987. Low effectivenes of three rock phosphates as P fertilizers and liming materials on an acid clay-loam. Australian Journal of Agricultural Research v.38: pp.1033-1096.

IX. APENDICE.

CUADROS - SITIO No.1

CUADRO No.1 - Análisis de varianza del efecto de los tratamientos en la producción de materia seca TOTAL ANUAL, y contrastes ortogonales. Sitio No.1 - Mastropierro.

FUENTE	G.L.	S.CUADRADOS	C.MEDIOS	F	Prob.#	Sig.
BLOQUE	3	4312119.41	1437373.136	2.14	0.1014	*
TRATAM.	20	350406975.86	17520348.793	26.12	0.0000	***
ERROR	60	40249981.82	670833.030			
TOTAL	83	394969077.09				

MEDIA = 8158.603
C.V. = 10.04 %

CONTR.*	G.L	S.C.	C.M.	Valor	Prob.
1.	1	17587354.69	17587354.69	26.22	0.0001
2.	1	794976.00	794976.00	1.19	0.2807
3.	1	438048.00	438048.00	0.65	0.4222
4.	1	73566428.35	73566428.35	109.6	0.0001
5.	1	3692416.02	3692416.02	5.5	0.0223
6.	1	236925.56	236925.56	0.35	0.5545
7.	1	249001.00	249001.00	0.37	0.5446
8.	1	901153.13	901153.13	1.34	0.251
9.	1	2967048.00	2967048.00	4.42	0.0397
10.	1	1195742.25	1195742.25	1.78	0.1869
11.	1	15554253.13	15554253.13	23.19	0.0001
12.	1	44142408.00	44142408.00	65.81	0.0001
13.	1	11084986.13	11084986.13	16.53	0.0001

* (VER CUADRO No.6 - EXPLICACION DE CONTRASTES).

La probabilidad indicada como 0.0000 es menor a 0.00001

CUADRO No.2 - Análisis de varianza y contrastes ortogonales para el corte de AGOSTO, sitio 1 - Mastropierro.

FUENTE	G.L.	S.CUADRADOS	C.MEDIOS	F	Prob.#	Sig.
BLOQUE	3	534731.15	178243.716	15.38	0.0000	***
TRATAM.	20	713033.49	35650.174	3.08	0.0004	***
ERROR	60	695514.63	11591.911			
TOTAL	83	1943249.27				

MEDIA = 355.028
C.V. = 30.33 %

CONTR.*	G.L	S.C.	C.M.	Valor	Prob.
1.	1	560.3333	560.3333	0.05	0.8268
2.	1	21122.6667	21122.6667	1.82	0.1823
3.	1	2112.5000	2112.5000	0.18	0.6711
4.	1	104348.3472	104348.3472	9.00	0.0039
5.	1	46937.5208	46937.5208	4.05	0.0488
6.	1	24885.0625	24885.0625	2.15	0.1482
7.	1	46225.0000	46225.0000	3.98	0.0505
8.	1	67528.1250	67528.1250	5.82	0.0189
9.	1	47124.5000	47124.5000	4.06	0.0483
10.	1	7056.0000	7056.0000	0.61	0.4385
11.	1	53792.0000	53792.0000	4.64	0.0353
12.	1	29282.0000	29282.0000	2.52	0.1174
13.	1	28.1250	28.1250	0.00	0.9609

* (VER CUADRO No.6 - EXPLICACION DE CONTRASTES).

La probabilidad indicada como 0.0000 es menor a 0.00001.

CUADRO No.3 - Análisis de varianza y contrastes ortogonales, para el corte de OCTUBRE. Sitio No.1 .

FUENTE	G.L.	S.CUADRADOS	C.MEDIOS	F	Prob.#	Sig.
BLOQUE	3	45928.53	15309.511	0.19	0.9018	n.s.
TRATAM.	20	22824867.79	1141243.389	14.27	0.0000	***
ERROR	60	4797836.00	79963.933			
TOTAL	83	27668632.32				

MEDIA = 1712.419
C.V. = 16.51 %

CONTR.*	G.L	S.C.	C.M.	Valor	Prob.
1.	1	513774.0830	513774.0830	6.43	0.0139
2.	1	196747.0420	196747.0420	2.46	0.122
3.	1	19900.1250	19900.1250	0.25	0.6197
4.	1	5428512.5000	5428512.5000	67.89	0.0001
5.	1	11687.5210	11687.5210	0.15	0.7036
6.	1	6765.0630	6765.0630	0.08	0.7722
7.	1	1.5620	1.5620	0.00	0.9965
8.	1	861.1250	861.1250	0.01	0.9177
9.	1	16562.0000	16562.0000	0.21	0.6507
10.	1	372710.2500	372710.2500	4.66	0.0349
11.	1	1459486.1250	1459486.1250	18.25	0.0001
12.	1	2113568.0000	2113568.0000	26.43	0.0001
13.	1	139656.1250	139656.1250	1.75	0.1913

* (VER CUADRO No.6 - EXPLICACION DE CONTRASTES).

La probabilidad indicada como 0.0000 es menor a 0.00001.

CUADRO No.4 - Análisis de varianza y contrastes ortogonales, para el corte de ENERO. Sitio No.1 .

FUENTE	G.L.	S.CUADRADOS	C.MEDIOS	F	Prob.#	Sig.
BLOQUE	3	964024.80	321341.600	1.7	0.1772	n.s.
TRATAM.	20	107075843.17	5353792.159	28.28	0.0000	***
ERROR	60	11360157.25	189335.954			
TOTAL	83	119400025.22				

MEDIA = 2865.036
C.V. = 15.19 %

CONTR.*	G.L	S.C.	C.M.	Valor	Prob.
1.	1	6054171.02	6054171.02	31.97	0.0001
2.	1	1066395.04	1066395.04	5.63	0.0209
3.	1	64980.12	64980.12	0.34	0.5602
4.	1	22792501.39	22792501.39	**	0.0001
5.	1	421875.00	421875.00	2.23	0.1408
6.	1	113569.00	113569.00	0.60	0.4417
7.	1	8010.25	8010.25	0.04	0.8377
8.	1	125000.00	125000.00	0.66	0.4197
9.	1	378885.12	378885.12	2.00	0.1624
10.	1	68.06	68.06	0.00	0.9849
11.	1	4842272.00	4842272.00	25.57	0.0001
12.	1	15913261.12	15913261.12	84.03	0.0001
13.	1	8020012.50	8020012.50	42.35	0.0001

* (VER CUADRO No.6 - EXPLICACION DE CONTRASTES).

La probabilidad indicada como 0.0000 es menor a 0.00001.

** - 120.36

CUADRO No.5 - Análisis de varianza y contrastes ortogonales, para el corte de ABRIL. Sitio No.1 .

FUENTE	G.L.	S.CUADRADOS	C.MEDIOS	F	Prob.#	Sig.
BLOQUE	3	1456468.89	485489.631	3.42	0.0228	***
TRATAM.	20	18145587.49	907279.374	6.39	0.0000	***
ERROR	60	8520316.94	142005.282			
TOTAL	83	28122373.32				

MEDIA = 3226.121
C.V. = 11.68 %

CONTR.*	G.L	S.C.	C.M.	Valor	Prob.
1.	1	1082101.021	1082101.021	7.62	0.0076
2.	1	530740.042	530740.042	3.74	0.0579
3.	1	674541.125	674541.125	4.75	0.0332
4.	1	1321667.014	1321667.014	9.31	0.0034
5.	1	897900.521	897900.521	6.32	0.0146
6.	1	8145.062	8145.062	0.06	0.8116
7.	1	138756.250	138756.250	0.98	0.3269
8.	1	93961.125	93961.125	0.66	0.4192
9.	1	578350.125	578350.125	4.07	0.0481
10.	1	330337.562	330337.562	2.33	0.1325
11.	1	586986.125	586986.125	4.13	0.0465
12.	1	1059968.000	1059968.000	7.46	0.0083
13.	1	16744.500	16744.500	0.12	0.7325

* (VER CUADRO No.6 - EXPLICACION DE CONTRASTES).

La probabilidad indicada como 0.0000 es menor a 0.00001.

CUADRO No.6 - Tratamientos correspondientes a cada contraste ortogonal numerado en los cuadros No. 1, 2, 3, 4 y 5 (Mastropierro).

No.	TRATAMIENTOS ‡		
1.	T	vs	(30H + 60H + 60S)NR
2.	30H	vs	60H + 60S
3.	60H	vs	60S
4.	(30H + 60H + 60S)NR	vs	(30H + 60H + 60S)RH + (30H + 60H + 60S)RS
5.	30HRH + 30HRS	vs	(60H + 60S)RH + (60H + 60S)RS
6.	60HRH + 60HRS	vs	60SRH + 60SRS
7.	(30H + 60H)RH	vs	(30H + 60H)RS
8.	60SRH	vs	60SRS
9.	60SRS	vs	60STRST
10.	(60SNR + 60SRS)C	vs	60SNR + 60SRS
11.	60SCNR	vs	60SCRS
12.	CN	vs	30SRS + CNNP + T
13.	30SRS	vs	CNNP

‡ Ver: "materiales y métodos" por explicación de tratamientos.

CUADRO No.7 - Ajuste de regresiones para el efecto de las distintas fuentes de fósforo utilizadas a la instalación y en la refertilización, sobre la materia seca producida total en el corte de AGOSTO. Análisis de varianza para las diferencias entre parámetros estimados.

TRAT.	r	a	b	t_b	P
H-RH	0.275	246.72	0.84	0.84	
S-RS	0.503	268.72	1.49	1.84	0.096
H-RS	0.476	268.29	1.55	1.71	0.117
TOTAL	0.401	261.25	1.29	2.55	0.015

Analisis de varianza:

Fuente	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	Prob
Diferencias	4	48711.352	12177.838	0.47	n.s.
Dif.en nivel	2	38918.433	19459.217	0.80	n.s.
Error	32	779053.245	24345.414		
Dif.en ángulo	2	9792.919	4896.459	0.19	n.s.
Error	30	769260.326	25642.011		

CUADRO No.8 - Ajuste de regresiones para el efecto de las distintas fuentes de fósforo utilizadas a la instalación y en la refertilización, sobre la materia seca producida total en el corte de OCTUBRE. Análisis de varianza para las diferencias entre parámetros estimados.

TRAT.	r	a	b	t_b	P_*
H-RH	0.921	893.83	11.30	7.45	0.000
S-RS	0.875	873.65	10.61	5.73	0.000
H-RS	0.900	899.25	11.22	6.53	0.000
TOTAL	0.897	888.58	11.04	11.86	0.000

Analisis de varianza:

Fuente	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	Prob.
Diferencias	4	47775.983	11943.984	0.13	n.s.
Dif.en nivel	2	38806.481	19403.240	0.23	n.s.
Error	32	2717293.022	84915.407		
Dif.en ángulo	2	8969.457	4484.728	0.05	n.s.
Error	30	2708323.565	90277.452		

* Las probabilidades indicadas como 0.000 son menores a 0.0001 .

CUADRO No.9 - Ajuste de regresiones para el efecto de las distintas fuentes de fósforo utilizadas a la instalación y en la refertilización, sobre la materia seca producida total en el corte de ENERO. Análisis de varianza para las diferencias entre parámetros estimados.

TRAT.	r	a	b	t_b	P*
H-RH	0.985	675.00	28.9	17.99	0.000
S-RS	0.974	679.86	28.0	13.63	0.000
H-RS	0.967	705.44	28.1	11.96	0.000
TOTAL	0.975	686.76	28.3	25.65	0.000

Analisis de varianza:

Fuente	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	Prob.
Diferencias	4	41175.227	10293.807	0.08	n.s.
Dif.en nivel	2	23667.915	11833.957	0.10	n.s.
Error	32	3871489.246	120984.039		
Dif.en ángulo	2	17507.313	8753.656	0.07	n.s.
Error	30	3853981.934	128466.064		

* Idem cuadro No.8 .

CUADRO No.10 - Ajuste de regresiones para el efecto de las distintas fuentes de fósforo utilizadas a la instalación y en la refertilización, sobre la materia seca producida total en el corte de ABRIL. Análisis de varianza para las diferencias entre parámetros estimados.

TRAT.	r	a	b	t_b	P*
H-RH	0.729	2355.62	8.73	3.37	0.007
S-RS	0.836	2375.29	10.04	4.82	0.001
H-RS	0.806	2432.02	9.41	4.31	0.002
TOTAL	0.787	2387.65	9.39	7.44	0.000

Analisis de varianza:

Fuente	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	Prob.
Diferencias	4	138614.360	34653.590	0.21	n.s.
Dif.en nivel	2	111823.819	55911.909	0.36	n.s.
Error	32	4960482.852	155015.089		
Dif.en ángulo	2	26790.542	13395.271	0.08	n.s.
Error	30	4933692.311	164456.410		

* Idem cuadro No.8 .

CUADRO No.11 - Producción de materia seca total (Kg/há), materia seca del lotus (Kg/há) y porcentaje de lotus en los 4 cortes. Datos originales de los 21 tratamientos.

	AGO 91			OCT 91			ENE 92			ABR 92		
C.*	MST	MSL	% L	MST	MSL	% L	MST	MSL	% L	MST	MSL	% L
1	38.09	0.00	0.00	760.58	42.25	5.56	897.03	363.08	40.48	2342.91	401.64	17.14
1	435.35	0.00	0.00	567.10	18.90	3.33	594.73	207.25	34.85	3053.74	277.61	9.09
2	146.32	6.65	4.55	1069.19	121.50	11.36	1126.96	425.74	37.78	3153.31	450.47	14.29
2	367.05	23.68	6.45	1153.22	371.38	32.20	1456.39	829.02	56.92	3737.61	700.80	18.75
3	193.39	25.79	13.33	2085.86	1155.68	55.41	3102.88	2372.79	76.47	2705.03	1229.56	45.45
3	333.65	39.25	11.76	2113.87	840.13	39.74	3421.24	2613.45	76.39	2820.41	881.38	31.25
4	267.23	64.14	24.00	2096.72	1019.24	48.61	4146.86	2689.86	64.86	3817.17	1214.55	31.82
4	501.69	136.82	27.27	1983.12	1059.48	53.42	3488.49	2363.17	67.74	2814.25	767.52	27.27
5	354.24	29.52	8.33	706.49	80.74	11.43	881.56	377.81	42.86	2523.14	504.63	20.00
5	344.52	34.45	10.00	1585.51	597.81	37.70	925.90	240.05	25.93	2654.59	482.65	18.18
6	202.45	54.51	26.92	2038.03	735.03	36.07	3387.11	1776.85	52.46	2654.04	461.57	17.39
6	502.82	17.96	3.57	2014.58	703.50	34.92	3395.88	1649.43	48.57	3473.33	620.24	17.86
7	186.88	0.00	0.00	682.85	0.00	0.00	587.44	0.00	0.00	2462.82	0.00	0.00
7	338.16	0.00	0.00	603.39	0.00	0.00	690.54	0.00	0.00	3010.11	0.00	0.00
8	201.55	31.82	15.79	2399.41	1299.68	54.17	3746.42	1555.12	41.51	3670.76	1678.06	45.71
8	438.97	43.90	10.00	1416.53	472.18	33.33	3251.14	2155.25	66.29	3094.31	773.58	25.00
9	210.81	15.62	7.41	1203.89	179.30	14.89	1826.77	873.67	47.83	2380.72	595.18	25.00
9	454.63	36.37	8.00	1075.81	420.97	39.13	2740.45	1335.09	48.72	2705.80	698.27	25.81
10	228.56	32.65	14.29	2425.66	1124.09	46.34	4079.95	2502.37	61.33	4345.67	1143.60	26.32
10	484.79	106.42	21.95	1884.49	728.67	38.67	3920.82	3670.55	93.62	3688.68	1106.60	30.00
11	248.48	52.71	21.21	2290.78	1254.47	54.76	3569.00	2480.15	69.49	3462.68	1211.94	35.00
11	475.71	47.57	10.00	1777.25	907.94	51.09	4279.05	2746.25	64.18	3841.81	602.64	15.69
12	188.60	0.00	0.00	990.00	161.16	16.28	2254.97	1202.65	53.33	3305.55	762.82	23.08
12	867.54	34.70	4.00	930.78	263.05	28.26	2548.62	1479.84	58.06	2689.57	457.80	17.02
13	282.84	26.94	9.52	1975.39	790.15	40.00	3513.29	1486.39	42.31	3823.51	1078.43	28.21
13	442.49	40.23	9.09	2299.23	1047.43	45.56	4046.14	2377.11	58.75	3380.34	1622.56	48.00
14	485.12	118.59	24.44	2086.04	778.79	37.33	2880.00	1252.17	43.48	3431.98	1029.59	30.00
14	514.80	83.80	16.28	2282.24	918.82	40.26	3652.17	2217.39	60.71	2947.40	1316.92	44.68
15	230.89	25.65	11.11	1099.93	94.28	8.57	1065.41	426.17	40.00	3511.80	438.97	12.50
15	472.16	17.49	3.70	1181.54	270.77	22.92	2184.02	1051.57	48.15	3032.92	849.22	28.00
16	217.09	38.31	17.65	1988.80	1067.16	53.66	3384.94	2019.09	59.65	3380.62	1199.57	35.48
16	377.81	64.77	17.14	2342.35	1138.64	48.61	3306.61	2439.30	73.77	3483.29	1473.70	42.31
17	299.30	59.86	20.00	2301.90	1116.07	48.48	4029.99	2782.61	69.05	3967.10	1763.15	44.44
17	453.31	45.33	10.00	2246.02	1031.96	45.95	3173.55	1851.24	58.33	3513.50	1003.86	28.57
18	137.73	31.78	23.08	2020.85	727.51	36.00	4020.29	2753.62	68.49	3201.26	1470.85	45.95
18	369.64	68.09	18.42	2310.65	877.19	37.96	3503.28	2377.23	67.86	3482.45	908.47	26.09
19	336.89	61.25	18.18	2210.22	725.23	32.81	3594.20	2042.16	56.82	4544.77	1353.76	29.79
19	487.48	73.12	15.00	2030.11	539.65	26.58	4178.72	2274.49	54.43	3591.61	718.32	20.00
20	473.15	157.72	33.33	2404.41	1256.03	52.24	3878.13	3548.08	91.49	5046.06	1929.38	38.24
20	659.48	118.37	17.95	2977.06	903.75	30.36	3644.83	2581.75	70.83	3640.28	856.54	23.53
21	154.48	0.00	0.00	1781.21	0.00	0.00	1012.33	0.00	0.00	3751.24	0.00	0.00
21	480.00	0.00	0.00	1475.47	0.00	0.00	2202.28	0.00	0.00	3282.77	373.04	11.36

* No. de código de tratamientos.

CUADRO No.12 % de lotus determinado por estimación visual. Para los 21 tratamientos. Datos promedio de 4 bloques.

CODIGO	AGOSTO	OCTUBRE	ENERO	ABRIL 92
1	21	7	4	7
2	14	23	11	7
3	14	83	75	33
4	18	80	70	31
5	13	25	16	9
6	8	82	70	37
7	1	0	1	0
8	5	85	71	25
9	12	40	30	12
10	17	85	80	42
11	17	77	77	40
12	7	22	27	17
13	11	75	72	42
14	17	80	70	50
15	12	26	25	12
16	12	90	75	37
17	7	80	74	45
18	18	82	77	34
19	10	82	77	45
20	10	95	82	59
21	23	1	3	5

CUADRO No.13 - Fósforo absorbido por la pastura, para los 4 cortes, por tratamiento, datos por especie y total.

	AGOSTO			OCTUBRE			ENERO			ABRIL			TOTALES (KG P/HA)		
C.	LOTUS	GRAM.	TOTAL	LOTUS	GRAM.	TOTAL	LOTUS	GRAM.	TOTAL	LOTUS	GRAM.	TOTAL	LOTUS	GRAM.	TOTAL
1	0.00	0.08	0.08	0.00	0.55	0.55	0.18	0.48	0.67	0.43	4.09	4.52	0.62	5.20	5.82
1	0.00	1.74	1.74	0.00	0.89	0.89	0.42	0.79	1.21	0.50	2.18	2.68	0.92	5.60	6.52
2				0.43	1.03	1.46									
2				0.16	1.25	1.41									
3	0.09	0.44	0.53	2.60	1.66	4.26	1.83	0.94	2.77	1.16	2.33	3.49	5.68	5.37	11.05
3	0.15	0.64	0.79	1.63	2.27	3.90	2.39	0.91	3.30	1.91	2.12	4.02	6.08	5.93	12.01
4				2.13	2.17	4.30									
4				2.09	1.79	3.88									
5	0.08	0.81	0.89	0.11	0.73	0.83	0.20	0.74	0.95	0.56	2.39	2.95	0.95	4.67	5.62
5	0.07	0.46	0.52	1.16	1.84	3.00	0.29	0.55	0.84	0.66	2.11	2.78	2.18	4.95	7.13
6	0.15	0.32	0.47	1.51	2.83	4.34	1.45	2.12	3.57	0.80	2.89	3.69	3.91	8.16	12.06
6	0.04	0.64	0.68	1.28	2.34	3.62	1.53	2.71	4.24	1.25	4.20	5.45	4.10	9.88	13.99
7	0.00	0.71	0.71	0.00	0.74	0.74	0.00	0.59	0.59	0.00	2.67	2.67	0.00	4.71	4.71
7	0.00	0.22	0.22	0.00	0.65	0.65	0.00	0.70	0.70	0.00	3.27	3.27	0.00	4.83	4.83
8	0.09	0.43	0.52	2.62	2.30	4.92	1.67	1.27	2.94	0.90	3.42	4.32	5.28	7.43	12.70
8	0.13	0.95	1.08	0.91	1.79	2.71	1.75	3.57	5.31	2.67	2.78	5.45	5.45	9.09	14.54
9				0.62	0.91	1.53									
9				0.38	1.31	1.69									
10	0.00	0.30	0.30	3.37	3.23	6.60	3.41	0.39	3.80	2.32	4.40	6.72	9.10	8.32	17.42
10	0.31	0.88	1.19	1.81	2.69	4.49	2.62	2.20	4.82	1.77	4.09	5.87	6.51	9.86	16.37
11				2.72	1.93	4.65									
11				1.86	1.92	3.78									
12	0.00	0.22	0.22	0.21	1.16	1.36	1.26	1.24	2.50	0.69	2.59	3.29	2.16	5.21	7.37
12	0.09	1.71	1.80	0.37	0.98	1.35	0.84	1.22	2.06	0.95	2.76	3.70	2.25	6.68	8.92
13	0.06	0.38	0.44	1.87	2.23	4.10	1.61	3.46	5.07	2.05	4.25	6.30	5.59	10.32	15.90
13	0.22	1.41	1.63	1.78	2.94	4.72	2.21	0.00	2.21	2.64	2.59	5.23	6.84	6.94	13.78
14				1.57	2.22	3.79									
14				1.63	2.84	4.47									
15	0.07	0.39	0.46		1.34	1.34	0.38	0.74	1.13	0.58	3.57	4.15	1.04	6.05	7.08
15	0.06	1.27	1.33	0.00	1.25	1.25	0.81	1.36	2.18	1.02	2.37	3.39	1.90	6.25	8.14
16				2.47		2.47									
16				2.32	2.14	4.46									
17	0.15	0.35	0.50	2.25	2.57	4.82	2.26	1.64	3.91	3.01	3.25	6.25	7.67	7.81	15.48
17	0.00	0.41	0.41	1.96	2.45	4.41	1.58	1.84	3.42	1.56	3.31	4.86	5.09	8.01	13.10
18	0.09	0.24	0.33	1.75	2.67	4.42	2.13	1.87	4.00	2.28	2.28	4.56	6.26	7.05	13.31
18	0.18	0.61	0.79	1.53	2.51	4.03	2.03	1.40	3.42	1.55	3.59	5.14	5.29	8.10	13.39
19	0.20	0.68	0.88	1.69	3.68	5.37	2.06	2.53	4.58	2.57	5.44	8.01	6.51	12.33	18.85
19	0.23	0.91	1.14	1.25	3.12	4.37	2.38	2.95	5.33	1.39	3.67	5.07	5.25	10.66	15.91
20	0.45	0.64	1.09	3.01	6.75	9.76	6.05	0.67	6.71	4.34	0.00	4.34	13.85	8.05	21.90
20	0.34	1.01	1.35	4.67	3.65	8.32	4.40	2.72	7.12	2.06	6.80	8.85	11.47	14.17	25.64
21	0.00	0.34	0.34	0.00	2.92	2.92	0.00	2.90	2.90	0.00	3.95	3.95	0.00	10.10	10.10
21	0.00	0.48	0.48	0.00	3.18	3.18	0.00	1.32	1.32	0.00	4.94	4.94	0.00	9.92	9.92

CUADRO No.14 - Porcentaje de fósforo, del lotus y las gramíneas de cada tratamiento, por corte.

	AGOSTO		OCTUBRE		ENERO		ABRIL	
CODIGO	LOTUS	GRAM.	LOTUS	GRAM.	LOTUS	GRAM.	LOTUS	GRAM.
1		0.10		0.10	0.09	0.12	0.16	0.15
1		0.12		0.12	0.12	0.15	0.12	0.11
2			0.12	0.13				
2			0.14	0.13				
3	0.31	0.22	0.22	0.18	0.07	0.12	0.13	0.12
3	0.39	0.22	0.19	0.18	0.10	0.12	0.16	0.14
4			0.21	0.20				
4			0.20	0.19				
5	0.29	0.19	0.13	0.12	0.09	0.11	0.12	0.11
5	0.21	0.13	0.19	0.19	0.08	0.11	0.13	0.10
6	0.35	0.26	0.21	0.22	0.08	0.13	0.17	0.13
6	0.29	0.20	0.18	0.18	0.09	0.16	0.20	0.15
7	0.00	0.12		0.11	0.00	0.10	0.00	0.11
7	0.00	0.10		0.11	0.00	0.10	0.00	0.11
8	0.29	0.19	0.20	0.21	0.08	0.12	0.12	0.15
8	0.27	0.21	0.19	0.19	0.11	0.16	0.16	0.14
9			0.15	0.14				
9			0.21	0.13				
10	0.29	0.24	0.30	0.25	0.09	0.16	0.21	0.17
10	0.35	0.28	0.25	0.23	0.10	0.14	0.16	0.13
11			0.22	0.19				
11			0.21	0.22				
12	0.25	0.15	0.13	0.14	0.09	0.12	0.15	0.12
12		0.16	0.14	0.15	0.07	0.12	0.12	0.11
13	0.28	0.25	0.18	0.18	0.11	0.17	0.19	0.16
13	0.28	0.22	0.22	0.25	0.09	0.00	0.16	0.15
14			0.17	0.16				
14			0.21	0.22				
15	0.19	0.15		0.15	0.09	0.12	0.13	0.12
15	0.22	0.15		0.12	0.08	0.12	0.12	0.11
16			0.22					
16			0.22	0.23				
17	0.27	0.20	0.20	0.22	0.08	0.13	0.17	0.15
17	0.28	0.26	0.19	0.20	0.09	0.14	0.16	0.13
18	0.27	0.21	0.20	0.19	0.08	0.15	0.16	0.13
18	0.27	0.22	0.21	0.19	0.09	0.12	0.17	0.14
19	0.29	0.23	0.23	0.25	0.10	0.16	0.19	0.17
19	0.33	0.25	0.23	0.21	0.10	0.16	0.19	0.13
20	0.54	0.35	0.33	0.33	0.17	0.20	0.22	0.00
20	0.48	0.40	0.37	0.32	0.17	0.26	0.24	0.24
21		0.22		0.20	0.00	0.13	0.00	0.14
21		0.22		0.18	0.00	0.13	0.00	0.13

CUADRO No.15 - Eficiencia del P absorbido en producción de materia seca total de la pastura (Kg M.S./Kg P absorbido). Datos promedio para los 21 tratamientos.

CODIGO	DOSIS P	AGOSTO	OCTUBRE	ENERO	ABRIL	TOTAL
7	0	910	922	993	922	896
1	0	351	1007	920	829	704
5	30	529	688	1016	906	783
2	30		774			4255
9	60		712			3903
12	60	670	708	1068	866	851
15	60	427	884	975	870	839
8	90	397	505	942	709	676
4	90		499			2331
21	90	723	538	1011	807	707
6	90	589	513	875	678	679
3	90	393	516	1079	738	728
11	120		481			2400
18	120	444	515	1014	690	713
14	120		531			2225
13	120	461	485	1262	627	671
17	120	854	494	979	679	701
10	120	580	393	943	638	623
16	120		665			2882
19	150	405	438	784	638	607
20	480	462	302	545	787	482

CUADRO No.16 - Eficiencia del P absorbido en producción de materia seca, por el lotus (Kg M.S./Kg P absorbido). Datos promedio para los 19 tratamientos con lotus.

CODIGO	DOSIS P	AGOSTO	OCTUBRE	ENERO	ABRIL	TOTAL
1	0			1228	745	930
5	30	437	638	1333	813	830
2	30		1268			
9	60		706			
12	60		749	1359	793	990
15	60	318	ERR	1201	796	1053
8	90	356	506	1082	1078	748
4	90		492			
6	90	426	518	1152	535	752
3	90	272	481	1195	761	781
11	120		474			
18	120	364	494	1232	616	798
14	120		530			
13	120	323	507	998	571	674
17	120		511	1201	616	759
10	120		368	1068	559	695
16	120		462			
19	150	315	430	974	521	664
20	480	349	305	587	431	443

CUADRO No.17 - Eficiencia del P absorbido en producción de materia seca, por las gramíneas (Kg M.S./Kg P absorbido). Datos promedio para los 19 tratamientos con lotus.

CODIGO	DOSIS P	AGOSTO	OCTUBRE	ENERO	ABRIL	TOTAL
1	0	351	958	802	874	681
7	0	910	922	993	922	896
2	30		773			
5	30	541	699	966	937	792
15	60	443	740	846	891	782
12	60	674	698	860	895	802
9	60		811			
6	90	610	511	702	719	645
3	90	420	561	835	775	672
8	90	404	502	1014	709	629
21	90	723	538	1011	770	688
4	90		506			
10	120	538	417	2090	679	599
13	120	482	479	ERR	662	667
14	120		535			
18	120	471	529	743	738	647
17	120	840	479	738	719	653
11	120		495			
16	120		496			
19	150	429	441	630	684	577
20	480	517	369	444		533

CUADRO No.18 - Nitrógeno absorbido, por la pastura en los cuatro cortes y total anual. Datos originales para lotus y gramíneas, en los 21 tratamientos.

	AGOSTO			OCTUBRE			ENERO			ABRIL 92			TOTALES (KG N/HA)		
CODIGO	LOTUS	GRAM.	TOTAL	LOTUS	GRAM.	TOTAL	LOTUS	GRAM.	TOTAL	LOTUS	GRAM.	TOTAL	LOTUS	GRAM.	TOTAL
1		0.62	0.62		11.16	11.16	4.03	6.02	10.05	7.12	45.30	52.42	11.14	63.10	74.25
1		6.09	6.09		7.24	7.24	6.77	7.47	14.24	10.92	28.66	39.58	17.69	49.46	67.16
2				3.30	13.99	17.29							3.30	13.99	17.29
2				9.81	12.15	21.96							9.81	12.15	21.96
3				36.87	15.16	52.03							36.87	15.16	52.03
3				26.13	20.76	46.89							26.13	20.76	46.89
4				31.68	15.91	47.58							31.68	15.91	47.58
4				32.11	14.35	46.46							32.11	14.35	46.46
5	0.96	6.06	7.02	2.20	9.26	11.46	3.92	9.06	12.98	12.38	27.00	39.38	19.45	51.38	70.83
5	1.12	6.26	7.39	18.12	17.65	35.77	6.16	7.44	13.60	12.15	29.80	41.95	37.56	61.15	98.71
6	2.16	3.45	5.61	22.27	20.25	42.52	26.23	25.02	51.26	13.99	40.89	54.87	64.65	89.61	154.26
6	0.61	9.42	10.03	21.86	20.37	42.24	25.63	28.50	54.13	18.80	46.55	65.35	66.91	104.84	171.75
7		2.90	2.90		9.02	9.02		6.85	6.85		28.70	28.70	0.00	47.47	47.47
7		4.99	4.99		7.03	7.03		8.05	8.05		37.42	37.42	0.00	57.49	57.49
8	1.14	3.30	4.43	38.37	17.93	56.30	33.49	17.03	50.52	21.04	37.87	58.90	94.04	76.12	170.16
8	1.53	6.75	8.29	13.94	16.14	30.08	27.79	34.05	61.84	45.63	35.61	81.25	88.90	92.56	181.46
9				5.57	13.53	19.11							5.57	13.53	19.11
9				12.10	10.18	22.28							12.10	10.18	22.28
10				38.44	24.34	62.78							38.44	24.34	62.78
10				22.65	18.84	41.49							22.65	18.84	41.49
11				40.02	18.52	58.54							40.02	18.52	58.54
11				27.51	14.86	42.37							27.51	14.86	42.37
12		3.37	3.37	4.38	12.88	17.26	26.45	15.78	42.22	13.16	31.21	44.37	43.99	63.24	107.23
12	1.27	14.88	16.15	8.18	10.38	18.55	16.82	13.90	30.72	20.15	35.56	55.71	46.42	74.72	121.14
13	0.94	5.77	6.71	22.10	21.18	43.28	24.25	31.50	55.75	32.68	44.79	77.47	79.98	103.24	183.21
13	1.41	7.81	9.22	31.74	21.40	53.14	40.63		38.04	46.65	31.41	78.06	120.43	60.63	178.46
14				25.41	19.30	44.71							25.41	19.30	44.71
14				27.84	24.37	52.21							27.84	24.37	52.21
15	0.84	3.99	4.82		14.07	14.07	7.29	7.95	15.23	9.89	42.98	52.87	18.02	68.98	86.99
15	0.63	8.83	9.46		13.45	13.02	17.98	15.84	33.81	19.80	28.84	48.64	38.40	66.96	104.94
16				32.34	18.62	50.96							32.34	18.62	50.96
16				36.27		34.40							36.27	0.00	34.40
17	1.95	4.84	6.79	38.16	21.19	59.35	38.92	19.38	58.30	52.06	42.81	94.87	131.09	88.22	219.31
17	1.51	7.61	9.12	29.62	18.87	48.48	27.33	18.49	45.82	25.74	35.10	60.84	84.20	80.07	164.27
18				23.21	17.07	40.28							23.21	17.07	40.28
18				25.88	22.22	48.10							25.88	22.22	48.10
19	2.24	5.57	7.81	23.10	24.23	47.33	31.74	22.91	54.65	37.87	54.55	92.41	94.94	107.26	202.20
19	2.78	9.01	11.80	18.87	23.16	42.03	35.35	29.59	64.94	21.21	40.19	61.39	78.21	101.95	180.16
20	6.14	8.96	15.09	48.80	20.52	69.32	60.65	4.36	65.01	59.97		55.12	175.55	33.84	204.55
20	4.88	12.17	17.05	32.30	37.05	69.35	44.13	17.35	61.48	25.29	45.42	70.71	106.60	112.00	218.60
21		4.32	4.32		24.91	24.91		30.80	30.80		40.70	40.70	0.00	100.73	100.73
21		8.58	8.58		21.78	21.78		13.37	13.37		52.46	52.46	0.00	96.20	96.20

CUADRO No.19 - Porcentaje de Nitrógeno, en lotus y gramíneas para los cuatro cortes. Datos originales para los 21 tratamientos.

(% N)	AGOSTO		OCTUBRE		ENERO		ABRIL	
CODIGO	LOTUS	GRAM.	LOTUS	GRAM.	LOTUS	GRAM.	LOTUS	GRAM.
1		1.40		1.32	1.94	1.55	2.56	1.63
1		1.63		1.55	1.86	1.40	2.72	1.48
2			2.64	1.55				
2			2.72	1.48				
3			3.19	1.63				
3			3.11	1.63				
4			3.11	1.48				
4			3.03	1.55				
5	3.26	2.02	2.72	1.48	1.63	1.32	2.56	1.24
5	3.26	1.86	3.03	1.79	1.63	1.48	2.41	1.48
6	3.96	2.33	3.03	1.55	1.48	1.55	3.03	1.86
6	3.42	1.94	3.11	1.55	1.55	1.63	3.03	1.63
7		1.55		1.32		1.17		1.17
7		1.48		1.17		1.17		1.24
8	3.50	1.71	2.95	1.63	1.55	1.55	2.72	1.63
8	3.57	1.94	2.95	1.71	1.79	1.55	2.72	1.79
9			2.87	1.55				
9			3.11	1.32				
10			3.42	1.87				
10			3.11	1.63				
11			3.19	1.79				
11			3.03	1.71				
12	3.65	1.79	2.72	1.55	1.79	1.48	2.87	1.40
12		1.79	3.11	1.55	1.40	1.32	2.64	1.40
13	3.50	2.25	3.03	1.71	1.63	1.55	3.03	1.63
13	3.50	1.94	2.80	1.79	1.71		2.87	1.79
14			3.03	1.79				
14			3.26	1.48				
15	3.26	1.94		1.48	1.71	1.24	2.25	1.40
15	3.57	1.94		1.40	1.71	1.40	2.33	1.32
16			3.19					
16			3.03	2.02				
17	3.34	1.86	3.42	1.79	1.40	1.55	2.95	1.94
17	3.26	2.02	2.87	1.55	1.48	1.40	2.56	1.40
18			2.95	1.55				
18			3.19	1.32				
19	3.65	2.02	3.19	1.63	1.55	1.48	2.80	1.71
19	3.81	2.18	3.50	1.55	1.55	1.55	2.95	1.40
20	4.12	2.25	3.57	1.79	1.71	1.32	3.11	
20	3.89	2.84	3.89	1.79	1.71	1.63	2.95	1.63
21		2.80		1.48		1.40		1.40
21		1.79		1.40		1.32		1.40

CUADRO No.20 - Potasio absorbido por lotus, gramíneas y total de la pastura, para diferentes tratamientos, en Kg/há.

	AGOSTO KG.K/HA			OCTUBRE KG.K/HA			ENERO KG.K/HA			ABRIL KG.K/HA			TOTALES KG.K/HA		
CODIGO	LOTUS	GRAM.	TOTAL	LOTUS	GRAM.	TOTAL	LOTUS	GRAM.	TOTAL	LOTUS	GRAM.	TOTAL	LOTUS	GRAM.	TOTAL
6	0.75	1.45	2.20	4.85	13.68	18.53	10.48	14.33	24.81	5.59	17.32	22.91	21.67	46.78	68.45
6	0.30	3.93	4.23	6.12	14.16	20.28	12.87	17.99	30.85	6.45	23.40	29.85	25.74	59.47	85.21
7		1.20	1.20		5.33	5.33		4.70	4.70		17.24	17.24	0.00	28.46	28.46
7		2.06	2.06		4.65	4.65	0.00	6.01	6.01		22.88	22.88	0.00	35.59	35.59
8	0.66	2.96	3.62	8.71	11.66	20.36	15.30	9.53	24.84		18.57	18.57	24.67	42.72	67.39
8	0.53	1.51	2.05	3.49	9.73	13.22	11.20	22.79	33.99	15.10	16.14	31.24	30.33	50.17	80.50
13		2.43	2.43	12.15	15.90	28.05	10.40	20.88	31.28	10.46	23.06	33.52	33.02	62.26	95.28
13	0.78	4.34	5.13	6.08	13.63	19.71	13.07		13.07	13.31	12.66	25.96	33.25	30.63	63.88
17	0.84	3.51	4.35		13.87	13.87	28.10		28.10	18.87	19.39	38.26	47.81	36.78	84.59
17	0.86	2.37	3.23	8.57	12.75	21.31	10.37	12.69	23.06	9.74	19.58	29.31	29.53	47.39	76.92
21	0.00	1.45	1.45		14.46	14.46		24.67	24.67	3.84	25.02	28.87	3.84	65.60	69.44
21		4.37	4.37		16.21	16.21					18.38	18.38	0.00	38.96	38.96

CUADRO No.21 - Porcentaje de Potasio en lotus y gramínea, para algunos tratamientos, en los cuatro cortes.

	OCTUBRE %K		AGOSTO %K		ENERO %K		ABRIL %K	
CODIGO	LOTUS	GRAM.	LOTUS	GRAM.	LOTUS	GRAM.	LOTUS	GRAM.
6	0.66	1.05	1.37	0.98	0.59	0.89	1.21	0.79
6	0.87	1.08	1.68	0.81	0.78	1.03	1.04	0.82
7		0.78		0.64		0.80		0.70
7		0.77		0.61		0.87		0.76
8	0.67	1.06	1.50	0.75	0.71	0.87		0.80
8	0.74	1.03	1.68	0.89	0.72	1.04	0.90	0.81
13	1.16	1.27		0.95	0.70	1.03	0.97	0.84
13	0.77	1.15	1.95	1.08	0.55		0.82	0.72
17		1.17	1.86	0.86	1.01		1.07	0.88
17	0.83	1.05	1.44	0.99	0.56	0.96	0.97	0.78
21		0.98		0.94		1.12	1.03	0.86
21		0.91		0.91				0.49

CUADRO No.22 - Extracción de N, P y K del campo natural y diferentes alternativas de mejoramiento, en Kg/há. Datos promedio por corte y total anual.

	AGOSTO			OCTUBRE			ENERO			ABRIL		
TRAT.	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K
CN	3.95	0.28	1.63	8.03	0.70	4.99	7.45	0.65	5.35	33.06	2.97	20.06
CN+L	3.36	0.24		9.20	0.72		12.14	0.94	0.00	46.00	3.60	0.00
CN+L+P	6.36	0.65	2.83	43.19	3.81	16.79	56.18	4.13	29.41	70.08	4.89	24.90
CN+N+P	6.45	0.70	2.91	23.35	3.05	15.33	22.09	2.11	12.33	46.58	4.45	23.62

	TOTAL		
TRAT.	N	P	K
CN	52.48	4.59	32.03
CN+L	70.70	5.50	0.00
CN+L+P	175.81	13.47	73.94
CN+N+P	98.46	10.31	54.20

CUADRO No. 23.a - Fósforo asimilable en el suelo (Bray No.1) para los 21 tratamientos. Muestreo realizado en abril de 1991. Datos originales de dos repeticiones.

	TRATAMIENTOS				
CODIGO	DOSIS P	FUENTE P	ACC.	REFERT.	ppm P Bray
1	0	T	SA	NR	3.19
1	0	T	SA	NR	2.86
2	30	H	SA	NR	1.98
2	30	H	SA	NR	3.41
3	30	H	SA	RH	2.64
3	30	H	SA	RH	3.41
4	30	H	SA	RS	2.53
4	30	H	SA	RS	2.86
5	60	S	C	NR	2.75
5	30	S	C	NR	2.09
5	30	S	C	NR	2.42
6	30	S	C	RS	2.86
6	30	S	C	RS	3.85
8	30	S	SA	RS	2.31
8	30	S	SA	RS	2.75
9	60	H	SA	NR	3.63
9	60	H	SA	NR	2.86
10	60	H	SA	RH	2.42
10	60	H	SA	RH	3.08
11	60	H	SA	RS	2.42
11	60	H	SA	RS	4.29
12	60	S	C	NR	1.98
13	60	S	C	RS	3.19
13	60	S	C	RS	3.08
14	60	S	M	RS	4.62
14	60	S	M	RS	3.52
15	60	S	SA	NR	2.42
15	60	S	SA	NR	3.52
16	60	S	SA	RH	2.42
16	60	S	SA	RH	3.74
17	60	S	SA	RS	2.42
17	60	S	SA	RS	3.63
18	60	ST	SA	RST	2.75
18	60	ST	SA	RST	3.63
19	90	S	SA	RS	2.09
19	90	S	SA	RS	3.63
20	240	S	SA	RS	8.25
20	240	S	SA	RS	12.98
21	30	S	CNN	RS	3.19
21	30	S	CNN	RS	3.08

CUADRO No. 23.b - Datos de PH, acidez titulable, acidez intercambiable y aluminio intercambiable, de 0 a 15 cm de profundidad.

				(meq/100 g.)		
		PH(H2O	PH(KCL	A.T.	A.I.	Al I
1991 (1)	SIN CAL	5.11	4.17	3.74	0.57	0.28
		5.06	4.11	4.33	0.56	0.50
		5.11	4.14	4.79	0.77	0.44
		5.02	4.13	4.26	0.49	0.39
	PROMEDIO	5.08	4.14	4.28	0.60	0.40
	CON CAL	5.15	4.11	4.50	0.62	0.39
		5.13	4.15	4.17	0.44	0.33
		5.16	4.13	4.93	0.62	0.33
		5.11	4.19	4.31	0.44	0.36
	PROMEDIO	5.14	4.15	4.48	0.53	0.35
1992 (2)	SIN CAL	5.18	4.10	4.98	0.59	0.39
		5.17	4.05	4.91	0.84	0.72
	PROMEDIO	5.175	4.075	4.945	0.715	0.555
	CON CAL	5.26	4.15	4.48	0.55	0.47
		5.22	4.12	5.03	0.65	0.56
		5.24	4.135	4.755	0.6	0.515
	PROMEDIO	5.24	4.135	4.755	0.6	0.515

(1) Los datos de 1991 corresponden a 4 repeticiones.
(2) Los datos de 1992 corresponden a 2 repeticiones.

SITIO No.2 - S.U.L.

CUADRO No.24 - Análisis de varianza del efecto de los tratamientos en la producción de materia seca TOTAL ANUAL, y contrastes ortogonales. Sitio No.2 - S.U.L.

FUENTE	G.L.	S.CUADRADOS	C.MEDIOS	F	Prob.#	Sig.
BLOQUE	3	783029.19	261009.730	0.49	0.6876	n.s.
TRATAM.	20	209613312.29	10480665.615	19.85	0.0000	***
ERROR	60	31684720.07	528078.668			
TOTAL	83	242081061.55				

MEDIA = 4281.583
C.V. = 16.97 %

CONTRAS*	G.L	S.C.	C.M.	Valor	Prob.
1.	1	2509593.81	2509593.81	4.75	0.0332
2.	1	905480.84	905480.84	1.71	0.1954
3.	1	230707.26	230707.26	0.44	0.5112
4.	1	30758494.43	30758494.43	58.25	0.0001
5.	1	4990597.35	4990597.35	9.45	0.0032
6.	1	2609.17	2609.17	0.00	0.9442
7.	1	457868.76	457868.76	0.87	0.3555
8.	1	19818.41	19818.41	0.04	0.847
9.	1	117048.15	117048.15	0.22	0.6395
10.	1	164116.14	164116.14	0.31	0.5793
11.	1	10118948.40	10118948.40	19.16	0.0001
12.	1	370539.96	370539.96	0.70	N.S.
13.	1	699845.06	699845.06	1.33	0.2542

* Ver cuadro No.28 - explicación de contrastes).

La probabilidad indicada como 0.0000 es menor a 0.00001

CUADRO No.25 - Análisis de varianza y contrastes ortogonales, para el corte de AGOSTO, sitio No.2 - SUL.

FUENTE	G.L.	S.CUADRADOS	C.MEDIOS	F	Prob.#	Sig.
BLOQUE	3	163027.56	54342.520	3.28	0.0269	***
TRATAM.	20	1803404.44	90170.222	5.44	0.0000	***
ERROR	60	993952.54	16565.876			
TOTAL	83	2960384.54				

MEDIA = 850.043
C.V. = 15.14 %

CONTRAS*	G.L	S.C.	C.M.	Valor	Prob.
1.	1	2332.9985	2332.9985	0.14	0.7088
2.	1	29786.2604	29786.2604	1.80	0.1850
3.	1	8786.0768	8786.0768	0.53	0.4693
4.	1	309782.8828	309782.8828	18.70	0.0001
5.	1	38158.5491	38158.5491	2.30	0.1343
6.	1	19918.3826	19918.3826	1.20	0.2772
7.	1	41006.2500	41006.2500	2.48	0.1209
8.	1	317.8981	317.8981	0.02	0.8903
9.	1	54663.0580	54663.0580	3.30	0.0743
10.	1	991.9350	991.9350	0.06	0.8075
11.	1	202702.9956	202702.9956	12.24	0.0009
12.	1	13067.7780	13067.7780	0.79	N.S.
13.	1	151230.7506	151230.7506	9.13	0.0037

* Ver cuadro No.28 - explicación de contrastes).

La probabilidad indicada como 0.0000 es menor a 0.00001

CUADRO No.26 - Análisis de varianza y contrastes ortogonales, para el corte de OCTUBRE. Sitio No.2 - SUL.

FUENTE	G.L.	S.CUADRADOS	C.MEDIOS	F	Prob.#	Sig.
BLOQUE	3	1011487.87	337162.624	0.71	0.5505	n.s.
TRATAM.	20	135913395.38	6795669.769	14.29	0.0000	***
ERROR	60	28538179.30	475636.322			
TOTAL	83	165463062.55				

MEDIA = 2918.720
C.V. = 23.63 %

CONTRAS*	G.L	S.C.	C.M.	Valor	Prob.
1.	1	1807152.73	1807152.73	3.80	0.0559
2.	1	1161833.21	1161833.21	2.44	0.1233
3.	1	288097.43	288097.43	0.61	0.4395
4.	1	17177252.78	17177252.78	36.11	0.0001
5.	1	3383670.06	3383670.06	7.11	0.0098
6.	1	63254.77	63254.77	0.13	0.7166
7.	1	179856.57	179856.57	0.38	0.5409
8.	1	4585.47	4585.47	0.01	0.9221
9.	1	230812.56	230812.56	0.49	0.4887
10.	1	99437.74	99437.74	0.21	0.6492
11.	1	5492358.53	5492358.53	11.55	0.0012
12.	1	185598.84	185598.84	0.39	N.S.
13.	1	411732.75	411732.75	0.87	0.3559

* Ver cuadro No.28 - explicación de contrastes.

La probabilidad indicada como 0.0000 es menor a 0.00001

CUADRO No.27 - Análisis de varianza y contrastes ortogonales, para el corte de ABRIL. Sitio No.2 - SUL.

FUENTE	G.L.	S.CUADRADOS	C.MEDIOS	F	Prob.#	Sig.
BLOQUE	3	33658.30	11219.433	1.63	0.1920	n.s.
TRATAM.	20	4008861.06	200443.053	29.11	0.0000	***
ERROR	60	413076.22	6884.604			
TOTAL	83	4455595.58				

MEDIA = 512.819
C.V. = 16.18 %

CONTRAS*	G.L	S.C.	C.M.	Valor	Prob.
1.	1	36700.9511	36700.9511	5.33	0.0244
2.	1	2141.7483	2141.7483	0.31	0.5791
3.	1	1391.2813	1391.2813	0.20	0.6547
4.	1	713861.1414	713861.1414	103.3	0.0001
5.	1	39661.7761	39661.7761	5.76	0.0195
6.	1	3516.1935	3516.1935	0.51	0.4776
7.	1	2506.7546	2506.7546	0.36	0.5485
8.	1	51227.2036	51227.2036	7.44	0.0084
9.	1	9119.2513	9119.2513	1.32	0.2543
10.	1	3396.8498	3396.8498	0.49	0.4851
11.	1	149943.8322	149943.8322	21.78	0.0001
12.	1	4043.2520	4043.2520	0.59	N.S.
13.	1	340799.4240	340799.4240	49.50	0.0001

* Ver cuadro No.28 - explicación de contrastes).

La probabilidad indicada como 0.0000 es menor a 0.00001

CUADRO No.28 - Explicación de los tratamientos comprendidos en cada contraste otogonal.

No.	TRATAMIENTOS ‡
1.	T vs (30H + 60H + 60S)NR
2.	30H vs 60H + 60S
3.	60H vs 60S
4.	(30H + 60H + 60S)NR vs (30H + 60H + 60S)RH + (30H + 60H + 60S)RS
5.	30HRH + 30HRS vs (60H + 60S)RH + (60H + 60S)RS
6.	60HRH + 60HRS vs 60SRH + 60SRS
7.	(30H + 60H)RH vs (30H + 60H)RS
8.	60SRH vs 60SRS
9.	60SRS vs 60STRST
10.	(60SNR + 60SRS)C vs 60SNR + 60SRS
11.	60SCNR vs 60SCRS
12.	T vs CN
13.	30SRS vs CNNP

‡ Ver: cuadro No.1 en "Materiales y Métodos" - explicación de tratamientos

CUADRO No.29 - Regresiones cuadráticas estimadas para la respuesta anual y para el corte de octubre, de la materia seca total según la dosis de P acumulada.

TOTAL DE M.S. ANUAL

Variable	Coeficiente	Error Standard	t	Prob.*
x	34.410	5.3493	6.433	0.000
x^2	-0.0445	-0.0099	-4.466	0.000

Intercepto = 1806.974254

Coeficiente de determinación (r^2) = 0.858

Error standard de estimación = 900.115

Analisis de varianza:

	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	Signif.
Regresión	2	83039848.493872	41519924.24694	51.25	0.000
Residual	17	13773534.343404	810207.90255		
Total	19	96813382.837275			

* Las probabilidad indicadas como 0.000 es menor a 0.0001 .

CORTE DE OCTUBRE

Variable	Coeficiente	Error Standard	t	Prob.*
x	27.782	5.0711	5.479	0.000
x^2	-0.0352	-0.0095	-3.729	0.001

Intercepto = 914.699521

Coeficiente de determinación (r^2) = 0.823

Error standard de estimación = 853.301

Analisis de varianza:

	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	Signif.
Regresión	2	57377104.550964	28688552.27548	39.40	0.000
Residual	17	12378097.074782	728123.35734		
Total	19	69755201.625746			

* Las probabilidad indicadas como 0.000 es menor a 0.0001

CUADRO No.30 - Ajuste de regresiones para el efecto de las diferentes fuentes de P utilizadas a la instalación y en la refertilización sobre la materia seca, corte de agosto. Análisis de varianza para las diferencias entre parámetros estimados.

TRAT.	r	a	b	t_b	P*
H-RH	0.645	685.46	1.36	2.67	0.024
S-RS	0.581	673.88	2.25	2.26	0.048
H-RS	0.828	688.17	2.29	4.68	0.001
Total	0.643	682.50	1.97	4.90	0.000

Analisis de varianza:

FUENTE	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	P
Diferencias	4	46717.745	11679.436	0.75	n.s.
Dif.en. nivel	2	29599.229	14799.614	0.98	n.s
Error	32	483433.680	15107.303		
Dif.en ángulo	2	17118.517	8559.258	0.55	n.s.
Error	30	466315.164	15543.839		

* Las probabilidad indicadas como 0.000 es menor a 0.0001 .

CUADRO No.31 - Ajuste de regresiones para el efecto de las distintas fuentes de P utilizada a la instalación y en la refertilización sobre la materia seca, para el corte de octubre. Análisis de varianza para las diferencias entre parámetros estimados.

TRAT.	r	a	b	t_b	P*
H-RH	0.924	868.22	20.6	7.64	0.000
S-RS	0.860	1008.97	21.4	5.34	0.000
H-RS	0.877	979.18	21.0	5.76	0.000
Total	0.883	952.12	21.0	10.96	0.000

Analisis de varianza:

FUENTE	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	Prob
Diferencias	4	255371.296	63842.824	0.17	n.s.
Dif.en nivel	2	245607.084	122803.542	0.34	n.s.
Error	32	11491261.313	359101.916		
Dif.en ángulo	2	9764.212	4882.106	0.01	n.s.
Error	30	11481497.101	382716.570		

* Idem cuadro No.30 .

CUADRO No.32 - Ajuste de regresiones para el efecto de las distintas fuentes de P utilizada a la instalación y en la refertilización sobre la materia seca, para el corte de abril. Análisis de varianza para las diferencias entre parámetros estimados.

TRAT.	r	a	b	t_b	P*
H-RH	0.923	222.12	3.31	7.58	0.000
S-RS	0.926	220.43	3.39	7.73	0.000
H-RS	0.902	195.90	3.92	6.61	0.000
Total	0.912	212.82	3.54	12.61	0.000

Analisis de varianza:

FUENTE	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	Prob
Diferencias	4	8802.698	2200.674	0.29	n.s.
Dif.en nivel	2	1843.933	921.967	0.13	n.s.
Error	32	235968.752	7374.023		
Dif.en Ángulo	2	6958.764	3479.382	0.46	n.s.
Error	30	229009.987	7633.666		

* Idem cuadro No.30 .

CUADRO No.33 - Producción de materia seca total (Kg/há), materia seca de lotus (Kg/há) y porcentaje de lotus en los tres cortes. Datos originales para los 21 tratamientos.

	AGOSTO			OCTUBRE			ABRIL			TOTAL		
CODIGO	MST	MSL	% L	MST	MSL	% L	MST	MSL	% L	MST	MSL	% L *
1	517.44	0.00	0	964.86	0.00	0	231.88	0.00	0	1714.18	0.00	0
1	688.85	0.00	0	822.13	0.00	0	175.41	0.00	0	1686.40	0.00	0
2	947.35	96.67	10	1712.37	267.56	16	338.59	76.18	23	2998.32	440.41	15
2	730.36	70.23	10	1797.10	227.80	13	134.54	26.25	20	2662.00	324.28	12
3	721.21	57.70	8	2397.16	1275.08	53	590.65	284.39	48	3709.01	1617.17	44
3	800.46	69.60	9	2382.75	1111.95	47	510.14	278.26	55	3693.35	1459.81	40
4	957.76	159.63	17	3594.20	1623.19	45	299.85	299.85	100	4851.82	2082.67	43
4	936.04	229.91	25	3875.78	1808.70	47	467.67	467.67	100	5279.49	2506.27	47
5	739.63	50.14	7	1373.73	0.00	0	199.92	199.92	100	2313.28	250.06	11
5	458.93	19.95	4	1594.61	303.74	19	307.81	76.95	25	2361.35	400.64	17
6	731.62	119.72	16	3887.47	1457.80	38	746.09	746.09	100	5365.18	2323.61	43
6	1069.02	205.58	19	3741.25	1450.69	39	521.74	302.06	58	5332.01	1958.33	37
7	576.83	0.00	0	499.87	0.00	0	158.10	0.00	0	1234.81	0.00	0
7	527.03	0.00	0	804.26	0.00	0	159.42	0.00	0	1490.71	0.00	0
8	823.23	178.96	22	4236.65	2079.81	49	704.47	458.73	65	5764.35	2717.50	47
8	923.56	104.95	11	2971.38	1366.83	46	494.60	494.60	100	4389.54	1966.38	45
9	629.72	12.85	2	1460.87	108.21	7	249.53	75.61	30	2340.11	196.68	8
9	761.23	15.22	2	1380.92	254.38	18	247.34	54.11	22	2389.49	323.71	14
10	838.04	194.55	23	3300.47	1368.49	41	601.04	601.04	100	4739.56	2164.08	46
10	844.13	92.33	11	4599.03	2628.02	57	572.37	572.37	100	6015.54	3292.72	55
11	946.88	130.60	14	3847.53	1810.60	47	672.66	672.66	100	5467.06	2613.86	48
11	918.49	91.85	10	3142.23	1208.55	38	790.85	457.21	58	4851.56	1757.61	36

CONTINUA EN LA SIG. PAG.

CUADRO No.34 - Porcentaje de lotus, determinado por estimación visual, para los 21 tratamientos. Datos promedio de los cuatro bloques.

	% LOTUS	
CODIGO	AGOSTO	OCTUBRE ABRIL 92
1	0	0
2	9	14
3	22	67
4	30	72
5	5	20
6	35	72
7	0	0
8	27	52
9	9	25
10	35	82
11	27	72
12	14	26
13	25	75
14	47	90
15	9	30
16	22	80
17	35	85
18	40	90
19	27	80
20	57	100
21	0	4

CUADRO No.35 - Porcentaje de fósforo, del lotus y las gramíneas de cada tratamiento, por corte.

	AGOSTO 91		OCTUBRE 91		ABRIL 92	
CODIGO	LOTUS	GRAM.	LOTUS	GRAM.	LOTUS	GRAM.
1		0.08		0.12		0.10
1		0.08		0.12		0.10
2			0.11	0.17		
2			0.11	0.13		
3	0.35	0.21	0.17	0.24	0.15	0.11
3	0.33	0.19	0.18	0.24	0.17	0.12
4			0.16	0.21		
4			0.16	0.16		
5	0.20	0.10	0.14	0.14	0.11	0.09
5	0.22	0.13		0.12	0.10	
6	0.24	0.17	0.14	0.19	0.14	0.10
6	0.30	0.18	0.13	0.15	0.10	
7		0.08		0.11		0.09
7		0.08		0.12		0.10
8		0.19	0.15	0.19	0.14	
8	0.38	0.24	0.16	0.21	0.15	0.13
9			0.10	0.14		
9				0.14		
10	0.40	0.22	0.23	0.24	0.15	
10	0.42	0.25	0.19	0.26	0.13	
11			0.20	0.22		
11			0.22	0.22		
12	0.22	0.12	0.10	0.14	0.13	0.10
12	0.24	0.11	0.12	0.14	0.12	0.10
13	0.30	0.22	0.15	0.22	0.13	
13	0.31	0.24	0.16	0.17	0.14	0.10
14			0.16	0.18		
14			0.20	0.18		
15	0.24	0.13	0.14	0.16	0.16	0.12
15	0.25	0.16	0.16	0.17	0.14	
16			0.13	0.18		
16			0.16	0.21		
17	0.31	0.18	0.16	0.19	0.14	
17	0.35	0.21	0.21	0.28	0.12	
18	0.29	0.21	0.15	0.21	0.14	0.09
18	0.28	0.20	0.12	0.15	0.14	
19	0.34	0.20	0.16	0.16	0.17	0.12
19	0.38	0.26	0.21	0.21	0.16	
20	0.50	0.29	0.29	0.31	0.12	
20	0.40	0.31	0.24	0.31	0.12	
21		0.20		0.20		0.14
21		0.20		0.19	0.17	0.14

CUADRO No.36 - Fósforo absorbido por la pastura, para los tres cortes, por tratamiento. Datos por especie y total.

	AGOSTO			OCTUBRE			ABRIL			TOTAL (KG P/HA)		
C.t	LOTUS	GRAM.	TOTAL	LOTUS	GRAM.	TOTAL	LOTUS	GRAM.	TOTAL	LOTUS	GRAM.	TOTAL
1	0.00	0.56	0.56	0.00	0.99	0.99		0.22	0.22	0.00	1.77	1.77
1	0.00	0.42	0.42	0.00	0.27	0.27		0.18	0.18	0.00	0.87	0.87
2				0.30	2.41	2.71						
2				0.26	2.01	2.26						
3	0.20	1.41	1.62	1.90	3.10	5.00	0.42	0.25	0.67	2.52	4.77	7.29
3	0.23	1.39	1.62	2.27	2.74	5.01	0.47	0.37	0.84	2.98	4.49	7.47
4				2.58	4.20	6.78						
4				2.87	3.31	6.18						
5	0.10	0.72	0.82	0.44	1.75	2.19	0.08	0.21	0.30	0.62	2.69	3.30
5	0.04	0.57	0.61	0.00	1.65	1.65	0.19		0.19	0.24	2.22	2.46
6	0.49	1.44	1.92	2.02	4.35	6.37	0.43	0.22	0.65	2.94	6.01	8.95
6	0.36	1.11	1.47	1.86	3.67	5.54	0.78		0.78	3.00	4.79	7.79
7	0.00	0.47	0.47	0.00	0.55	0.55		0.13	0.13	0.00	1.15	1.15
7	0.00	0.43	0.43	0.00	0.97	0.97		0.15	0.15	0.00	1.55	1.55
8		1.55	1.55	3.22	4.10	7.32	0.67		0.67	3.89	5.65	9.54
8	0.67	1.57	2.25	2.22	3.30	5.52	0.69	0.31	1.01	3.59	5.18	8.77
9				0.27	1.62	1.88						
9				0.00	1.83	1.83						
10	0.37	1.63	2.00	6.01	4.81	10.82	0.89		0.89	7.26	6.44	13.70
10	0.82	1.62	2.44	2.65	5.02	7.67	0.75		0.75	4.23	6.64	10.86
11				2.42	4.27	6.69						
11				3.93	4.50	8.43						
12	0.06	0.77	0.82	0.07	1.38	1.45	0.06	0.19	0.25	0.19	2.34	2.53
12	0.10	0.68	0.78	0.25	1.75	2.00	0.10	0.21	0.31	0.45	2.64	3.09
13	0.52	2.41	2.94	1.68	4.90	6.58	0.72		0.72	2.92	7.32	10.24
13	0.29	2.56	2.85	2.69	3.47	6.16	0.52	0.33	0.85	3.50	6.36	9.86
14				3.20	4.59	7.79						
14				2.18	4.44	6.63						
15	0.08	0.67	0.75	0.36	2.57	2.93	0.19	0.26	0.45	0.63	3.50	4.13
15	0.20	0.77	0.97	1.61	3.55	5.16	0.47		0.47	2.28	4.32	6.59
16				1.46	4.62	6.08						
16				2.44	4.62	7.06						
17	0.86	1.98	2.84	4.11	3.99	8.10	0.85		0.85	5.82	5.97	11.79
17	0.44	1.59	2.03	2.45	5.37	7.83	0.76		0.76	3.65	6.96	10.61
18	1.95	0.31	2.26	2.04	4.29	6.33	0.46	0.19	0.64	4.45	4.78	9.23
18	0.44	1.30	1.74	1.70	4.47	6.17	0.86		0.86	3.00	5.77	8.77
19	0.71	1.55	2.26	1.72	2.72	4.44	0.88	0.50	1.38	3.30	4.77	8.08
19	0.42	2.06	2.49	4.22	6.83	11.04	1.08		1.08	5.73	8.89	14.62
20	1.41	2.38	3.78	6.13	13.10	19.23	1.01		1.01	8.55	15.47	24.02
20	1.87	2.72	4.60	9.55	7.42	16.97	1.04		1.04	12.46	10.14	22.60
21	0.00	2.24	2.24	0.00	5.99	5.99		0.27	0.27	0.00	8.51	8.51
21	0.00	1.95	1.95	0.00	4.46	4.46	0.09	0.17	0.26	0.09	6.59	6.67

t No. de código de tratamientos.

CUADRO No.37 Eficiencia del P absorbido en producción de materia seca total de la pastura (Kg MS/Kg P absorbido). Datos promedio por tratamiento para cada especie y el total.

		AGOSTO			OCTUBRE			ABRIL			TOTAL		
CODIGO	DOSIS P	LOTUS	GRAMINEA	TOTAL	LOTUS	GRAMINEA	TOTAL	LOTUS	GRAMINEA	TOTAL	LOTUS	GRAMINEA	TOTAL
7	0		1229	1229		871	871		1103	1103		1016	1016
1	0		1280	1280		2008	2008		1012	1012		1455	1455
5	30	480	863	824		783	797	1396		1130	1046	825	830
2	30				890	691	713				1366	1114	1142
9	60					726	765					1227	1273
12	60	438	861	819	946	717	735	796	1032	966	763	783	781
15	60	403	698	657	663	615	624	672		730	634	638	640
8	90		467	470	630	507	559	699		771	623	503	552
4	90				629	547	579				840	749	785
21	90		511	511		536	536		809	707		535	534
6	90	411	600	553	749	591	643	1055		904	721	606	642
3	90	294	498	470	581	413	478	632	924	742	566	468	502
11	120				528	453	474				764	678	697
18	120	799	1119	415	743	570	617	737		786	658	586	584
14	120				563	549	557				973	728	819
13	120	331	439	423	646	520	556	783		798	617	493	535
17	120	386	545	500	657	440	488	765		765	632	459	509
10	120	320	429	382	609	397	452	719		719	538	405	450
16	120				760	509	565				1251	682	823
19	150	320	442	396	726	725	725	632		683	589	588	588
20	480	225	338	294	441	381	357	820		820	441	360	366

CUADRO No.38 - Porcentaje de Nitrógeno foliar, en lotus y gramíneas para los tres cortes. Datos originales para los 21 tratamientos.

	AGOSTO		OCTUBRE		ABRIL (% N)	
CODIGO	LOTUS	GRAM.	LOTUS	GRAM.	LOTUS	GRAM.
1		1.01		1.17		1.24
1		1.17		1.32		1.32
2			2.56	1.24		
2			2.56	1.24		
3	3.42	1.55	2.95	1.24		
3			2.80	1.32		
4			2.87	1.32		
4			2.56	1.24		
5	3.11	1.17	3.03	1.24	2.80	1.32
5	3.11	1.48		1.79	1.55	
6	3.57	1.94	2.87	1.24	2.72	1.48
6	3.19	1.55	2.49	1.32	2.02	
7		1.17		1.09		1.09
7		1.17		1.24		1.17
8	3.81	2.10	2.64	1.24	2.49	
8	0.16	1.71	3.03	1.40	2.56	1.79
9			2.41	1.24		
9				1.24		
10	3.50	1.48	2.87	1.40	2.25	
10			3.03	1.32		
11			2.95	1.32		
11			3.03	1.63		
12	3.50	1.32	2.33	1.24	2.72	1.48
12	3.11	1.24	2.80	1.24	2.87	1.40
13	3.57	1.86	2.80	1.32	2.49	1.79
13	3.34	2.25	2.87	1.24	2.49	
14			2.72	1.40		
14			2.87	1.32		
15	3.34	1.94	2.80	1.24	2.49	
15	3.03	1.40	3.03	1.32	2.64	1.48
16			2.49	1.32		
16			2.64	1.32		
17	3.81	1.71	2.87	1.40	2.18	
17	3.50	1.79	2.95	1.24	1.55	
18			2.80	1.17		
18			3.11	1.17		
19	3.73	1.55	3.26	1.17	2.80	
19	3.73	2.33	2.95	1.32	2.80	1.48
20	3.50	2.33	3.03	1.48	2.64	
20	3.03	1.48	2.80	1.71	2.72	
21		1.63		1.24		1.48
21		1.63		1.32	3.03	1.40

CUADRO No.39 - Nitrógeno absorbido, por la pastura en los cuatro cortes y total anual. Datos originales para lotus y gramíneas, en los 21 tratamientos.

	AGOSTO			OCTUBRE			ABRIL			TOTAL (KG N/HA)		
CODIGO	LOTUS	GRAM.	TOTAL	LOTUS	GRAM.	TOTAL	LOTUS	GRAM.	TOTAL	LOTUS	GRAM.	TOTAL
1	0.00	6.96	6.96	0.00	9.58	9.58	0.00	2.88	2.88	0.00	19.42	19.42
1	0.00	6.03	6.03	0.00	2.97	2.97	0.00	2.32	2.32	0.00	11.32	11.32
2				6.86	17.96	24.82						
2				5.84	19.51	25.35						
3	2.38	11.36	13.74	32.83	15.80	48.63	0.00	0.00	0.00	35.21	27.16	62.37
3	0.00	0.00	0.00	35.67	14.82	50.49	0.00	0.00	0.00	35.67	14.82	50.49
4				46.67	26.04	72.70						
4				46.30	25.63	71.93						
5	1.56	8.04	9.59	9.20	16.05	25.25	2.15	3.05	5.20	12.92	27.13	40.05
5	0.62	6.50	7.12	0.00	24.55	24.55	3.11	0.00	3.11	3.73	31.05	34.77
6	4.28	11.89	16.17	41.71	28.48	70.18	8.21	3.24	11.46	54.20	43.61	97.81
6	6.55	13.42	19.97	36.25	32.09	68.34	15.07	0.00	15.07	57.87	45.51	103.38
7	0.00	6.72	6.72	0.00	5.45	5.45	0.00	1.72	1.72	0.00	13.89	13.89
7	0.00	6.14	6.14	0.00	10.00	10.00	0.00	1.86	1.86	0.00	18.00	18.00
8	6.81	13.52	20.33	54.94	26.81	81.76	12.30	0.00	12.30	74.06	40.33	114.39
8		13.99	13.83	41.42	22.44	63.86	11.76	4.39	16.15	53.02	40.83	93.84
9				6.13	14.01	20.13						
9				0.00	16.82	16.82						
10	3.23	11.10	14.33	75.42	27.59	103.02	12.90	0.00	12.90	91.55	38.69	130.24
10				41.47	25.52	66.99	0.00	0.00	0.00	41.47	25.52	66.99
11				35.65	25.54	61.19						
11				54.87	33.24	88.10						
12	1.45	8.03	9.48	1.64	12.67	14.30	2.31	3.24	5.54	5.39	23.93	29.32
12	0.79	7.94	8.74	6.08	15.13	21.22	1.35	2.73	4.08	8.22	25.81	34.03
13	6.24	20.75	26.99	31.06	29.33	60.39	9.30	5.62	14.92	46.60	55.70	102.30
13	3.13	24.06	27.19	48.70	25.27	73.97	13.66	0.00	13.66	65.49	49.33	114.82
14				54.81	35.23	90.04						
14				31.17	32.22	63.38						
15	2.64	9.21	11.84	7.05	20.13	27.18	8.35	0.00	8.35	18.03	29.34	47.37
15	0.96	7.36	8.32	30.70	28.11	58.81	3.20	3.19	6.39	34.86	38.65	73.51
16				28.36	33.48	61.85						
16				40.62	28.62	69.23						
17	10.57	18.97	29.53	72.56	29.41	101.97	13.68	0.00	13.68	96.81	48.38	145.19
17	4.40	13.80	18.20	34.61	24.29	58.89	9.19	0.00	9.19	48.20	38.09	86.28
18				38.81	23.45	62.25	0.00	0.00	0.00			
18				42.68	34.47	77.15	0.00	0.00	0.00			
19	7.65	11.96	19.61	35.31	19.97	55.28	19.05	0.00	19.05	62.02	31.93	93.95
19	4.13	18.49	22.62	60.65	43.09	103.74	14.72	6.15	20.87	79.49	67.73	147.23
20	9.91	19.32	29.23	64.82	63.15	127.97	21.45	0.00	21.45	96.18	82.48	178.66
20	14.09	13.13	27.22	113.01	41.44	154.44	23.48	0.00	23.48	150.58	54.57	205.15
21	0.00	18.53	18.53	0.00	37.70	37.70	0.00	2.93	2.93	0.00	59.17	59.17
21	0.00	16.12	16.12	0.00	31.06	31.06	1.52	1.70	3.22	1.52	48.89	50.41

CUADRO No.40 - Porcentaje de Potasio en lotus y graminea, para algunos tratamientos, en los tres cortes.

	AGOSTO 91 % K		OCTUBRE 91 % K		ABRIL 92 % K	
CODIGO	LOTUS	GRAM.	LOTUS	GRAM.	LOTUS	GRAM.
6	2.00	0.98	1.26	1.56	1.57	0.85
6	2.21	1.23	1.20	1.46	1.11	
7		0.61		1.23		0.69
7		0.53		1.27		0.79
8		1.08	1.51	1.61	1.38	
8	2.18	1.37		1.59	1.41	1.07
13	2.18	1.12	1.30	1.50	1.52	0.93
13	2.10	1.44	1.34	1.53	1.19	
17	2.34	1.07		1.54	1.29	
17	2.03	1.16	1.15	1.57	1.35	
21		1.07		1.35		1.03
21		1.15		1.44	1.89	0.85

CUADRO No.41 - Potasio absorbido por lotus, gramíneas y total de la pastura, para diferentes tratamientos, en Kg/há.

	AGOSTO 91 KG.K/HA			OCTUBRE 91 KG.K/HA			ABRIL 92 KG.K/HA		
CODIGO	LOTUS	GRAM.	TOTAL	LOTUS	GRAM.	TOTAL	LOTUS	GRAM	TOTAL
6	4.11	8.46	12.57	18.28	35.73	54.01	4.74	1.87	6.61
6	2.65	7.53	10.17	17.49	35.47	52.97	8.28		8.28
7		3.52	3.52	0.00	6.15	6.15		1.09	1.09
7		2.79	2.79	0.00	10.21	10.21		1.26	1.26
8		8.84	8.84	31.41	34.73	66.13	6.83		6.83
8	3.90	8.83	12.73		25.51	25.51	6.47	2.63	9.10
13	3.81	12.46	16.27	14.43	33.31	47.74	5.68	2.93	8.60
13	1.97	15.38	17.34	22.70	31.10	53.80	6.54		6.54
17	6.49	11.87	18.36				8.11		8.11
17	2.55	8.96	11.51	13.48	30.67	44.15	7.99		7.99
21		12.15	12.15	0.00	40.94	40.94		2.05	2.05
21		11.36	11.36		33.86	33.86	0.95	1.03	1.98

	TOTAL KG.K/HA		
CODIGO	LOTUS	GRAM.	TOTAL
6	27.13	46.06	73.19
6	28.42	43.00	71.42
7	0.00	10.76	10.76
7	0.00	14.27	14.27
8	38.23	43.57	81.80
8	10.37	36.97	47.34
13	23.92	48.69	72.61
13	31.20	46.48	77.68
17	14.60	11.87	26.48
17	24.02	39.63	63.65
21	0.00	55.14	55.14
21	0.95	46.26	47.21

FIGURAS.- SITIO 1

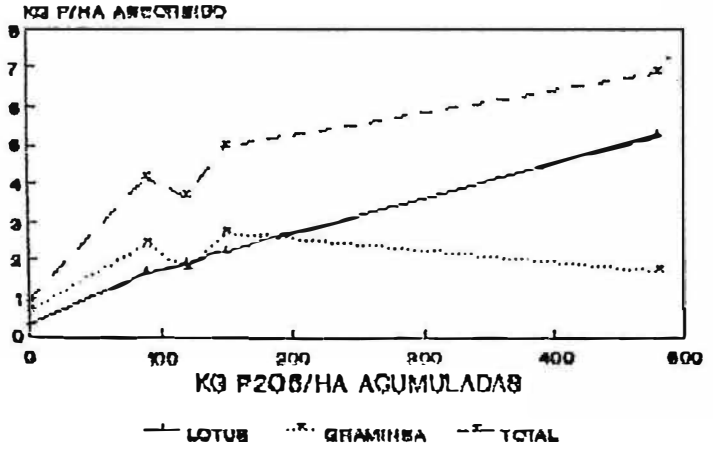


FIGURA No.1 - Fósforo absorbido por el lotus, las gramíneas y el total del corte de ENERO, en función de la dosis acumulada de fósforo.

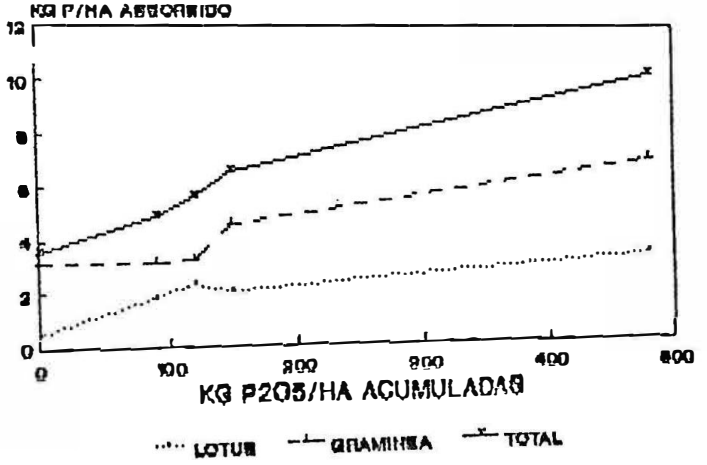


FIGURA No.2 - Fósforo absorbido por el lotus, las gramíneas y el total del corte de ABRIL, en función de la dosis acumulada de fósforo.

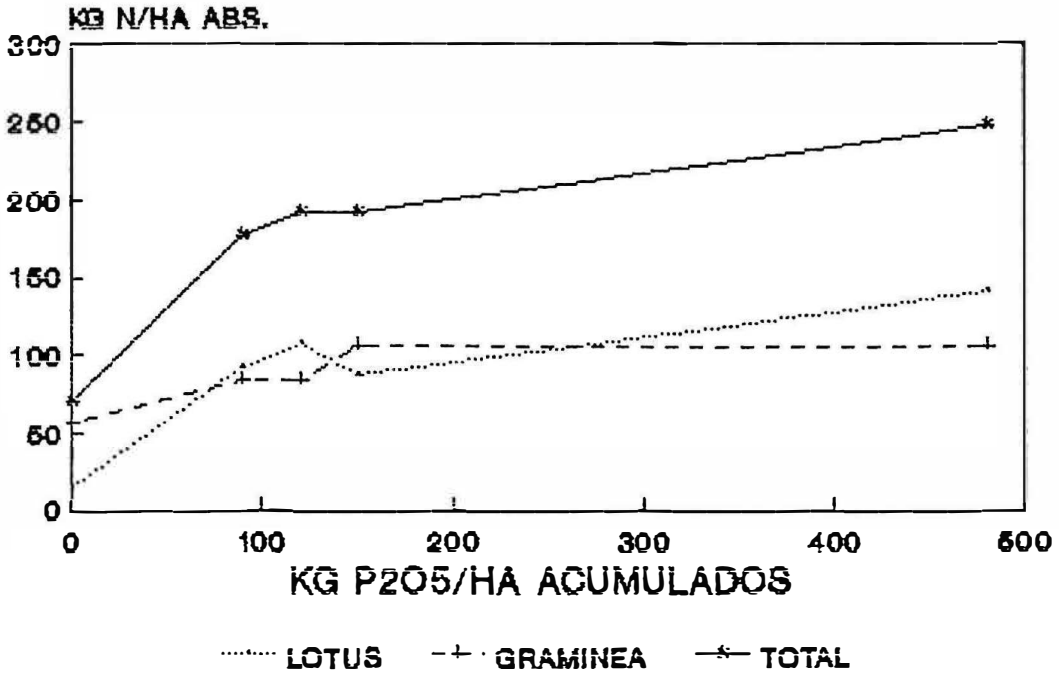
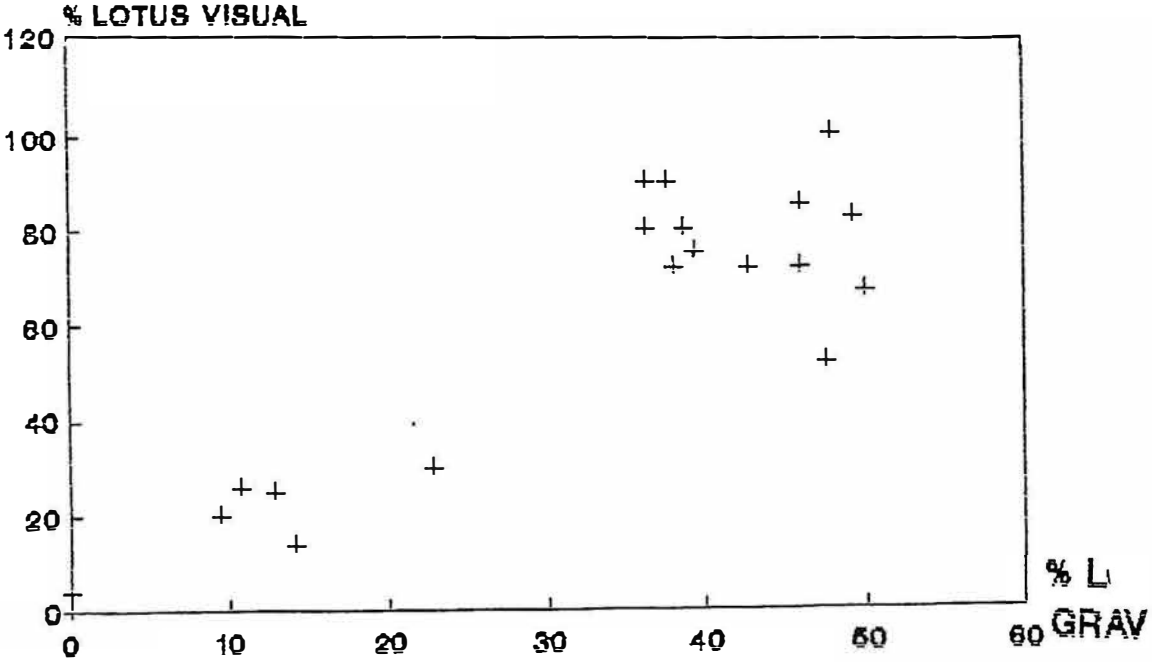


FIGURA No.3 - Extracción de Nitrógeno total ANUAL por la gramínea y la leguminosa en función de la dosis acumulada de Fósforo.



SITIO 2

FIGURA No.4 - Relaciones entre el porcentaje de lotus por estimación visual y por el método gravimétrico, corte de OCTUBRE.

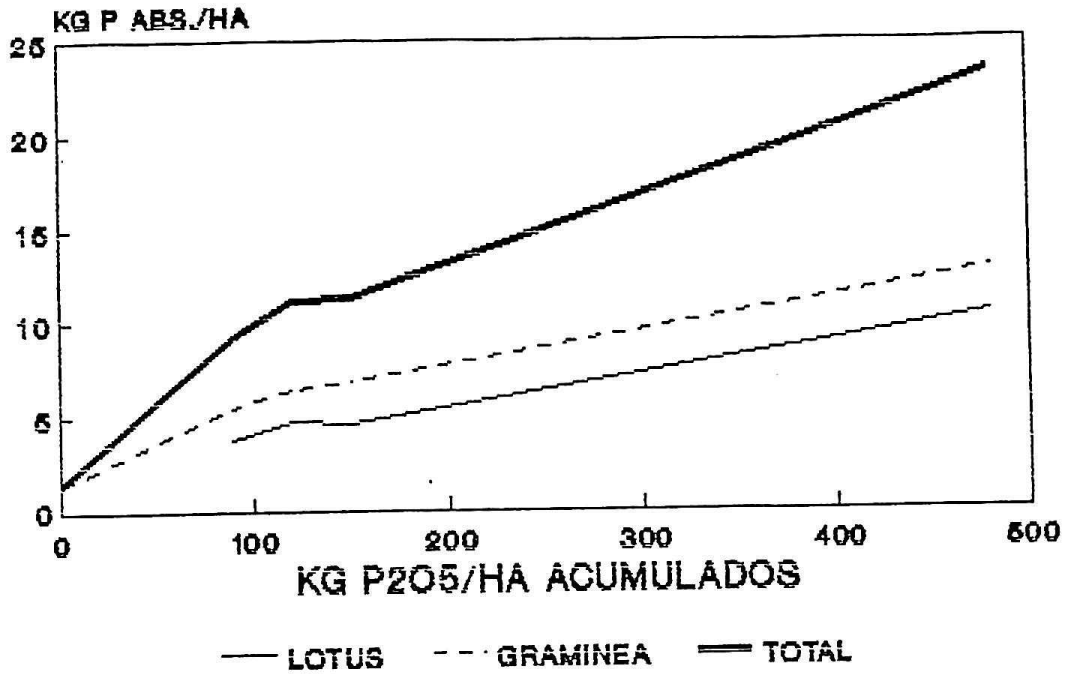


FIGURA No.5 - Absorción de fósforo (total ANUAL) por el lotus, las gramíneas y el total, en función de las dosis acumuladas de fósforo.

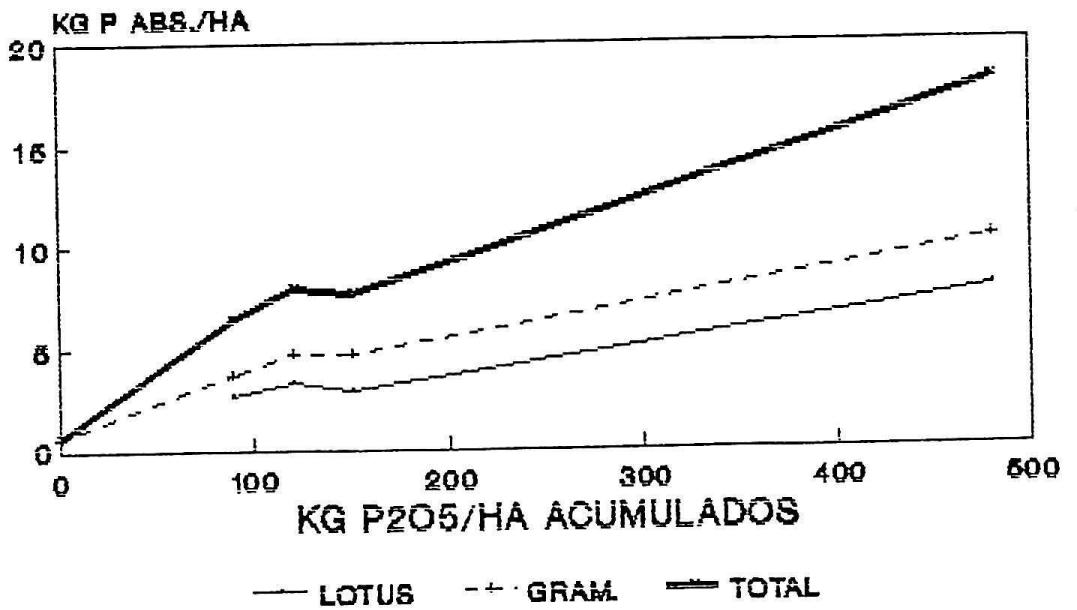


FIGURA No.6 - Absorción de fósforo por el lotus, las gramíneas y el total, en función de las dosis acumuladas de fósforo, corte de OCTUBRE.

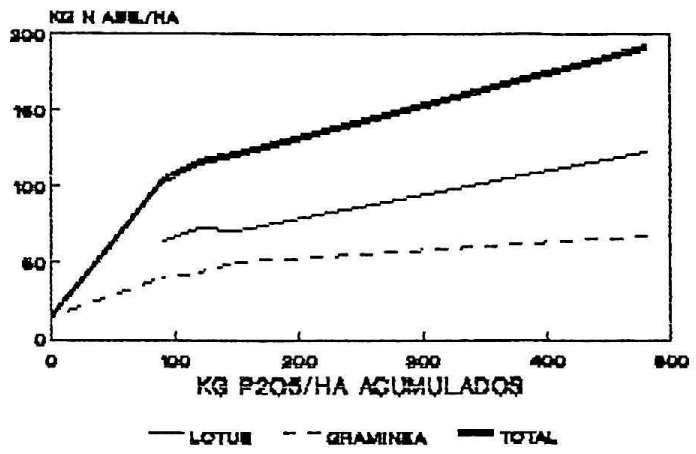


FIGURA No.7 - Nitrógeno absorbido por la leguminosa, las gramíneas y el total anual en función de la dosis acumulada de P.

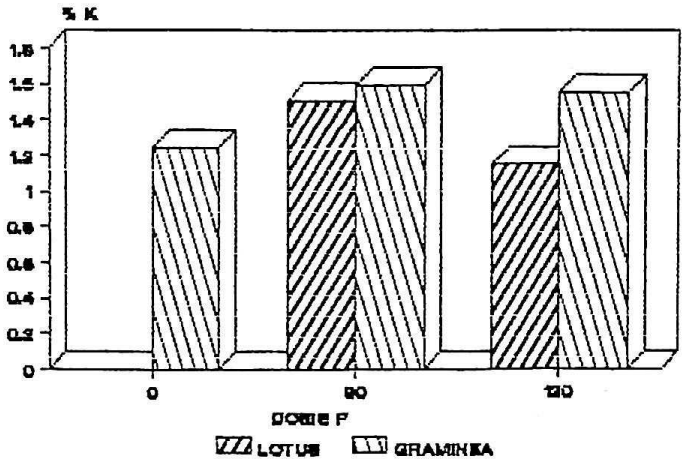


FIGURA No.8 -Porcentaje de Potasio en el lotus y la gramínea, para el testigo y dos tratamientos con Fósforo, en el corte de octubre.