

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA ZOOTÉCNICA



“MEJORAMIENTO DE PASTIZALES CON LA APLICACIÓN DE DIFERENTES
NIVELES DE CALCIO Y AZUFRE EN LA HACIENDA ROCON - CANTÓN
CHAMBO”

TESIS DE GRADO
PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
INGENIERO ZOOTECNISTA

MAURICIO FERNANDO HIDALGO MAYORGA

RIOBAMBA – ECUADOR

2005

CONTENIDO

Página

	- 2 -
<u>LISTA DE CUADROS</u>	vii
<u>LISTA DE GRÁFICOS</u>	viii
<u>LISTA DE ANEXOS</u>	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	- 1 -
II. REVISIÓN DE LITERATURA	- 33 -
A. AGRICULTURA ANDINA	- 33 -
B. COMO ALIMENTAR LOS PASTIZALES	- 36 -
C. FERTILIZANTE	- 37 -
1. Generalidades	- 37 -
2. Componentes de los fertilizantes	- 40 -
3. Contenido de nutrientes	- 41 -
4. Para qué sirven	- 43 -
5. Identificación de la carencia de nutrientes	- 44 -
6. Abonos inorgánicos	- 45 -
a. Fosfatados	- 46 -
b. Nitrogenados	- 46 -
c. Potásicos	- 46 -
C. CICLOS BIOGEOQUÍMICOS	- 47 -
1. Ciclo del Nitrógeno	- 48 -
2. Ciclo del azufre	- 49 -
3. Ciclo del fósforo	- 51 -
D. EL AZUFRE	- 52 -
1. Características principales	- 52 -
2. Contenido total de azufre en el suelo	- 53 -
3. Procesos dinámicos de transformación del azufre	- 54 -

	- 3 -
a. Ciclo del azufre en los suelos	- 54 -
b. Oxidación y reducción	- 55 -
c. Movimiento y adsorción de sulfatos	- 55 -
4. Interacción del azufre con otros elementos	- 57 -
5. Fertilizantes que contienen azufre	- 58 -
a. Flor de azufre	- 58 -
b. Fertilizantes con Nitrógeno y Azufre	- 59 -
c. Fertilizantes con fósforo y azufre	- 60 -
d. Fertilizantes con potasio y azufre	- 61 -
6. El azufre en abonos orgánicos	- 64 -
7. Importancia del azufre en la producción de los cultivos	- 64 -
8. Deficiencia y toxicidad de azufre en los cultivos	- 66 -
9. El azufre en la nutrición de la planta	- 68 -
10. Estudios realizados con la utilización de azufre	- 69 -
E. EL CALCIO	- 70 -
1. Propiedades y estado natural	- 70 -
2. Aplicaciones	- 71 -
3. Papel del calcio en la planta	- 72 -
4. Síntomas de deficiencia en la planta	- 73 -
5. Calcio en el suelo	- 73 -
6. Fuentes de calcio	- 74 -
a. Nitrato de Calcio	- 75 -
b. Carbonato de calcio	- 76 -
7. Interacción del fósforo y el calcio	- 77 -
F. GRAMÍNEAS	- 79 -

	- 4 -
1. Generalidades	- 79 -
2. Importancia	- 81 -
3. Distribución y tamaño	- 82 -
G. LEGUMINOSAS	- 83 -
1. Generalidades	- 83 -
2. Características	- 83 -
H. MEZCLAS FORRAJERAS	- 84 -
1. Características	- 84 -
2. Ventajas de las mezclas forrajeras	- 85 -
III. MATERIALES Y MÉTODOS	- 87 -
A. LOCALIZACIÓN Y DURACIÓN DEL EXPERIMENTO	- 87 -
B. UNIDADES EXPERIMENTALES	- 87 -
C. MATERIALES EQUIPOS E INSTALACIONES	- 88 -
1. De campo	- 88 -
2. Fertilizantes	- 88 -
D. TRATAMIENTO Y DISEÑO EXPERIMENTAL	- 89 -
E. MEDICIONES EXPERIMENTALES	- 90 -
F. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS	- 91 -
G. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	- 92 -
1. De campo	- 92 -
2. Evaluaciones experimentales	- 92 -
a. Altura de la planta	- 92 -
b. Producción de forraje	- 93 -
c. Producción de materia seca	- 93 -
d. Composición botánica	- 93 -

	- 5 -
e. Análisis foliar para medir la tasa de extracción	- 94 -
IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	- 95 -
A. EFECTO DEL NIVEL DE CALCIO SOBRE EL COMPORTAMIENTO DE LA PRADERA	- 95 -
1. Primer Corte	- 95 -
a. Altura de las gramíneas según la edad de corte, cm	- 95 -
b. Altura de las leguminosas según la edad de corte, cm-	97 -
-	
c. Producción de Materia verde, Tn/ha	- 99 -
d. Producción de Materia seca, Tn/ha	- 102 -
e. Composición botánica de la pradera, %	- 103 -
2. Segundo Corte	- 105 -
a. Altura de las gramíneas según la edad de corte, cm	- 108 -
b. Altura de las leguminosas según la edad de corte, cm	- 109 -
c. Producción de Materia Verde (MV), Tn/ha	- 111 -
d. Producción de Materia seca, Tn/ha	- 113 -
e. Composición botánica de la pradera, %	- 116 -
3. Análisis químico foliar	- 118 -
a. Contenido de nitrógeno, %	- 118 -
b. Contenido de fósforo, %	- 120 -
c. Contenido de potasio, %	- 120 -
d. Contenido de calcio, %	- 121 -
e. Contenido de Azufre, %	- 121 -
B. EFECTO DEL NIVEL DE AZUFRE SOBRE EL COMPORTAMIENTO	

	- 6 -
DE LA PRADERA	- 122 -
1. Primer Corte	- 122 -
a. Altura de las gramíneas según la edad de corte, cm	- 122 -
b. Altura de las leguminosas según la edad de corte, cm	- 124 -
c. Producción de Materia verde, Tn/ha	- 126 -
d. Producción de Materia seca, Tn/ha	- 129 -
e. Composición botánica de la pradera, %	- 131 -
2. Segundo Corte	- 133 -
a. Altura de las gramíneas según la edad de corte, cm	- 133 -
b. Altura de las leguminosas según la edad de corte, cm	- 136 -
c. Producción de Materia verde, Tn/ha	- 138 -
d. Producción de Materia seca, Tn/ha	- 140 -
e. Composición botánica de la pradera, %	- 140 -
3. Análisis químico foliar	- 143 -
a. Contenido de nitrógeno, %	- 145 -
b. Contenido de fósforo, %	- 145 -
c. Contenido de potasio, %	- 145 -
d. Contenido de calcio, %	- 146 -
e. Contenido de Azufre, %	- 146 -
C. EFECTO DE LA COMBINACIÓN DE NIVELES DE CALCIO Y AZUFRE EN EL COMPORTAMIENTO DE LA PRADERA	- 146 -

1.	Primer Corte	- 147 -
a.	Altura de las gramíneas según la edad de corte, cm	- 147 -
b.	Altura de las leguminosas según la edad de corte, cm	- 149 -
c.	Producción de Materia verde, Tn/ha	- 150 -
d.	Producción de Materia seca, Tn/ha	- 151 -
e.	Composición botánica de la pradera, %	- 152 -
2.	Segundo Corte	- 154 -
a.	Altura de las gramíneas según la edad de corte, cm	- 154 -
b.	Altura de las leguminosas según la edad de corte, cm	- 156 -
c.	Producción de Materia verde, Tn/ha	- 157 -
d.	Producción de Materia seca, Tn/ha	- 158 -
e.	Composición botánica de la pradera, %	- 159 -
3.	Análisis químico foliar	- 160 -
a.	Contenido de nitrógeno, %	- 160 -
b.	Contenido de fósforo, %	- 162 -
c.	Contenido de potasio, %	- 162 -
d.	Contenido de calcio, %	- 163 -
e.	Contenido de Azufre, %	- 163 -
D.	TASA DE EXTRACCIÓN	- 164 -
E.	EVALUACIÓN ECONÓMICA	- 172 -
V.	CONCLUSIONES.....	- 174 -
VI.	RECOMENDACIONES.....	- 176 -
VIII.	BIBLIOGRAFÍA.....	- 21 -

VIII. ANEXOS - 8 -

VIII. ANEXOS

LISTA DE CUADROS

Nº		Pagina
1.	FERTILIZANTES AZUFRADOS	34
2.	FUENTES COMUNES DE CALCIO	46
3.	CONDICIONES METEOROLÓGICAS DE LA HACIENDA “ROCÓN, CANTÓN CHAMBO, PROVINCIA DE CHIMBORAZO	58
4.	ESQUEMA DEL EXPERIMENTO	61
5.	ESQUEMA DEL ADEVA	62
6.	EFECTO DEL NIVEL DE CALCIO SOBRE LA ALTURA DE PLANTA, PRODUCCIÓN DE FORRAJE Y COMPOSICIÓN BOTÁNICA DE PASTURAS DE GRAMÍNEAS Y LEGUMINOSAS EN EL PRIMER CORTE (Cantón Chambo – Provincia de Chimborazo)	67
7.	EFECTO DEL NIVEL DE CALCIO SOBRE LA ALTURA DE PLANTA, PRODUCCIÓN DE FORRAJE Y COMPOSICIÓN BOTÁNICA EN PASTURAS DE GRAMÍNEAS Y LEGUMINOSAS EN EL SEGUNDO CORTE (Cantón Chambo – Provincia de Chimborazo)	78
8.	EFECTO DEL NIVEL DE CALCIO SOBRE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA FOLIAR (%) EN PASTURAS DE GRAMÍNEAS Y LEGUMINOSAS DURANTE DOS CORTES CONSECUTIVOS (Cantón Chambo – Provincia de Chimborazo)	90
9.	EFECTO DEL NIVEL DE AZUFRE SOBRE LA ALTURA DE PLANTA PRODUCCIÓN DE FORRAJE Y COMPOSICIÓN BOTÁNICA DE PASTURAS DE GRAMÍNEAS Y LEGUMINOSAS EN EL PRIMER CORTE (Cantón Chambo – Provincia de Chimborazo)	94

10. EFECTO DEL NIVEL DE AZUFRE SOBRE LA ALTURA DE PLANTA, PRODUCCIÓN DE FORRAJE Y COMPOSICIÓN BOTÁNICA DE PASTURAS DE GRAMÍNEAS Y LEGUMINOSAS EN EL SEGUNDO CORTE (Cantón Chambo – Provincia de Chimborazo) 105
11. EFECTO DEL NIVEL DE AZUFRE SOBRE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA FOLIAR (%) EN PASTURAS DE GRAMÍNEAS Y LEGUMINOSAS DURANTE DOS CORTES CONSECUTIVOS (Cantón Chambo – Provincia de Chimborazo) 115
12. EFECTO DE LA COMBINACIÓN DEL NIVEL DE CALCIO Y AZUFRE SOBRE LA ALTURA DE PLANTA, PRODUCCIÓN DE FORRAJE Y COMPOSICIÓN BOTÁNICA DE PASTURAS DE GRAMÍNEAS Y LEGUMINOSAS EN EL PRIMER CORTE (Cantón Chambo – Provincia de Chimborazo) 119
13. EFECTO DE LA COMBINACIÓN DEL NIVEL DE CALCIO Y AZUFRE SOBRE LA ALTURA DE PLANTA, PRODUCCIÓN DE FORRAJE Y COMPOSICIÓN BOTÁNICA DE PASTURAS DE GRAMÍNEAS Y LEGUMINOSAS EN EL SEGUNDO CORTE (Cantón Chambo – Provincia de Chimborazo) 126
14. EFECTO DEL NIVEL DE CALCIO Y AZUFRE SOBRE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA FOLIAR (%) EN PASTURAS DE GRAMÍNEAS Y LEGUMINOSAS DURANTE DOS CORTES CONSECUTIVOS (Cantón Chambo – Provincia de Chimborazo) 132
15. ECUACIONES DE ESTIMACIÓN PARA MEDIR LA TASA DE EXTRACCIÓN DEL CALCIO Y AZUFRE EN FUNCIÓN DE VARIOS NIVELES DE ESTOS ELEMENTOS 136

16. ANÁLISIS ECONÓMICO (DÓLARES) DE LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE EN PASTURAS DE GRAMÍNEAS Y LEGUMINOSAS POR EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN CON DIFERENTES NIVELES DE CALCIO Y AZUFRE (Cantón Chambo – Provincia de Chimborazo)

LISTA DE GRÁFICOS

Nº		Pagina
1.	CURVAS DE CRECIMIENTO DE GRAMÍNEAS Y LEGUMINOSAS SIN FERTILIZACIÓN CON CALCIO PRIMER CORTE	71
2.	CURVAS DE CRECIMIENTO DE GRAMÍNEAS Y LEGUMINOSAS CON 1000 kg/ha DE FERTILIZACIÓN CON CALCIO PRIMER CORTE	71
3.	CURVAS DE CRECIMIENTO DE GRAMÍNEAS Y LEGUMINOSAS CON 2000 kg/ha DE FERTILIZACIÓN CON CALCIO PRIMER CORTE	71
4.	CURVAS DE CRECIMIENTO DE GRAMÍNEAS Y LEGUMINOSAS CON 3000 kg/ha DE FERTILIZACIÓN CON CALCIO PRIMER CORTE	71
5.	LÍNEA DE REGRESIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE MATERIA VERDE (Tn/ha) DE PASTIZALES EN FUNCIÓN DE LOS NIVELES DE CARBONATO DE CALCIO (0, 1000, 2000 Y 3000 Kg/ha), PRIMER CORTE	72
6.	LÍNEA DE REGRESIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA (Tn/ha) DE PASTIZALES EN FUNCIÓN DE LOS NIVELES DE CARBONATO DE CALCIO (0, 1000, 2000 Y 3000 Kg/ha), PRIMER CORTE	75
7.	COMPOSICIÓN BOTÁNICA Y LÍNEAS DE REGRESIÓN DE LA PRESENCIA DE GRAMÍNEAS, LEGUMINOSAS Y MALEZAS EN FUNCIÓN DE LOS NIVELES DE CARBONATO DE CALCIO (0, 1000, 2000 Y 3000 Kg/ha), PRIMER CORTE	77

8.	CURVA DE CRECIMIENTO DE GRAMÍNEAS Y LEGUMINOSAS SIN FERTILIZACIÓN CON CALCIO SEGUNDO CORTE	83
9.	CURVAS DE CRECIMIENTO DE GRAMÍNEAS Y LEGUMINOSAS CON 1000 kg/ha DE FERTILIZACIÓN CON CALCIO SEGUNDO CORTE	83
10.	CURVAS DE CRECIMIENTO DE GRAMÍNEAS Y LEGUMINOSAS CON 2000 kg/ha DE FERTILIZACIÓN CON CALCIO SEGUNDO CORTE	83
11.	CURVAS DE CRECIMIENTO DE GRAMÍNEAS Y LEGUMINOSAS CON 3000 kg/ha DE FERTILIZACIÓN CON CALCIO SEGUNDO CORTE	83
12.	LÍNEA DE REGRESIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE MATERIA VERDE (Tn/ha) DE PASTIZALES EN FUNCIÓN DE LOS NIVELES DE CARBONATO DE CALCIO (0, 1000, 2000 Y 3000 Kg/ha), SEGUNDO CORTE	84
13.	LÍNEA DE REGRESIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA (Tn/ha) DE PASTIZALES EN FUNCIÓN DE LOS NIVELES DE CARBONATO DE CALCIO (0, 1000, 2000 Y 3000 Kg/ha), SEGUNDO CORTE	86
14.	COMPOSICIÓN BOTÁNICA Y LÍNEAS DE REGRESIÓN DE LA PRESENCIA DE GRAMÍNEAS, LEGUMINOSAS Y MALEZAS EN FUNCIÓN DE LOS NIVELES DE CARBONATO DE CALCIO (0, 1000, 2000 Y 3000 Kg/ha), SEGUNDO CORTE	88
15.	CURVAS DE CRECIMIENTO DE GRAMÍNEAS Y LEGUMINOSAS SIN FERTILIZACIÓN CON AZUFRE PRIMER CORTE	98

16.	CURVAS DE CRECIMIENTO DE GRAMÍNEAS Y LEGUMINOSAS CON 20 kg/ha DE FERTILIZACIÓN CON AZUFRE PRIMER CORTE	98
17.	CURVAS DE CRECIMIENTO DE GRAMÍNEAS Y LEGUMINOSAS CON 30 kg/ha DE FERTILIZACIÓN CON AZUFRE PRIMER CORTE	98
18.	CURVAS DE CRECIMIENTO DE GRAMÍNEAS Y LEGUMINOSAS CON 40 kg/ha DE FERTILIZACIÓN CON AZUFRE PRIMER CORTE	98
19.	LÍNEA DE REGRESIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE MATERIA VERDE (Tn/ha) DE PASTIZALES EN FUNCIÓN DE LOS NIVELES DE AZUFRE (0, 20, 30 Y 40 Kg/ha), PRIMER CORTE	99
20.	LÍNEA DE REGRESIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA (Tn/ha) DE PASTIZALES EN FUNCIÓN DE LOS NIVELES DE AZUFRE (0, 20, 30 Y 40 Kg/ha), PRIMER CORTE	101
21.	COMPOSICIÓN BOTÁNICA Y LÍNEAS DE REGRESIÓN DE LA PRESENCIA DE GRAMÍNEAS, LEGUMINOSAS Y MALEZAS EN FUNCIÓN DE LOS NIVELES DE AZUFRE (0, 20, 30 Y 40 Kg/ha), PRIMER CORTE	103
22.	CURVAS DE CRECIMIENTO DE GRAMÍNEAS Y LEGUMINOSAS SIN FERTILIZACIÓN CON AZUFRE SEGUNDO CORTE	108
23.	CURVAS DE CRECIMIENTO DE GRAMÍNEAS Y LEGUMINOSAS CON 30 kg/ha DE FERTILIZACIÓN CON AZUFRE SEGUNDO CORTE	108
24.	CURVAS DE CRECIMIENTO DE GRAMÍNEAS Y LEGUMINOSAS CON 30 kg/ha DE FERTILIZACIÓN CON AZUFRE SEGUNDO CORTE	108

25.	CURVAS DE CRECIMIENTO DE GRAMÍNEAS Y LEGUMINOSAS CON 40 kg/ha DE FERTILIZACIÓN CON AZUFRE SEGUNDO CORTE	108
26.	LÍNEA DE REGRESIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE MATERIA VERDE (Tn/ha) DE PASTIZALES EN FUNCIÓN DE LOS NIVELES DE AZUFRE (0, 20, 30 Y 40 Kg/ha), SEGUNDO CORTE	110
27.	COMPOSICIÓN BOTÁNICA Y LÍNEAS DE REGRESIÓN DE LA PRESENCIA DE GRAMÍNEAS, LEGUMINOSAS Y MALEZAS EN FUNCIÓN DE LOS NIVELES DE AZUFRE (0, 20, 30 Y 40 Kg/ha), SEGUNDO CORTE	113
28.	CURVA DE REGRESIÓN AJUSTADA PARA EXTRACCIÓN DE CALCIO EN FUNCIÓN DEL NIVEL DE AZUFRE (kg/ha)	138
29.	CURVA DE REGRESIÓN AJUSTADA PARA EXTRACCIÓN DE Ca EN FUNCIÓN DEL NIVEL DE CALCIO (kg/ha)	139
30.	CURVA DE REGRESIÓN AJUSTADA PARA EXTRACCIÓN DE AZUFRE EN FUNCIÓN DEL NIVEL DE CALCIO (kg/ha)	141
31.	CURVA DE REGRESIÓN AJUSTADA PARA EXTRACCIÓN DE AZUFRE EN FUNCIÓN DEL NIVEL DE AZUFRE (kg/ha)	142

LISTA DE ANEXOS

Nº

1. Altura de gramíneas a los 30 días de edad en el primer corte, por efecto de la fertilización con diferentes niveles de calcio (0, 1000, 2000 y 3000 kg/ha) y azufre (0, 20, 30, 40 kg/ha) en pastizales de la Hacienda Rocón
2. Altura de gramíneas a los 45 días de edad en el primer corte, por efecto de la fertilización con diferentes niveles de calcio (0, 1000, 2000 y 3000 kg/ha) y azufre (0, 20, 30, 40 kg/ha) en pastizales de la Hacienda Rocón
3. Altura de gramíneas a los 60 días de edad en el primer corte, por efecto de la fertilización con diferentes niveles de calcio (0, 1000, 2000 y 3000 kg/ha) y azufre (0, 20, 30, 40 kg/ha) en pastizales de la Hacienda Rocón
4. Altura de gramíneas a los 30 días de edad en el segundo corte, por efecto de la fertilización con diferentes niveles de calcio (0, 1000, 2000 y 3000 kg/ha) y azufre (0, 20, 30, 40 kg/ha) en pastizales de la Hacienda Rocón
5. Altura de gramíneas a los 45 días de edad en el segundo corte, por efecto de la fertilización con diferentes niveles de calcio (0, 1000, 2000 y 3000 kg/ha) y azufre (0, 20, 30, 40 kg/ha) en pastizales de la Hacienda Rocón
6. Altura de gramíneas a los 60 días de edad en el segundo corte, por efecto de la fertilización con diferentes niveles de calcio (0, 1000, 2000 y 3000 kg/ha) y azufre (0, 20, 30, 40 kg/ha) en pastizales de la Hacienda Rocón
7. Altura de leguminosas a los 30 días de edad en el primer corte, por efecto de la fertilización con diferentes niveles de calcio (0, 1000, 2000 y 3000 kg/ha) y azufre (0, 20, 30, 40 kg/ha) en pastizales de la Hacienda Rocón
8. Altura de leguminosas a los 45 días de edad en el primer corte, por efecto de la fertilización con diferentes niveles de calcio (0, 1000, 2000 y 3000 kg/ha) y azufre (0, 20, 30, 40 kg/ha) en pastizales de la Hacienda Rocón

9. Altura de leguminosas a los 60 días de edad en el primer corte, por efecto de la fertilización con diferentes niveles de calcio (0, 1000, 2000 y 3000 kg/ha) y azufre (0, 20, 30, 40 kg/ha) en pastizales de la Hacienda Rocón
10. Altura de leguminosas a los 30 días de edad, en el segundo corte, por efecto de la fertilización con diferentes niveles de calcio (0, 1000, 2000 y 3000 kg/ha) y azufre (0, 20, 30, 40 kg/ha) en pastizales de la Hacienda Rocón
11. Altura de leguminosas a los 45 días de edad en el segundo corte, por efecto de la fertilización con diferentes niveles de calcio (0, 1000, 2000 y 3000 kg/ha) y azufre (0, 20, 30, 40 kg/ha) en pastizales de la Hacienda Rocón
12. Altura de leguminosas a los 60 días de edad en el segundo corte, por efecto de la fertilización con diferentes niveles de calcio (0, 1000, 2000 y 3000 kg/ha) y azufre (0, 20, 30, 40 kg/ha) en pastizales de la Hacienda Rocón
13. Producción de materia verde (Tn/ha) en el primer corte, por efecto de la fertilización con diferentes niveles de calcio (0, 1000, 2000 y 3000 kg/ha) y azufre (0, 20, 30, 40 kg/ha) en pastizales de la Hacienda Rocón
14. Producción de materia seca (Tn/ha) en el primer corte, por efecto de la fertilización con diferentes niveles de calcio (0, 1000, 2000 y 3000 kg/ha) y azufre (0, 20, 30, 40 kg/ha) en pastizales de la Hacienda Rocón
15. Producción de materia verde (Tn/ha) en el segundo corte, por efecto de la fertilización con diferentes niveles de calcio (0, 1000, 2000 y 3000 kg/ha) y azufre (0, 20, 30, 40 kg/ha) en pastizales de la Hacienda Rocón

16. Producción de materia seca (Tn/ha) en el segundo corte, por efecto de la fertilización con diferentes niveles de calcio (0, 1000, 2000 y 3000 kg/ha) y azufre (0, 20, 30, 40 kg/ha) en pastizales de la Hacienda Rocón
17. Presencia de gramíneas (%) en el primer corte, por efecto de la fertilización con diferentes niveles de calcio (0, 1000, 2000 y 3000 kg/ha) y azufre (0, 20, 30, 40 kg/ha) en pastizales de la Hacienda Rocón
18. Presencia de leguminosas (%) en el primer corte, por efecto de la fertilización con diferentes niveles de calcio (0, 1000, 2000 y 3000 kg/ha) y azufre (0, 20, 30, 40 kg/ha) en pastizales de la Hacienda Rocón
19. Presencia de malezas (%) en el primer corte, por efecto de la fertilización con diferentes niveles de calcio (0, 1000, 2000 y 3000 kg/ha) y azufre (0, 20, 30, 40 kg/ha) en pastizales de la Hacienda Rocón
20. Presencia de gramíneas (%) en el segundo corte, por efecto de la fertilización con diferentes niveles de calcio (0, 1000, 2000 y 3000 kg/ha) y azufre (0, 20, 30, 40 kg/ha) en pastizales de la Hacienda Rocón
21. Presencia de leguminosas (%) en el segundo corte, por efecto de la fertilización con diferentes niveles de calcio (0, 1000, 2000 y 3000 kg/ha) y azufre (0, 20, 30, 40 kg/ha) en pastizales de la Hacienda Rocón
22. Presencia de malezas (%) en el segundo corte, por efecto de la fertilización con diferentes niveles de calcio (0, 1000, 2000 y 3000 kg/ha) y azufre (0, 20, 30, 40 kg/ha) en pastizales de la Hacienda Rocón
23. Contenido de nitrógeno (%) en los pastizales de la Hacienda Rocón, por efecto de la fertilización con diferentes niveles de calcio (0, 1000, 2000 y 3000 kg/ha) y azufre (0, 20, 30, 40 kg/ha)

24. Contenido de fósforo (%) en los pastizales de la Hacienda Rocón, por efecto de la fertilización con diferentes niveles de calcio (0, 1000, 2000 y 3000 kg/ha) y azufre (0, 20, 30, 40 kg/ha)
25. Contenido de potasio (%) en los pastizales de la Hacienda Rocón, por efecto de la fertilización con diferentes niveles de calcio (0, 1000, 2000 y 3000 kg/ha) y azufre (0, 20, 30, 40 kg/ha)
26. Contenido de calcio (%) en los pastizales de la Hacienda Rocón, por efecto de la fertilización con diferentes niveles de calcio (0, 1000, 2000 y 3000 kg/ha) y azufre (0, 20, 30, 40 kg/ha)
27. Contenido de azufre (%) en los pastizales de la Hacienda Rocón, por efecto de la fertilización con diferentes niveles de calcio (0, 1000, 2000 y 3000 kg/ha) y azufre (0, 20, 30, 40 kg/ha)

VIII. BIBLIOGRAFÍA

1. ALTIERI, M. 1995. Agroecología. Bases Científicas para una Agricultura Sustentable. 2 ed. Perú. Pp10-23
2. AVILAN; R., L. y I. de ROJAS. 1975. Evaluación de niveles de azufre en la serie de suelos Barinas. Agron. Trop., 25: 149-161.
3. BEATON, J. 1996. Sulfur requirements of cereals, tree fruits, vegetables and other crops. Soil Science 101: 267-282.
4. BENITEZ, R. 1980. Pastos y forrajes. Quito, Ecuador. Universitaria. 20pp.
5. BLAIR, G. 1979. Sulfur in the tropics. IFDC Technical Bulletin T-12,69pp.
6. BORNEMISZA, E. 1990. Problemas del azufre en los suelos y cultivos de mesoamérica. Ed Univ. Costa Rica. Editorial de la Universidad de Costa Rica. 104 pp.
7. BROIMFIELD, A. 1973. J. Agri. Sci and Expl. Agric., 9, 55.
8. CAPELO, W y JIMÉNEZ, J. 1992. Pastos y forrajes. Gramíneas y Leguminosas de clima templado frío. Edit. Gutemberg. Riobamba, Ecuador. ESPOCH.

9. COLEMAN, R. 1966. The importance of sulphur as a plant nutrient in world crop production. *Soil Science* 101: 230-239.
10. COUTO, L. LATHWELL, T. Y BOULDIN, N. 1979. Sulfur in the tropics. Technical Bulletin T-12,69pp
11. CHANDLER, V. 1967. El manejo intensivo de forrajeras tropicales en Puerto Rico. Univ. de Puerto Rico. Bol. 202.. 66-68.
12. CHANG, T. 1963. Sulfur requirements of cereals, tree fruits, vegetables and other crops. *Soil Science* 101: 267-282.
13. DINAH DE MERAZ. 2004. Tusplantas.com - Diseño y jardines. Univision Online © 2004 Univision.com.
<http://www.tusplantas.com/contenidos/diseno/index.cfm?p=65>
14. DUTHIL, H. 1980. Producción de forrajes. 3ª ed. Edit. Mundi Prensa. Madrid, España. 10pp
15. ENCARTA. 2004. Biblioteca de Consulta Microsoft ® Encarta ® 2004. © 1993-2003 Microsoft Corporation.
16. ERASMUS, I. y SUD. A. 1976. Effect of commercial fertilizers on the natural grassland on deep alluvial soil in the Ambala Swaliks. *Herbage Abstr.* 46: 431.

17. ESPEJO, G. 1996 Suelo ganadero. Fedegan - CICADEP. Sibundoy- Putumayo 36 p.
18. FASSBENDER, H. 1982. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Ed IICA. 398 pp.
19. FERTILIZANTES PASA. Febrero 2001. Características Generales de los Fertilizantes. Publicación Fertilizantes PASA. http://www.fcagr.unr.edu.ar/catedras/mdt/UFMS/caracteristicas_fert.htm
20. FOX, R.; ASGHAR, M.; CABLE, W. 1983. Sulfate accretion in soils of te tropics. In Blair, G.J. and Till, A.R., Eds. Sulfur in S.E. Asian and S. Pacific Agriculture. Armidale, Australia. University of New England. Pp 39-53.
21. GARZA T. 1971. Respuesta de gramas nativas a la fertilización de nitrógeno, fósforo y potasio en el trópico húmedo. Técnica Pecuaria en México No. 18: 54-61.
22. GRIJALVA, J. 1995. Producción de pastizales en la Región Interandina del ecuador. Manual N° 30. INIAP. Estación Experimental Santa Catalina. Quito, Ecuador.
23. GUERRERO, J. Y TELLO, L. 2002. Efecto de la aplicación de azufre en

los cultivos de cebolla y papa bajo condiciones de campo. Anales Científicos UNALM. Pp 323-339

24. GUZMÁN, A. 2003. Introducción de alfalfa en praderas establecidas bajo el efecto de diferentes niveles de encalado. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad de Cuenca. 20p
25. HAGSTROM, G. 1986. Fertilizer sources of sulfur and their uses. In: sulfur in agriculture, M.A. Tabatabai (ed). ASA Agronomy N° 27, Madison USA, 588 pp.
26. HUEBLA, V. 2001. Producción de semilla de dos especies forrajeras altoandinas (holco y poa) con diferentes niveles de fertilización a base de N y P. Tesis de Grado. Facultad de Ciencias Pecuarias, ESPOCH. Riobamba, Ecuador. Pp 35-49.
27. INDUS (s/a). Superfos-24; el abono fosfatado de gran poder residual. Fabricantes de abonos Compuestos Granulados y Superfosfatos, Folleto divulgativo.
28. JONES, M. 1996. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 32, 535.
29. JONES, M. y QUAGLIATO, J. 1970. Respostas de quatro leguminosas tropicais a da alfalfa a vários niveis de enxofre. Pesquisa Agropecuaria Brasileira. 5: 359-363.

30. KAMPRATH, E., y TILL, A. 1983. Sulfur cycling in the tropics. In Blair, G.J and Till, A.R., Eds Sulfur in S.E. Asian and S. Pacific Agriculture. Armidale, Australia, Univ. of New England. 324 pp.
31. KANWAR, J. Y MUDABAR, M. 1986. Fertilizer sulfur and food production M. Nijhoff/ Dr. w. Junk Publ. Dordrecht, Holland, 247 pp.
32. LAISSUS, R. y MARTY, J. 1974. Changes in the flora and yield of a permanent pasture during 15 years use. investigation of N fertilizer on natural grassland. Compendiado en Herbage Abstr. 44: 97
33. LEON, L. 1974. Pastos y Forrajes en la alimentación bovina. México DF. Limusa. Pp 25-50
34. LESCANO, C. 1982 Factores edáficos y climáticos que intervienen en el consumo y selección de plantas forrajeras bajo pastoreo. Cali Colombia. 22-24 Sept. 1982 PP 49-80.
35. LI, P. y CALDWELL, A. 1996. The oxidation of elemental sulfur in soil. Soil Science Society of America Proceeding. 30: 370-372.
36. LUCCA, C. A. 1998. Respuesta de una pastura de alfalfa al encalado y fertilización con fósforo y molibdeno, y su efecto sobre las propiedades edáficas relacionadas. Trabajo Final de Graduación. UNER. Oro verde. 46 p.

37. LLUMIQUINGA, R. 2003. Renovación de Pastizales agostados con labranza mínima y diferentes niveles de fertilización sobre una mezcla forrajera base. Tesis de Grado. Facultad de Ciencias Pecuarias, ESPOCH. Riobamba, Ecuador. Pp 47-62
38. MAG (ministerio de Agricultura y Ganadería). 2004. Anuarios Meteorológicos. Estación Meteorológica del MAG-Guaslán.
39. MALAVOLTA, E. 1976. Manual de química agrícola. Nutrición de plantas y fertilidad del suelo. Editora Agronómica Ceres Ltda. Sao Paulo, Brasil.
40. MEDINA, M. 1999. Evaluación fonológica del pasto llorón, *Eragrostis curvula* con diferentes niveles de nitrógeno y una base estándar de fósforo y potasio. Tesis de Grado. Facultad de Ciencias Pecuarias, ESPOCH. Riobamba, Ecuador. Pp 30 – 42.
41. MENGEL K. and KIRKBY E. 1982. Principles of plant nutrition. Publisher Internacional Potash Institute. 623 pp.
42. MONREAL, L. 1988. Biblioteca práctica agrícola y ganadera. Edit. Océano. Barcelona, España.
43. NAVARRO, A. y PADDA, D. 1983. Effects of sulfur, phosphorus and nitrogen application on the growth and yield of sweet potatoes grown

on Fredensborg clay loam. Journal of agriculture of the University of Puerto Rico. 67: 108-111.

44. OLSEN, F. y SANTOS G. 1975. Effects of Time and fertilizer on natural pastures In Brazil. Experimental Agriculture 11: 173-176.
45. PEARSON, R.W.; ABRUÑA, F.; VICENTE-CHANDLER, J. 1962. Effect of lime and nitrogen applications on downward movement of calcium and magnesium in two humid tropical soils of Puerto Rico. Soil Science 93: 77-82.
46. PROBERT, M. y SAMOSIR, S. 1983. Sulfur in non-flooded tropical soils. In Blair, G.J. and Till, A.R., Eds, Sulfur in S.E. Asian and S. Pacific Agriculture. Armidale, Australia, Univ. of New England. pp 15-27.
47. RAMON E., J. 1976. Fertilizer trials on natural pasture in Santander. Compendiado en Herbage Abstr. 46 (12): 448.
48. ROBINSON, P. and JONES, R. 1972. The effect of phosphorus and sulphur fertilization on the growth and distribution of dry matter, nitrogen, phosphorus and sulphur in Townsville stylo (*Stylosanthes humilis*). Aust. J. Agric. Res. 23: 533-640.
49. RUIZ, R. 1999. Aspectos Básicos para la producción de semillas de pastos. Boletín Divulgativo N° 83, INIAP. Ecuador.

50. RUSSELL, H. 1992. El manejo intensivo de forrajeras tropicales en Puerto Rico. Univ. de Puerto Rico. Bol. 202. p. 66-68.
51. SHIRLEY, R. y PADGETT, D. 1978. El azufre en la nutrición de los rumiantes. Simposio Latinoamericano sobre Investigaciones en nutrición mineral de los rumiantes en pastoreo. Gainesville. Univ. de Florida. p. 77-84.
52. STEINHARDT, U, y FASSBENDER, H. 1979. Características y composición química de las lluvias de los Andes Occidentales de Venezuela. Turrialba 29: 175-182.
53. TEITZEL, J. y BRUCE R. 1972. Fertility studies of pasture soil in the wet tropical coast of Queensland. 4. Soils derived from metamorphic rocks. Austr. J. Exp. Agr. and Anim. Husb. 12: 281-287.
54. TEJOS M., RONY. 1979. Efecto del nitrógeno y fósforo sobre la producción de forraje de una sabana. Agron. Trop., 29: 205-218.
55. URBANO, N. Y ROJO, N. 1992. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas Ediciones Mundi-Prensa. 1045 pp
56. VELÁSQUEZ, A. 1997. Ecología. Ciclos Biogeoquímicos.
<http://www.monografias.com/trabajos15/ciclos-biogeoquimicos/ciclos-biogeoquimicos.shtml>

57. VILLAGARCIA, S. 1997. Fertilidad, manejo de suelos y nutrición mineral del azufre bajo diversas condiciones de clima, suelo, cultivos y nivel tecnológico de la agricultura andina. Cuadros resumen de los resultados experimentales de campo, invernadero y laboratorio durante la campaña 1996/1997. 152 pp.

58. VIVAS, H., GUAITA, S., Y QUAINO, O. 1999. Interacción del fósforo y el calcio en la producción de alfalfa. Departamento Las Colonias. 1997/98. Información Técnica nº 231. INTA EEA Rafaela. <http://rafaela.inta.gov.ar/publicaciones/informac231.htm>

59. SITIOS DE INTERNET

Wikipedia. 2005. Azufre. Wikipedia, la enciclopedia libre.

<http://www.tecnociencia.es/mediawiki/index.php/Azufre>,

<http://es.wikipedia.org/>

www.agrositio.com. 2005. Características de las Principales Gramíneas Forrajeras.

<http://www.agrositio.com/secciones/forrajes/mezclas/gramineas.htm>

www.elsitioagricola.com 2005. Fuentes comunes de calcio.

www.gatfertilizados.com/05/05cont.html. Contenido de nutrientes.

www.icarito.cl. 2005. El fertilizante. La Red de Icarito.

<http://icarito.latercera.cl/icarito/2000/762/links/ferti.html>

www.iespana.es. 2005. Agricultura - Suelos: Acondicionamiento - 3ª parte. http://www.iespana.es/natureduca/agro_suelos_acond3.htm

I. INTRODUCCIÓN

La tierra sana es una combinación de minerales, piedras, agua, aire, materia orgánica (residuos de plantas y animales), microorganismos, incluyendo bacterias, hongos y protozoarios y una variedad de insectos y gusanos. Esta intrincada red lleva a cabo un proceso que continuamente llena la tierra y mantiene su fertilidad a largo plazo.

Para el crecimiento sostenido de las plantas, éstas requieren macro-nutrientes y rastros de elementos. Los macro-nutrientes incluyen nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), y azufre (S). Los rastros de elementos incluyen hierro (Fe), manganeso (Mn), cobre (Cu) y zinc (Zn); en cambio para el crecimiento óptimo de las plantas, la tierra debe ser capaz de almacenar estos nutrientes y transportarlos hacia la superficie de las raíces para que las plantas los tomen.

Siendo las plantas el principal alimento de los animales, es necesario tener una alta producción de materia seca de pastos, ya que estos constituyen la base alimenticia de las explotaciones lecheras y de carne de varias regiones de nuestro país. Tienen también exigencias de nutrientes, que en las actuales condiciones de producción, éstos deben ser aportados por el suelo.

Asimismo, en los planteamientos de alta producción el aprovechamiento de pastoreo es el máximo y poco lo que retorna al suelo en forma de residuos, que

son los que liberarán los nutrientes disponibles para los pastos.

Con el transcurrir de las campañas el empobrecimiento del suelo se acentuará cada vez más, llegando en algunas situaciones a tener que devolver al suelo otros nutrientes que se pierden del mismo, con la materia seca, la leche o la carne producidas.

El elemento Calcio es absorbido por las plantas en forma del catión Ca^{++} . Una vez dentro de la planta, el Ca funciona en varias formas; un síntoma común de la deficiencia de Ca es un pobre crecimiento de las raíces. Las raíces con deficiencia de Ca se tornan negras y se pudren. Las hojas jóvenes y otros tejidos nuevos desarrollan síntomas debido a que el Ca no se trasloca dentro de la planta. Los tejidos nuevos necesitan Ca para la formación de sus paredes celulares, por lo tanto la deficiencia de Ca causa que los filos de las hojas y que los puntos de crecimiento sean gelatinosos.

Las deficiencias de Ca casi nunca se muestran en el campo, debido a que los efectos de condiciones secundarias, como una alta acidez, limitan primero el crecimiento de la planta. Las deficiencias ocurren más comúnmente en los cultivos de maní y hortalizas.

Respecto del azufre, este nutriente es uno de los 16 elementos esenciales para el crecimiento y el desarrollo de los pastos; se lo denomina macronutriente secundario o mesonutriente, debido a las menores cantidades requeridas por los cultivos en relación, por ejemplo, con el N, P o K.

Por lo anotado, se plantearon los siguientes objetivos:

1. Incrementar la producción de Forraje de los agostaderos mediante la adición de carbonato de calcio para obtener un pH neutro donde se desarrollen mejor los pastizales, con un sistema mínimo de labranza.
2. Encontrar el nivel adecuado de azufre para optimizar la producción.
3. Encontrar los niveles donde se pueda tener producciones económicamente rentables

II. REVISIÓN DE LITERATURA

A. AGRICULTURA ANDINA

Las naciones están enfrentadas a la disyuntiva del desarrollo; las presiones políticas e intereses económicos a corto plazo rigen los patrones de crecimiento, los cuales se fundamentan en el incremento de la utilización de insumos materiales y de energía, esto, más la creciente contaminación del medio ambiente, conducen a colapsar los ecosistemas. (Ramírez, 1996, citado por Medina, 1999)

La presión para obtener más tierras para cultivo, conduce a la deforestación 0,61% del total mundial y para el año 2000 en las selvas tropicales de América Latina la extinción de especies puede alcanzar alrededor del 10% de la existencia total, que representa entre 30.000 y 100.000 especies (BID-PNUD,1990, citado por Medina, 1999).

Dada la heterogeneidad de los ecosistemas naturales y sistemas agrícolas la diferenciada pobreza rural en América Latina, es claro que no puede existir un tipo único de intervención tecnológica para el desarrollo; las soluciones deben diseñarse de acuerdo a las necesidades y aspiraciones de las comunidades, así como las condiciones biofísicas y socioeconómicas imperantes (Estrada, 1996, citado por Medina, 1999).

En nuestro país el sector agropecuario constituye un importante factor de

desarrollo socioeconómico, sin embargo, la atención estatal ha sido limitada a pesar de la natural riqueza y creciente potencialidad que encierra. La producción sostenible se deriva del balance apropiado de los suelos, cultivos, nutrientes, luz solar, humedad y de los sinergismos entre organismos existentes. El agro ecosistema es productivo cuando este balance y las condiciones óptimas prevalecen y cuando las plantas cultivadas son resistentes para tolerar el estrés y la adversidad. Alteraciones ocasionales se pueden superar con un agro ecosistema vigoroso, adaptable y lo suficientemente diversificado para recuperarse una vez que el estrés haya pasado (IIRR, 1996, citado por Medina, 1999).

Altieri (1995), citado por Medina (1999), indica que en este sentido, la agricultura tradicional Andina ofrece un gran potencial para desarrollar una estrategia agroecológica dado que:

- La región andina es uno de los grandes centros de origen y domesticación de numerosas plantas alimenticias (granos, leguminosas, tubérculos, raíces y frutales), constituyéndose un repositorio de material fitogenético de importancia única y trascendental;
- Los grupos étnicos poseen una extraordinaria capacidad de organización familiar, cultural, social y política puesta directamente al servicio de la producción agropecuaria;
- La mayoría de los campesinos poseen una gran técnica para la

utilización integral, intensiva y sostenida del espacio disponible para fines agropecuarios; poseyendo sistemas tradicionales de clasificación de suelos y variedades, así como sistemas de predicción del clima basándose en indicaciones naturales.

Rengifo (1987), citado por Medina (1999), señala que para enfrentar las limitantes biofísicas del ambiente andino tales como lluvias irregulares, topografía desfavorable, suelos pobres, extremos climáticos, etc., los campesinos han desarrollado a través de los siglos un estilo andino de agricultura que presenta los siguientes rasgos:

- La artificialización del sistema natural es un proceso de transformación biológico y edáfico, orientado no sólo a extraer el máximo de excedentes al corto plazo, sino también para mantener la productividad en el largo plazo.
- El objetivo de la intensificación de las cosechas es la seguridad alimentaria.
- Las labranzas del suelo, en sus diferentes sistemas evitan que se produzca la degradación del suelo y desajustes ambientales mayores.
- La presencia de numerosos cultivares y variedades distribuidas en microparcels en diferentes pisos ecológicos.

- La práctica de asociar y rotar cultivos en una misma parcela es común y se considera eficiente desde el punto de vista agronómico, pues las especies que se asocian y otras que rotan tienen diferentes requerimientos de nutrientes. Al mismo tiempo, es una manera de reciclar nutrientes, en particular en terrenos comunitarios que descansan, luego de un período de uso agrícola.
- El período de descanso es necesario en estas condiciones para recuperar materia orgánica, lo cual se logra además introduciendo ganado que utiliza los pastos naturales devolviendo con sus deyecciones materia orgánica para fertilidad del suelo.

B. COMO ALIMENTAR LOS PASTIZALES

Monreal (1988), indica que los pastizales están compuestos de plantas, la nutrición de las plantas es la nutrición de los pastizales. Por consiguiente, las plantas requieren nutrientes para las diferentes actividades tales como:

- Crecimiento, incluyendo la formación de nuevas células por división y crecimiento de las células existentes.
- Producción de sustancias de la planta tales como celulosa, almidón, azúcares, proteínas, grasas y enzimas.
- Absorción de agua y elementos minerales del suelo.
- Crecimiento de raíces, hojas y tallos.
- Movimiento de alimentos minerales y agua a través de la planta.

- Reproducción.
- Mantenición de la planta viva aunque no esté realizando otro trabajo que el de existir (respiración).

Un pastizal no puede producir a su límite máximo a menos que sea alimentado adecuadamente. Los aspectos para ayudar a la nutrición de la pradera son:

- Manipular el uso de las plantas de tal forma que se lleve a cabo una fotosíntesis adecuada para proveer suficiente alimento para raíces, hojas y tallos para su crecimiento y adecuado funcionamiento.
- Establecer un predominio de plantas que sean eficientes en el uso del agua.
- Manipular la vegetación de tal forma que se asegure un almacenamiento adecuado de energía o carbohidratos.
- Proveer una cantidad adecuada de materia orgánica en el suelo para lograr la mayor infiltración posible del agua lluvia.
- Establecer un predominio de plantas con una alta eficiencia fisiológica.
- Fertilizar cuando sea necesario y cuando sea posible, de acuerdo al nivel productivo de la pradera.

C. FERTILIZANTE

1. Generalidades

Duthil (1980), anotó que uno de los aspectos de mayor importancia para el

mantenimiento de los pastos es la fertilización. Experiencias en otros países y del Ecuador han demostrado que la fertilización de pastos es efectiva y económica.

Monreal (1988), reportó que hay pruebas evidentes que sin una fertilización no se puede obtener cantidades ni calidades adecuadas en el cultivo vegetal. Es importante la preparación del suelo, la estructura del mismo y la actividad microbiana.

Grijalva (1995), argumenta que el mantenimiento de la fertilidad del suelo depende del empleo adecuado de fertilizantes y del manejo del pastizal, siendo beneficiosa la presencia de leguminosas si se requiere elevar la fertilidad del suelo, pues estas desempeñan un papel importante en la economía de la fertilización de las praderas. El propósito principal de la fertilización es aumentar el rendimiento de la pradera, procurando minimizar el costo por unidad de producción de materia seca del pasto. Esto se obtiene primeramente con la disminución del costo de fertilización incluyendo el precio de compra y el costo de aplicación del fertilizante y en segundo término con el incremento en la eficiencia de uso de nutrientes por la planta.

En la página www.icarito.cl (2005), se señala que el Fertilizante o Abono es la sustancia o mezcla química natural o sintética utilizada para enriquecer el suelo y favorecer el crecimiento vegetal. Las plantas no necesitan compuestos complejos, del tipo de las vitaminas o los aminoácidos, esenciales en la nutrición humana, pues sintetizan todos los que precisan. Sólo exigen una

docena de elementos químicos, que deben presentarse en una forma que la planta pueda absorber.

De entre los nutrientes necesarios, el aire y el agua aportan hidrógeno, oxígeno y carbono en cantidades inagotables. Casi todos los suelos encierran abundancia de azufre, calcio, hierro y otros nutrientes esenciales.

El calcio suele añadirse al suelo, pero su función primordial es reducir la acidez, no actuar como fertilizante en sentido estricto. El nitrógeno se halla presente en la atmósfera en cantidades enormes, pero las plantas no pueden utilizarlo de esta forma; ciertas bacterias proporcionan a las plantas de la familia de las Leguminosas el nitrógeno necesario, que toman del aire y lo transforman mediante una serie de reacciones llamadas de fijación de N.

Desde la antigüedad se usan muchos fertilizantes que contienen uno o varios elementos valiosos para el suelo. Así, el estiércol y el guano contienen nitrógeno, los huesos contienen pequeñas cantidades de nitrógeno y son ricos en fósforo, las cenizas de madera encierran cantidades apreciables de potasio (la proporción depende del tipo de madera).

El trébol, la alfalfa y otras leguminosas se intercalan con otras especies en un régimen rotativo y luego se trabajan con el arado para enriquecer el suelo en nitrógeno.

Aunque esenciales para la agricultura moderna, el abuso de los fertilizantes

puede ser nocivo para las plantas, los cultivos y el suelo. Además, la lixiviación de los nutrientes puede causar contaminación del agua y alteraciones como la eutrofización o desarrollo excesivo de la vegetación.

2. Componentes de los fertilizantes

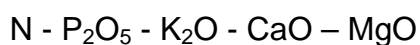
Dinah de Meraz (2004), indica que hay muchos tipos de fertilizantes y con diferentes proporciones en sus componentes. Los componentes básicos de cualquier fertilizante son nitrógeno, fósforo y potasio. La diferencia entre unos y otros está en las proporciones utilizadas de cada uno de estos componentes, así: Un fertilizante 20-20-20 tiene iguales proporciones de nitrógeno, fósforo y potasio. El 5-10-5 indica mayor proporción de fósforo. Los fertilizantes también contienen otros nutrientes como hierro, magnesio, calcio, zinc y sulfuros.

En www.icarito.cl (2005), se reporta que suele describirse como fertilizante completo cualquiera que contenga los tres elementos; la composición se codifica con ayuda de tres números. Así, un 5-8-7 es un abono que contiene un 5% de nitrógeno, un 8% de fósforo (calculado en forma de pentóxido de fósforo) y un 7% de potasio (como óxido de potasio).

3. Contenido de nutrientes

En <http://www.iespana.es> (2005), se indica que la falta de nutrientes es un grave problema de los suelos que afecta directamente a su productividad. Todas las plantas necesitan para su crecimiento una serie de elementos químicos en mayor o menor cantidad, aunque existen una serie de ellos imprescindibles, tales como el nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, azufre y magnesio. Otras sustancias existentes en el suelo en pequeñas cantidades como el cobre, boro, cinc y manganeso también son necesarias para un correcto crecimiento de la mayoría de plantas. La mayoría de los suelos encierran algunos nutrientes en abundancia, como el azufre, hierro o calcio. Por su parte, el hidrógeno, oxígeno y carbono son nutrientes necesarios para las plantas, pero que reciben en cantidades prácticamente inagotables a través del agua y el aire.

Www.gatfertilizadores.com (2005), reporta que las riquezas del fertilizante se expresan como porcentaje en peso (% p/p) en el siguiente orden:



1% del nutriente en la fórmula = 10 kg del nutriente en 1 tonelada de abono =
10 g del nutriente en 1 kg de abono = 10 000 p.p.m. del nutriente

Respecto a cada uno de los elementos, el aporte en los fertilizantes se calcula de la siguiente manera:

Nitrógeno: Las unidades de nitrógeno en el fertilizante se expresan como porcentaje en peso de nitrógeno puro: N

Fósforo: Las unidades de fósforo en el fertilizante se expresan como porcentaje en peso de pentóxido de fósforo (o anhídrido fosfórico): P_2O_5

1 kg de P_2O_5 = 0.437 kg de P puro

1 kg de P puro = 2.288 kg de P_2O_5

Potasio: Las unidades de potasio en el fertilizante se expresan como porcentaje en peso de óxido de potasio: K_2O

1 kg de K_2O = 0.83 kg de K puro

1 kg de K puro = 1.204 kg de K_2O

Calcio: Las unidades de calcio en el fertilizante se expresan como porcentaje en peso de óxido de calcio: CaO

1 kg de CaO = 0.714 kg de Ca puro

1 kg de Ca puro = 1.399 kg CaO

Magnesio: Las unidades de magnesio en el fertilizante se expresan como porcentaje en peso de óxido de magnesio: MgO

1 kg de MgO = 0.603 kg de Mg puro

1 kg de Mg puro = 1.658 kg de MgO

4. Para qué sirven

Dinah de Meraz (2004), indica que los componentes de los fertilizantes cumplen las siguientes funciones:

- **El nitrógeno** es un elemento vital para las plantas, tan importante como las proteínas para el organismo. Cuando falta nitrógeno en las plantas las hojas se ponen amarillas y dejan de crecer.

- **El fósforo** les da la fuerza necesaria para mantenerse rígidas y poder sostener todas sus partes. También promueve el buen desarrollo de las raíces y fortalece el ciclo de cada planta. La falta de fósforo se reconoce porque las hojas se oscurecen más de lo normal. La planta deja de florecer o florece muy poco. Las raíces dejan de crecer.

- **El potasio** es un elemento indispensable para la fotosíntesis de las plantas, sin este elemento, la planta no puede cumplir su ciclo normalmente. Sin potasio, las hojas muestran severos cambios de color que pueden ser en tonalidades amarillentas o verde muy pálido con manchas cafés. Las plantas también muestran algunos cambios cuando les falta algún otro componente como zinc, hierro, magnesio, calcio y otros.

5. Identificación de la carencia de nutrientes

En <http://www.iespana.es> (2005), se señala que el simple abono como cualquier fertilizante compuesto sin conocer las necesidades de las plantas en cuanto a un nutriente específico, puede concluir con un desarrollo inadecuado, por eso es conveniente analizar previamente cual es el nutriente que necesitan y así elegir el tipo de abono correcto. Observando las plantas podemos intuir de que elementos carecen, así:

- La **falta de nitrógeno** presenta hojas débiles y de colores verde-amarillentas, se corrige aplicando abonos nitrosos; éste puede ser absorbido por las plantas también en cualquiera otra forma de presentación, tal como compuestos de amonio, amoníaco puro o urea. Aunque el nitrógeno está presente en la atmósfera en grandes cantidades, las plantas no pueden utilizarlo de esta forma sin transformarlo previamente. Una forma de aportar nitrógeno a los suelos sin utilizar fertilizantes, es mediante el cultivo de plantas leguminosas, como la judía, el trébol o la alfalfa, las cuales tienen la capacidad de fijar el nitrógeno en el suelo mediante una serie de reacciones químicas; tras la cosecha de estas plantas dispondremos de un suelo rico en nitrógeno y preparado para un nuevo cultivo.
- La **falta de magnesio** presenta hojas de colores entre blancos y amarillos con manchas marrones, y puede ser corregido pulverizando sulfato de magnesio.

- La **falta de fósforo** se manifiesta sobre todo en las flores, las cuales se secan prematuramente, además de que tardan en formarse y abrirse; se corrige abonando después de la floración con superfosfato de cal.

- La **falta de potasio** se manifiesta en la forma y color de las hojas, las cuales se doblan por su borde, se quedan pequeñas y amarillean hasta tornarse grises. Si la falta de potasio persiste, estos síntomas progresan hasta que alcanzan la parte superior de la planta.

- La **falta de boro** se manifiesta mediante hojas verdes en el centro, que después se tornan amarillas y marrones por los bordes; y en las flores, que tardan en abrirse. Se corrige abonando con boro antes de la caída de la hoja, y pulverizando con borato sódico

6. Abonos inorgánicos

<http://www.iespana.es> (2005), reporta que los abonos inorgánicos o sintéticos, aunque se asimilan más rápidamente que los orgánicos, para la práctica de la agricultura biológica no gozan de la misma aceptación. Los efectos de los abonos sintéticos pueden llegar a ser poco deseables, pues la rápida asimilación de los suelos obliga en muchas ocasiones a depender de estas sustancias mediante aportes continuos. Además, las bacterias encargadas de que las plantas puedan asimilar los nutrientes del suelo, pueden desaparecer por la aplicación desmedida de estos abonos. En base a los elementos que contienen, los abonos se dividen en: fosfatados, nitrogenados y potásicos.

a. Fosfatados

Los abonos fosfatados están compuestos por los fosfatos naturales de los huesos, las escorias procedentes de la desfosforación, la apatita (fosfato de flúor y calcio), etc. Estos abonos son de absorción más lenta que los superfosfatos (fosfatos ácidos de cal), mucho más solubles y de rápidos efectos. Los abonos fosfatados se utilizan para acondicionar terrenos pobres, y en el cultivo de cereales y leguminosas (<http://www.iespana.es>, 2005).

b. Nitrogenados

Los abonos nitrogenados se dividen a su vez en tres grupos: los que tienen como base el nitrógeno combinado con el oxígeno, ejemplo de los nitratos de sosa (o nitratos de Chile), cal, potasa, etc.; los que tienen como base el nitrógeno amoniacal, ejemplo de sulfato amónico y las aguas amoniacales; y aquellos otros cuya base es nitrógeno orgánico no soluble, ejemplo de los guanos y turtós, que deben ser transformados previamente en alguno de los tipos anteriores para su aplicación. Los abonos nitrogenados favorecen el desarrollo de las partes herbáceas de las plantas, y le aportan vigorosidad y un color verde oscuro de apariencia muy saludable (<http://www.iespana.es>, 2005).

c. Potásicos

Por su parte, los abonos potásicos más utilizados son los cloruros, sulfatos, carboratos, nitratos, kainitas (sulfatos de magnesita, cloro y potasa), y las

potasas provenientes de cenizas de la madera y otros vegetales quemados. Estos abonos son útiles en tierras arenosas y ligeras (<http://www.iespana.es>, 2005).

C. CICLOS BIOGEOQUÍMICOS

El planeta Tierra actúa como un sistema cerrado en el que las cantidades de materia permanecen constantes. Sin embargo, sí existen continuos cambios en el estado químico de la materia produciéndose formas que van desde un simple compuesto químico a compuestos complejos contruidos a partir de esos elementos. Algunas formas de vida, especialmente las plantas y muchos microorganismos, usan compuestos inorgánicos como nutrientes. La vida sobre la Tierra depende del ciclo de los elementos químicos que va desde su estado elemental pasando a compuesto inorgánico y de ahí a compuesto orgánico para volver a su estado elemental. Así pues, toda la "materia prima" necesaria para garantizar el correcto desarrollo de la vida en el planeta se encuentra dentro de nuestra biosfera. Pero todos estos elementos, carbono, oxígeno, nitrógeno, fósforo, azufre, etc., imprescindibles para el metabolismo de los seres vivos, son necesarios en diferentes "formatos" según sus diferentes consumidores. Este continuo "cambio de estado de la materia" hace que ésta deba reciclarse continuamente, con la participación activa de organismos cuya función ecológica es, precisamente, reciclar la materia orgánica a su forma inorgánica, para poder comenzar de nuevo su ciclo de utilización en la naturaleza. Por referirse a las trayectorias de los elementos químicos entre los seres vivos y el ambiente en que viven, es decir, entre los componentes

bióticos y abióticos de la biosfera estos complejos circuitos se denominan ciclos biogeoquímicos Velásquez (1997).

1. Ciclo del Nitrógeno

Velásquez (1997), indica que los organismos emplean el nitrógeno en la síntesis de proteínas, ácidos nucleicos (ADN y ARN) y otras moléculas fundamentales del metabolismo. Su reserva fundamental es la atmósfera, en donde se encuentra en forma de N_2 , pero esta molécula no puede ser utilizada directamente por la mayoría de los seres vivos (exceptuando algunas bacterias). Esas bacterias y algas cianofíceas que pueden usar el N_2 del aire juegan un papel muy importante en el ciclo de este elemento al hacer la fijación del nitrógeno. De esta forma convierten el N_2 en otras formas químicas (nitratos y amonio) asimilables por las plantas. El amonio (NH_4^+) y el nitrato (NO_3^-) lo pueden tomar las plantas por las raíces y usarlo en su metabolismo. En el metabolismo de los compuestos nitrogenados en los animales acaba formándose ión amonio que es muy tóxico y debe ser eliminado. Esta eliminación se hace en forma de amoniaco (algunos peces y organismos acuáticos), o en forma de urea (el hombre y otros mamíferos) o en forma de ácido úrico (aves y otros animales de zonas secas). Estos compuestos van a la tierra o al agua de donde pueden tomarlos de nuevo las plantas o ser usados por algunas bacterias.

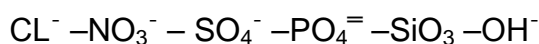
Además, señala que la fijación biológica, responsable de la mayor parte del proceso de conversión del nitrógeno, se produce por la acción de bacterias

libres fijadoras del nitrógeno; bacterias simbióticas que viven en las raíces de las plantas (sobre todo leguminosas y alisos); algas azul verdosas; ciertos líquenes; y epifitas de los bosques tropicales. El nitrógeno, fijado en forma de amoníaco y nitratos, es absorbido directamente por las plantas e incorporado a sus tejidos en forma de proteínas vegetales. Después, el nitrógeno recorre la cadena alimentaria desde las plantas a los herbívoros, y de estos a los carnívoros. Cuando las plantas y los animales mueren, los compuestos nitrogenados se descomponen produciendo amoníaco, un proceso llamado amonificación. Parte de este amoníaco es recuperado por las plantas; el resto se disuelve en el agua o permanece en el suelo, donde los microorganismos lo convierten en nitratos o nitritos en un proceso llamado nitrificación. Los nitratos pueden almacenarse en el humus en descomposición o desaparecer del suelo por lixiviación, siendo arrastrado a los arroyos y los lagos.

2. Ciclo del azufre

Velásquez (1997), manifiesta que la intemperización extrae sulfatos de las rocas, los que recirculan en los ecosistemas. En los lodos reducidos, el azufre recircula gracias a las bacterias reductoras del azufre que reducen sulfatos y otros compuestos similares, y a las bacterias desnitrificantes, que oxidan sulfuros. El H_2S que regresa a la atmósfera se oxida espontáneamente es acarreado por la lluvia. Los sulfuros presentes en combustibles fósiles y rocas sedimentarias son oxidados finalmente a ser empleados como combustible por el hombre, debido a movimientos de la corteza terrestre, y a la intemperización, respectivamente. La mineralización del azufre ocurre en las capas superiores

del suelo, el sulfato liberado del humus es fijado en pequeñas escala por el coloide del suelo, la fuerza de absorción con la cual son fijadas los aniones crecen en la siguiente escala:



El sulfato es la forma soluble del tratamiento del azufre en la planta donde es reducido para integrar compuestos orgánicos. La reabsorción del SO_4 , depende del catión acompañante y crece en el sentido siguiente:



En cantidades limitadas el azufre puede absorberse, este proceso puede ser inhibido por el cloro, por las partes epigeas de la planta. Entre el azufre orgánico y el mineral, no existe una concreta relación en la planta; la concentración de S-mineral, depende en forma predominante de la concentración del azufre in situ, por la cual pueden darse notables variaciones. En cambio el azufre de las proteínas depende del nitrógeno, su concentración es aproximadamente 15 veces menos que el nitrógeno. El azufre es absorbido por las plantas en su forma sulfatado, SO_4 , es decir en forma aniónica perteneciente a las distintas sales: sulfatos de calcio, sodio, potasio, etc. (SO_4Ca , $\text{SO}_4 \text{Na}_2$)

El azufre no solo ingresa a la planta a través del sistema radicular sino también por las hojas en forma de gas de SO_2 , que se encuentra en la atmósfera, a

donde se concentra debido a los procesos naturales de descomposición de la materia orgánica, combustión de carburantes y fundición de metales (Velásquez, 1997).

3. Ciclo del fósforo

Velásquez (1997), indica que la proporción de fósforo en la materia viva es relativamente pequeña, el papel que desempeña es absolutamente indispensable. Los ácidos nucleicos, sustancias que almacenan y traducen el código genético, son ricos en fósforo. Muchas sustancias intermedias en la fotosíntesis y en la respiración celular están combinadas con fósforo, y los átomos de fósforo proporcionan la base para la formación de los enlaces de alto contenido de energía del ATP, que a su vez desempeña el papel de intercambiador de la energía, tanto en la fotosíntesis como en la respiración celular. La productividad de la mayoría de los ecosistemas terrestres pueden aumentarse si se aumenta la cantidad de fósforo disponible en el suelo. Como los rendimientos agrícolas están también limitados por la disponibilidad de nitrógeno y potasio, los programas de fertilización incluyen estos nutrientes.

El fósforo, al igual que el nitrógeno y el azufre, participa en un ciclo interno, como también en un ciclo global, geológico. En el ciclo menor, la materia orgánica que contiene fósforo (por ejemplo: restos de vegetales, excrementos animales) es descompuesta y el fósforo queda disponible para ser absorbido por las raíces de la planta, en donde se unirá a compuestos orgánicos. Después de atravesar las cadenas alimentarias, vuelve otra vez a los

descomponedores, con lo cual se cierra el ciclo. Hay algunos vacíos entre el ciclo interno y el ciclo externo. El agua lava el fósforo no solamente de las rocas que contienen fosfato sino también del suelo. Parte de este fósforo es interceptado por los organismos acuáticos, pero finalmente sale hacia el mar.

El ciclaje global del fósforo difiere con respecto de los del carbón, del nitrógeno y del azufre en un aspecto principal. El fósforo no forma compuestos volátiles que le permitan pasar de los océanos a la atmósfera y desde allí retornar a tierra firme. Una vez en el mar, solo existen dos mecanismos para el reciclaje del fósforo desde el océano hacia los ecosistemas terrestres. El uno es mediante las aves marinas que recogen el fósforo que pasa a través de las cadenas alimentarias marinas y que pueden devolverlo a la tierra firme en sus excrementos. Además de la actividad de estos animales, hay la posibilidad del levantamiento geológico lento de los sedimentos del océano para formar tierra firme, un proceso medido en millones de años (Velásquez, 1997).

D. EL AZUFRE

1. Características principales

En Wikipedia.com (2005), se indica que el azufre es un no metal abundante, insípido, inodoro. El azufre se encuentra en sulfuros y sulfatos e incluso en forma nativa (especialmente en regiones volcánicas). Es un elemento químico esencial para todos los organismos y necesario para muchos aminoácidos y por consiguiente también para las proteínas. Se usa principalmente como fertilizante pero también en la fabricación de pólvora, laxantes, cerillas e

insecticidas. Este no metal tiene un color amarillo, es blando, frágil, ligero, desprende un olor característico a huevo podrido al mezclarse con hidrógeno y arde con llama de color azul desprendiendo dióxido de azufre. Es insoluble en agua pero se disuelve en disulfuro de carbono.

2. Contenido total de azufre en el suelo

El contenido de azufre total en los suelos varia considerablemente pudiendo encontrarse valores que van desde 30 a 50 ppm hasta tan altos como 400 ppm y posiblemente mucho más altos en suelos de regiones áridas debido a la acumulación de sulfatos o al ascenso de aguas subterráneas ricas en sulfatos o como resultado del contenido de sulfatos en el agua de riego aplicada; los principales compuestos que se acumulan son el yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), o la anhidrita (CaSO_4) y la epsomita ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), en cantidades menores se encuentran minerales poco solubles, como los sulfuros: esfalerita (ZnS) y calcopirita (CuFeS_2) (Fassbender, 1982).

Se citan valores promedio de azufre total en las capas arables de suelos de la región templada que van desde 200 ppm en Ultisoles hasta 500 ppm en Mollisoles. Los suelos de regiones templadas tienen generalmente un contenido mas alto de azufre cuanto mayor es el contenido de materia orgánica; por otro lado, los suelos tropicales con valores altos de materia orgánica de alófono tienen cantidades altas de acidez total con un promedio de dos tercios de azufre total como inorgánicos en suelos de Centroamérica (Fassbender, 1982).

El ión sulfato está presente en la solución suelo o es adsorbido por los coloides del suelo. Los sulfatos de la solución suelo están en equilibrio con las formas de azufre de la fase sólida (arcillas silicatadas y arcillas de óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio) así como con sulfatos sólidos de distinto producto de solubilidad y los aportes de la mineralización del azufre de la materia orgánica. El ión sulfato debido a que no se adsorbe muy fuertemente en el suelo y a la solubilidad de muchas de sus sales, tiene gran movilidad en la solución del suelo y puede lixiviarse casi tan fácilmente como el nitrato. Dependiendo de la intensidad de la lluvia de la textura del suelo, las cantidades que pueden perderse por lavado serían del orden de los 100 Kg S por ha (Urbano y Rojo, 1992).

3. Procesos dinámicos de transformación del azufre

a. Ciclo del azufre en los suelos

En el ciclo del azufre se observan transformaciones debidas a procesos que ocurren principalmente por la acción de diferentes microorganismos. En forma semejante que para otros elementos, se puede considerar a la solución como fuente principal de la que las plantas o microorganismos absorben el azufre. Los residuos de todos ellos son mineralizados por microorganismos, produciendo azufre inorgánico oxidado o reducido. La mineralización del azufre orgánico sigue un esquema similar al del nitrógeno orgánico. Se cree que cuando se libera H_2S , este es rápidamente oxidado en sulfato (Fassbender, 1982).

El lavado de los suelos genera una importante pérdida de azufre. Pearson y colaboradores en 1962 observaron que en los de Puerto Rico, un 90% de los cationes lavados se perdió con sulfato como anión acompañante; mientras que los nitratos y cloruros sólo contribuyeron con un seis y uno por ciento respectivamente. En regiones industriales, según Coleman (1966), el azufre en las lluvias es fuente de apreciables cantidades con niveles que generalmente exceden 20 Kg ha/año.

Para el caso de los Andes Occidentales de Venezuela, Steinhardt y Fassbender (1979) informan sobre la presencia de apenas 11.8 Kg ha/año de azufre en las lluvias, un contenido relativamente alto para regiones tropicales. Kamprath y Till (1983) estiman que la lluvia es fuente de menos de 5 Kg ha/año del azufre, lo que no cubre las necesidades de una agricultura intensiva.

b. Oxidación y reducción

Los procesos de oxidación y reducción del azufre en los suelos son importantes en la dinámica de este elemento y, en general, para el balance redox del suelo. El azufre se reduce en condiciones anaeróbicas y se oxida en condiciones aeróbicas (Fassbender, 1982).

c. Movimiento y adsorción de sulfatos

La adsorción de sulfatos es un proceso importante en los suelos ácidos, particularmente en los caoliníticos. Gran parte de la adsorción de sulfatos

ocurre en sitios con carga positiva (Probert y Samosir, 1983). En este proceso, al adsorberse el sulfato se liberan OH, como lo demostraron Chang (1963) para el caso de Estados Unidos; Bornemisza (1990) para Costa Rica y Couto, Lathwell y Bouldin (1979) para los Oxisoles de Brasil, citados por Bornemisza (1990). Para que se de una adsorción apreciable del sulfato, se requieren:

- La presencia de superficies que reaccionen
- La existencia de un ambiente químico favorable y
- La existencia de sulfato en la solución del suelo

Las cantidades de sulfato adsorbido pueden ser muy altas, especialmente cuando se abona fuertemente y cuando la concentración de sesquióxidos en el suelo es alta. El movimiento del sulfato es fomentado por fosfatos y por el encalado; suelos altos en óxidos libres de Fe y Al son muy buenos retenedores de sulfatos (Fox et al, 1983).

Se han encontrado correlaciones positivas entre la adsorción con el contenido de materia orgánica, con óxidos de hierro y de aluminio; se hallaron correlaciones negativas con la suma de cationes intercambiables y con el calcio de estos suelos; también se encontró que la retención varía según el tipo de arcilla: caolinita "illita", bentonita (Malavolta, 1976; Urbano y Rojo, 1992).

El movimiento de sulfatos en los suelos es reducido, aunque supera al del fosfato. Existen diferencias entre los tipos de suelos y una dependencia de la adsorción y de la concentración (Fox et al, 1983).

4. Interacción del azufre con otros elementos

La interacción más importante es N:S, se sabe que aplicando juntos Los dos elementos tienen una acción sinérgica, es decir la acción conjunta resulta en un mejor aprovechamiento de ambos elementos que si se les hubiera aplicado por separado. Sin embargo, si se suministran cantidades apreciables de uno de los dos elementos y el otro es escaso, las diferencias serán fuertes. Estos se entienden considerando que tanto el nitrógeno como el azufre son partes fundamentales de las proteínas (Bornemisza, 1990; Kanwar y Mudahar, 1986).

Otra interacción de gran importancia es la de P:S; aquí debe considerarse el efecto desplazador del fosfato, especialmente si se aplica en grandes cantidades como es común para suelos volcánicos. Esto resultará en un aumento del lavado del sulfato y puede incluso conducir a deficiencias donde no se las observa previamente, Kanwar y Mudahar (1986), indican que la aplicación conjunta de S y P resultó en efectos diferentes en caso de distintos cultivos, por ejemplo, interacciones positivas para algodón, soya, arroz y trigo, mientras que el efecto diferentes en caso de distintos cultivos, por ejemplo, interacciones positivas para algodón, soya, arroz y trigo, mientras que el efecto fue antagónico para lentejas y leguminosas.

En general, hay más evidencia en India que indica que el abonamiento con fósforo dificulta la absorción de sulfato. Esta absorción es muy importante para los trópicos de América, donde está aumentando apreciablemente el uso de fosfato debido a la deficiencia común de este elemento. Como resultado, el

aprovechamiento del azufre se vuelve menos eficiente y se presentan más deficiencias (Bornemisza, 1990; Kanwar y Mudahar, 1986).

5. Fertilizantes que contienen azufre

Los fertilizantes que contienen SO_4^{-2} , tienen, generalmente, un efecto residual corto pero pueden mantenerlo en suelos ácidos que adsorben los iones sulfato, o cuando la lixiviación es pequeña (Bromfield, 1973; Jones, 1996). Los fertilizantes que contienen azufre elemental son, generalmente, algo menos activos, pero su efecto es más prolongado debido a la insolubilidad del azufre (Jones, 1996).

a. Flor de azufre

A pesar de que es la fuente más concentrada del elemento, se utiliza poco azufre elemental como abono debido a que el azufre en polvo fino es un producto incómodo para manejar e incluso presenta un cierto riesgo de fuego y hasta de explosión (Hagstrom, 1986).

Aún con estos inconvenientes, considerando las ventajas del producto y su fácil transporte, se han realizado una serie de investigaciones sobre el comportamiento del azufre elemento en suelos (Li y Caldwell, 1996; Navarro y Padda, 1983). Se sabe que los microorganismos del suelo tienen un papel fundamental en la oxidación del elemento; un aumento de la temperatura del suelo favorece la oxidación del azufre elemental, igual como el pH cercano a la

neutralización (Li y Cadwell, 1996); no hay información sobre la velocidad de oxidación.

En experimentos con camote en un suelo bajo en azufre, Navarro y Padda (1983), han obtenido aumentos significativos luego de la aplicación de azufre, tanto en forma elemental como en forma de sulfato de amonio.

En experimentos con camote en un suelo bajo en azufre, Navarro y Padda en 1983 han obtenido aumentos significativos luego de la aplicación de azufre, tanto en forma elemental como en forma de sulfato de amonio.

De acuerdo con Blair (1979), el azufre elemental ha sido una de las fuentes importantes del elemento en los trópicos, aunque sea una fuente poco satisfactoria para arroz inundado. Se cree que esto se debe a la reducción y su pérdida como ácido sulfhídrico. Mucho de este material se usa también para la recuperación de suelos afectados por altos niveles de Na.

b. Fertilizantes con Nitrógeno y Azufre

El más conocido y utilizado es el sulfato de amonio, el cual, se obtiene en fábricas construidas para este propósito y como producto residual de diferentes procesos de la industria química, como la producción de nylon. Contiene 20.5% de N y un 240% de S (Villagarcía, 1997) calculado como elemento en forma de sulfatos. Este fertilizante se usa bastante y en grandes cantidades debido a que:

- Contiene un total de 45% de nutrimentos;
- Acidifica menos el suelo por unidad de azufre que el azufre elemental;
- Es una fuente barata del azufre; ya que se vende principalmente en base del precio de N que contiene;
- Suministra el S como sulfato y así en una forma inmediatamente disponible para las plantas;
- Suple el N en forma de amonio, mucho menos expuesto a pérdidas que otras formas del elemento;
- Se caracteriza por una baja higroscopicidad, lo que permite su almacenamiento en cualquier clima;
- Se mezcla bien (Borremisza, 1990; Hagstrom, 1986; Villagarcía, 1997).

c. Fertilizantes con fósforo y azufre

Tenemos el Superfos-24 el cual es obtenido por la fábrica INDUS mediante la mezcla de ácido sulfúrico con la roca fosfatada resultando en fosfato monocálcico $[\text{Ca}(\text{H}_2\text{P}_0_4)_2]$ y yeso (CaSO_4) con restos de apatita hidroxidada, fosfatos de Fe y Ca, de acuerdo con la composición de la materia prima. Este fertilizante se presenta en forma granulada o pulverulenta, de solubilidad parcial en agua, poco o nada higroscópico lo que facilita su mezcla homogénea con otros fertilizantes nitrogenados y potásicos para su aplicación manual o mecanizada y de reacción neutra. Así mismo, es de acción rápida, su incorporación al suelo incrementa el contenido inicial de P_2O_5 en la solución suelo incrementando las reservas de iones fosfatos (Villagarcía, 1997; INDUS, s/a).

El superfos-24 contiene fósforo soluble en agua de inmediato aprovechamiento y fósforo soluble en ácidos débiles de progresiva disponibilidad con «gran efecto residual» para la nutrición fosfatada de Los cultivos subsiguientes. Su composición es: 22 a 24% de fósforo expresado como P_2O_5 ; de los cuales: 10 a 12% es soluble en agua; 10 a 12% es soluble en ácidos débiles y 2 a 4% es soluble en ácidos fuertes; además contiene 23 a 25% de calcio y 6 a 7% de azufre; es decir, un total de 53 a 55% de nutrientes minerales entre fósforo, calcio y azufre.

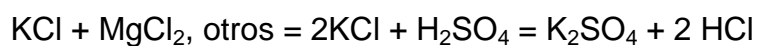
Otro fertilizante es el superfosfato simple, que consiste en una mezcla de fosfato monocálcico $Ca(H_2PO_4)_2$ y yeso ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) que contiene aproximadamente 8% de fósforo y de 12 a 14% de azufre. A pesar de que esta es la forma más barata de preparar un abono de fosfato soluble, por su bajo contenido de fósforo, está disminuyendo su importancia y su uso.

d. Fertilizantes con potasio y azufre

Entre ellos se encuentra el sulfato de potasio que es una sal neutra y una muy buena fuente de azufre, la cual comúnmente tiene 17 a 18% y de K_2O (48-52%). Para varios cultivos que toleran mal el cloruro, como el tabaco y las papas, se usa preferentemente el sulfato de potasio como fuente de este elemento. El sulfato de potasio a diferencia del cloruro de potasio, puede aplicarse en cualquier momento tanto en la siembra como en el aporque (Bornemisza, 1990; Hagstrom, 1986; Villagarcía, 1997). Para bananos, un cultivo con alta exigencia en potasio, se ha usado con buenos resultados el

sulfato de potasio cuando los suelos son deficientes tanto en azufre como en potasio (Beaton, 1996).

El sulfato de potasio se obtiene a partir de las sales potásicas que contienen cloruros de potasio y magnesio. Primero se las depura y luego se les trata químicamente con cloruro de potasio puro, o del cloruro de potasio depurado se le trata con ácido sulfúrico.



Sales minerales

Sulfato de potasio

Se considera que esta sal es soluble en agua y menos higroscópica que el cloruro de potasio. Por lo tanto es mejor su almacenamiento, no hay problemas de toxicidad iónica y se incorpora el azufre a Los suelos.

Otro fertilizante es el sulfato de potasio y magnesio ($K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$) excelente fuente de tres nutrimentos vegetales importantes. Las formas comerciales contienen alrededor de 18% de K, 11% de Mg y 22% de S (Hagstrom, 1986).

Muchos de los oligoelementos como el Zn, Cu, Mn, Ni se aplican cuando hacen falta como sulfatos. Sin embargo debido a que los niveles de requerimiento de estos elementos son bajos, las cantidades de azufre que aportan son también bajas, comúnmente inferiores a 5 Kg/ha.

Fertilizantes Pasa (2001), realiza la siguiente clasificación:

Cuadro 1. FERTILIZANTES AZUFRADOS

Nombre del fertilizante	Contenido de			Características
	N	P ₂ O ₅	S	
Sólidos:				
Sulfato de Amonio	21 %	5	24 %	Evitar aplicaciones en suelos susceptibles a la acidificación.
Sulfonitrato de Amonio	26 %		14 %	Permite hacer aplicaciones de N y S con un bajo Índice de acidez.
Superfosfato Simple de Calcio		21 %	12 %	Aporta P y S, ideal para el arranque de cultivos. Contiene un alto % de Ca (28 % OCa)
Kieserita			20 %	Sulfato de magnesio, aporta 25% OMg, que al estar asociado al ion sulfato, esta inmediatamente disponible para el cultivo.
Sulpomag			22 %	Sulfato de magnesio y potasio, aporta el 22% de K ₂ O y 18 % OMg, que se encuentra en forma inmediatamente disponible para el cultivo
Sulfer 95			94%	El fertilizante azufrado de mayor grado. Ideal para suelos alcalinos.
Líquidos:				
Solplus	12 %		26 %	Solución perfecta. Ideal para aportar azufre a través de las mezclas de fertilizantes líquidos. En mezclas con SolUan disminuye las perdidas por volatilización de N.

Fuente: Fertilizantes Pasa (2001)

6. El azufre en abonos orgánicos

Los residuos de las cosechas son fuentes importantes de azufre. Es bastante común que los residuos contengan más azufre que las cosechas propiamente dicha. Los estiércoles son una fuente de azufre, se sabe poco sobre la velocidad de mineralización de los compuestos de azufre en la materia orgánica, lo que hace más difícil estimar el valor preciso de estos materiales. Uno de los pocos datos es el indicado por Kanwar y Mudahar (1986) y por Blair (1979), quienes señalan que una tonelada de estiércol agrega alrededor de 2 Kg de azufre; Villagarcía (1997) señalan que 1 tn de estiércol en promedio aporta de 5 a 8 Kg de sulfatos. Este se mineraliza lentamente, por ello únicamente adiciones fuertes de estos materiales pueden resultar en aumentos significativos de azufre en el suelo; además, Blair (1979) indica el mismo valor para harina de huesos y la mitad para harina de residuos de maní.

Evidentemente, su lenta mineralización también reduce la pérdida del azufre de esta fuente y así resulta en un aprovechamiento bastante eficiente del poco azufre añadido. Es importante recordar que la materia orgánica adsorbe a los sulfatos, y así en suelos bien suplidos de materia orgánica, hay menos pérdidas de lavado por este anión. Aunque esta área requiere mucha experimentación se puede afirmar que la materia orgánica en el suelo ayuda a reducir los problemas de azufre. Esto es confirmado por los experimentos realizados por Villagarcía (1997).

7. Importancia del azufre en la producción de los cultivos

El azufre es uno de los macro elementos secundarios esenciales de las plantas. Los cultivos anuales con buenos rendimientos extraen entre 15 y 50 Kg S por ha, cifras similares a las extracciones de el fósforo y magnesio. Las leguminosas y las cucíferas tienen las más altas exigencias de azufre así como Los árboles frutales. La importancia del azufre es similar a la del nitrógeno y el fósforo en la formación de proteínas; el azufre es un componente esencial de algunas vitaminas y enzimas. Se han detectado carencia de azufre en cultivos por todo el mundo, excepto en regiones costeras que reciben este elemento con las espumas marinas y en las proximidades de centros industriales y urbanos que pueden recibirlo procedente del SO₂ atmosférico. Debido a que desde 1970 se tiende a utilizar combustibles fósiles que desprendan menos SO₂, y al uso cada vez más importante de fertilizantes más concentrados que contienen muy poco o nada de azufre en su composición, puede esperarse que la deficiencia de este elemento vaya en aumento (Bornemisza, 1990; Russell, 1992; Mengely Kirkby, 1982).

A menudo se observa que el azufre tiene un efecto favorable no sólo sobre el rendimiento, sino también sobre la calidad; por ejemplo ha producido un alto mejoramiento en la calidad de la cosecha en (Russell, 1992):

- Hortalizas con marcado metabolismo de nitrógeno y proteína.
- Hortalizas cuyo valor depende del contenido de azúcar en la cosecha.
- Cuando debe prestarse consideración a las propiedades de conservación o características de almacenamiento.

- Cultivos que contienen mayor cantidad de este elemento en sus tejidos, sobretodo si crecen en terrenos de textura ligera bajos en materia orgánica.

Para reponer el azufre extraído se sugiere aplicar hasta 41 Kg de S por ha, obteniéndose incrementos de hasta 19% en la cosecha (Bornemisza, 1990).

8. Deficiencia y toxicidad de azufre en los cultivos

Las deficiencias suelen presentarse en las regiones donde los aportes atmosféricos son inferiores a 5-10 Kg S ha/año y en los casos en que el contenido de SO_4^{-2} del suelo sea muy bajo, como en los suelos muy lavados. La fuente inmediata de azufre edáfico para los cultivos son los SO_4^{-2} de la solución del suelo y esta ha de renovarse por la absorción procedente de las arcillas e hidróxidos. Se han obtenido respuestas positivas de los cultivos a los aportes de sulfatos en muchos países y, especialmente, se han comprobado diferencias notables en algunas regiones de EE.UU., Australia y Nueva Zelanda. Como el azufre es un constituyente esencial de las proteínas, su deficiencia resulta en una inhibición de la síntesis de las mismas. Por lo tanto en los tejidos de las plantas deficientes en azufre se acumulan aminoácidos que no contienen este elemento, como la asparagina, glutamina y arginina, principalmente; se ha observado en plantas deficientes en azufre, una acumulación de amidas nitrogenadas las cuales están asociadas con un bajo contenido de azúcar, resultado de la pobre actividad fotosintética de las plantas cloróticas deficientes en azufre, por lo tanto tienen un bajo contenido de

proteínas no sólo en la parte vegetativa sino también en los granos de los cereales (Beaton, 1996; Bornemisza, 1990; Fassbender, 1982; Mengel y Kirkby, 1982).

La relación N orgánico/S orgánico es muy alta en tejidos de plantas deficientes en azufre (70/1 a 80/1), comparado con los tejidos de las plantas normales; otro indicador de deficiencia de azufre en plantas es la acumulación de nitratos en sus tejidos. En cultivos de campo las deficiencias de nitrógeno y azufre son difíciles de distinguir, por lo que debe acudir a los análisis foliares, que resultan más fiables. Las plantas deficientes en azufre son afectadas en su crecimiento, siendo los tallos más afectados que las raíces. Las plantas son rígidas y quebradizas y los tallos delgados. La formación de los cloroplastos es afectada, los síntomas de clorosis se presentan en las hojas más jóvenes. En general, la materia seca de las hojas jóvenes deben contener más del 0,15 a 0,20% S, aunque el valor crítico depende del cultivo y disminuye con la edad de las hojas. También se ha utilizado la relación entre N y S proteicos o, incluso más frecuentemente, entre el N y S totales. Algunos investigadores prefieren utilizar el S mineral (SO_4^{-2}) presente en la planta expresado como % del azufre total; un valor superior al 20% indica un suministro adecuado. Para las gramíneas y Los cereales, una relación en las hojas N tota/S total superior a 14 puede indicar carencia de azufre (Guerrero y Tello, 2002).

Además, señalan que las plantas son insensibles a las altas concentraciones de sulfatos en el medio nutritivo, haciendo que el crecimiento de las plantas es afectado adversamente. La concentración crítica de SO_2 en la atmósfera sobre

la cual los efectos tóxicos en las plantas son observadas, están en el rango de 0.5 a 0.7 mg SO₂. Los síntomas de toxicidad son, una reducción del crecimiento y una coloración verde oscura en las hojas, pero estas no son específicas para un exceso de azufre, siendo más típicas para las plantas afectadas por sales. Sin embargo en concentraciones isoosmóticas, se produce un efecto más detrimental por la salinidad del sulfato que por la del cloro. Las causas de la toxicidad del SO₂, es que el gas SO₂ y Los aniones de azufre (HSO⁻³ y SO₃⁻²) pueden acumularse y desactivan la fotofosforilación (formación de ATP).

9. El azufre en la nutrición de la planta

El mecanismo actual de la toma de sulfato por la planta no es entendido totalmente. Se cree que existe un mecanismo simple de absorción del SO₄⁼, la selectividad del cual depende mucho de la concentración de sulfato en la solución nutritiva. Se supone que el SO₄⁼ es tomado por la planta mediante un proceso activo (Mengel y Kirby, 1982).

Este elemento es translocado principalmente en dirección ascendente mientras que el movimiento descendente es muy pobre y ante la deficiencia de azufre, el sulfato es translocado de las raíces y pecíolos hacia las hojas jóvenes y el azufre de las hojas viejas no es proporcionado a los tejidos jóvenes lo que demuestra que la translocación no se da por flujo de masas. El sulfato es poco móvil en la planta, al igual que el calcio y los elementos menores. Por lo tanto los síntomas de deficiencia se presentan en las hojas jóvenes. Las plantas

utilizan el SO_2 atmosférico, siendo este absorbido a través de los estomas y distribuido en toda la planta, para constituir los aminoácidos, proteínas y sulfatos (Mengel y Kirkby; 1982).

Luego de ser asimilado el SO_4^- , es reducido, lo cual se demuestra por las moléculas orgánicas mayores que contienen azufre, en las cuales este elemento está presente en una forma reducida. Estos compuestos orgánicos incluyen la cisteína, cistina y metionina y las proteínas que contienen estos aminoácidos. El contenido total de azufre en los tejidos de las plantas es de 0,2 a 0,5% en la materia seca. Se conoce que el exceso de azufre absorbido por la planta es almacenado como sulfato (Mengel y Kirkby, 1982).

10. Estudios realizados con la utilización de azufre

En algunas áreas tropicales la deficiencia de S es tan severa que incluso llega a superar las deficiencias de N o P. La afirmación la sostiene Chandler (1967) para suelos de Brasil y a iguales conclusiones llegaron Avilan y Rojas (1975) para suelos de la serie Barinas de Venezuela. Suelos deficientes en azufre son comunes en zonas húmedas de origen granítico o basáltico donde comúnmente crecen plantas forrajeras (Shirley, y Padgett, 1978).

Trabajando con leguminosas forrajeras tropicales en Australia, tanto Teitzel y Bruce (1972) como Jones (1996) encontraron respuestas favorables del azufre, igualmente Jones y Quagliato (1970) en el Brasil, registraron incrementos en producción de materia seca de varias leguminosas con aplicaciones de hasta

60 kg/ha de azufre.

El número de cortes dado al pastizal nativo durante el año fluctuó de dos a cuatro, siendo lo más generalizado el de tres cortes (Laissus y Marty, 1974).

La fertilización de pastos nativos produjo en general desde nullos (Tejos y Rony, 1979) a ligeros descensos en contenidos de materia seca (Laissus y Marty, 1974). Esta disminución es más notoria con la aplicación de N (Garza, 1971), porque la adición del P tiende a mantener o aumentar los contenidos de materia seca comparada con el testigo (Garza, 1971; Laissus y Marty, 1974).

La aplicación de fertilizantes puede o no producir cambios en la composición botánica del pastizal nativo. Ramón (1976) hizo aplicaciones de NPK y de NP, sin obtener cambios. En cambio Olsen y Santos (1975) encontraron ligeros cambios favorables y Erasmus y Sud (1976) reportaron fuertes descensos de las malezas e incrementos notables de las gramíneas forrajeras.

E. EL CALCIO

1. Propiedades y estado natural

Calcio, de símbolo Ca, es un elemento metálico, reactivo y blanco plateado. Pertenece al grupo 2 (o IIA) del sistema periódico, y es uno de los metales alcalinotérreos. Su número atómico es 20. El calcio tiene seis isótopos estables y varios radiactivos. Metal maleable y dúctil, amarillea rápidamente al contacto con el aire. Tiene un punto de fusión de 839 °C, un punto de ebullición

de 1.484 °C y una densidad de 1,54 g/cm³; su masa atómica es 40,08. El calcio ocupa el quinto lugar en abundancia entre los elementos de la corteza terrestre, pero no se encuentra en estado puro en la naturaleza. Se da en varios compuestos muy útiles, tales como el carbonato de calcio (CaCO₃), del que están formados la calcita, el mármol, la piedra caliza y la marga; el sulfato de calcio (CaSO₄), presente en el alabastro o el yeso; el fluoruro de calcio (CaF₂), en la fluorita; el fosfato de calcio o roca de fosfato (Ca₃(PO₄)₂), y varios silicatos. En aire frío y seco, el calcio no es fácilmente atacado por el oxígeno, pero al calentarse, reacciona fácilmente con los halógenos, el oxígeno, el azufre, el fósforo, el hidrógeno y el nitrógeno. El calcio reacciona violentamente con el agua, formando el hidróxido Ca(OH)₂ y liberando hidrógeno (Encarta, 2004).

2. Aplicaciones

El metal se obtiene sobre todo por la electrólisis del cloruro de calcio fundido, un proceso caro. Hasta hace poco, el metal puro se utilizaba escasamente en la industria. Se está utilizando en mayor proporción como desoxidante para cobre, níquel y acero inoxidable. Puesto que el calcio endurece el plomo cuando está aleado con él, las aleaciones de calcio son excelentes para cojinetes, superiores a la aleación antimonio-plomo utilizada en la rejillas de los acumuladores, y más duraderas como revestimiento en el cable cubierto con plomo. El calcio, combinado químicamente, está presente en la cal (hidróxido de calcio), el cemento y el mortero, en los dientes y los huesos (como hidroxifosfato de calcio), y en numerosos fluidos corporales (como componente

de complejos proteínicos) esenciales para la contracción muscular, la transmisión de los impulsos nerviosos y la coagulación de la sangre (Encarta, 2004).

3. Papel del calcio en la planta

Lescano (1982), indica que el calcio es absorbido por las plantas en forma del catión Ca^{++} . Una vez dentro de la planta, el Ca funciona en varias formas, incluyendo las siguientes:

- Estimula el desarrollo de las raíces y de las hojas.
- Forma compuestos que son parte de las paredes celulares. Esto fortalece la estructura de la planta.
- Ayuda a reducir el nitrato (NO_3) en la planta.
- Ayuda a activar varios sistemas de enzimas.
- Ayuda a neutralizar los ácidos orgánicos en la planta.
- Influye indirectamente en el rendimiento al reducir la acidez del suelo (carbonato de calcio)
- Reduce la solubilidad y toxicidad del manganeso (Mn), cobre (Cu) y aluminio (Al).
- Influye indirectamente en el rendimiento al mejorar las condiciones de crecimiento de las raíces y estimula la actividad microbiana, la disponibilidad del molibdeno (Mo) y la absorción de otros nutrientes.
- Es requerido en grandes cantidades por las bacterias fijadoras de N.

4. Síntomas de deficiencia en la planta

Un síntoma común de la deficiencia de Ca es un pobre crecimiento de las raíces. Las raíces con deficiencia de Ca se tornan negras y se pudren. Las hojas jóvenes y otros tejidos nuevos desarrollan síntomas debido a que el Ca no se trasloca dentro de la planta. Los tejidos nuevos necesitan Ca para la formación de sus paredes celulares, por lo tanto la deficiencia de Ca causa que los filos de las hojas y que los puntos de crecimiento sean gelatinosos. En casos severos, los puntos de crecimiento mueren (Lescano, 1982).

Las deficiencias de Ca casi nunca se muestran en el campo, debido a que los efectos de condiciones secundarias, como una alta acidez, limitan primero el crecimiento de la planta. Las deficiencias ocurren más comúnmente en los cultivos de maní y hortalizas (Jones, 1996).

5. Calcio en el suelo

La cantidad total de Ca en el suelo fluctúa entre 0.1 hasta alrededor de 25%. Los suelos áridos y calcáreos contienen los niveles más altos de Ca. Los suelos viejos de los trópicos contienen muy poco Ca y tienen un valor de pH muy bajo. Los suelos arcillosos contienen más Ca que los suelos arenosos (Lescano, 1982).

Debido a que el Ca existe como un catión, este nutriente está gobernado por los fenómenos del intercambio catiónico al igual que los otros cationes, y se

mantiene adherido como Ca^{++} intercambiable en la superficie de los coloides cargados negativamente. Generalmente es el catión dominante en el suelo, aun a valores de pH bajos, y ocupa normalmente el 70% o más de los sitios en el complejo de intercambio. Al igual que otros cationes, el Ca también está presente en la solución del suelo. El Ca es parte de la estructura de varios minerales del suelo como la dolomita, calcita, apatita y feldespatos. En realidad estos minerales son las fuentes principales de Ca en el suelo (Espejo, 1996).

6. Fuentes de calcio

En la página <http://www.elsitioagricola.com>, se reporta que el Ca puede ser suministrado por medio de varias fuentes. Si se considera que la mayoría de los suelos que tienen deficiencia de Ca son ácidos, un buen programa de encalado puede incrementar el contenido de este nutriente en el suelo de una manera más eficiente. La calcita y la dolomita son excelentes fuentes de Ca. El yeso puede también suministrar Ca cuando el pH del suelo sea lo suficientemente alto como para no necesitar cal, pero que al mismo tiempo sea deficiente en Ca (este caso no se presenta comúnmente). También se puede añadir Ca al suelo mediante la aplicación de superfosfato simple, que contiene 50% de yeso y superfosfato triple que contiene Ca en menor cantidad. Algunas fuentes comunes de Ca se presentan en la cuadro 2.

Indicándose además, que se debe tener precaución cuando se usan fuentes de Ca diferentes a la calcita y a la dolomita. Por ejemplo, un exceso de cal hidratada y o de cal apagada puede esterilizar parcialmente al suelo. El añadir

grandes cantidades de Ca y Mg a suelos con deficiencia de K, o el añadir Ca a suelos deficientes en Mg, puede causar un desbalance nutricional y un pobre crecimiento del cultivo. Se deben suministrar todos los nutrientes necesarios para aliviar las condiciones nutricionales que limitan el crecimiento del cultivo.

Cuadro 2. FUENTES COMUNES DE CALCIO

Material	Contenido de Ca, %	Valor neutralizante 1, %
Calcita	32	85 – 100
Dolomita	22	95 – 100
Escorias industriales	29	50 – 70
Yeso	22	Ninguno
Grerdas	24	15 – 85
Cal hidratada	46	120 – 135
Cal apagada	60	150 - 175

1: Comparado con carbonato de calcio 100% puro
Fuente: <http://www.elsitioagricola.com>, 2005.

a. Nitrato de Calcio

Ruiz (1999), indica que el Nitrato de Calcio, es un fertilizante de alta solubilidad (1220 g/l a 20°C). Contiene un 15,5% de N, el 100% Nítrico, forma preferencial de absorción del nitrógeno por las plantas y en especial por tomates. Es el único fertilizante que aporta calcio soluble en cualquier pH. Otras fuentes lo tienen como Oxido, soluble solo en suelos ácidos, insoluble en neutros y alcalinos. La presencia de calcio mejora la absorción del Nitrato en especial bajo condiciones de excesos de humedad y/o temperaturas bajas. Es un fertilizante de interés cuando existen problemas derivados de carencia de calcio en la fruta (erudición apical por ejemplo). Tiene problemas desde el punto de vista de las mezclas, no conviene mezclarlo con Fosfatos de amonio

ni con ningún tipo de fertilizante cuyo anión sea sulfato (Sulfato de amonio, de potasio por ejemplo), ello por que dependiendo de la concentración en la red pueden producirse precipitados y taponamiento de goteros

Además, manifiesta que el Sulfato, sirve para corregir la salinidad de aquellos campos con alto contenido de sodio, también en aquellos campos que han estado inundados y se forman como caparazones en la superficie, se utiliza el Sulfato para corregirlos. Por lo tanto sirve como corrector y como acondicionador de suelos, dependiendo del análisis del suelo será la dosis a aplicar y también del tipo de equipo con que se cuenta, es la granulometría usada.

b. Carbonato de calcio

En la Enciclopedia Encarta (2004), se indica que el Carbonato de calcio, es una sal derivada del ácido carbónico, de fórmula CaCO_3 . Se encuentra en la naturaleza principalmente en forma de calcita y aragonito.

La calcita, es un mineral compuesto principalmente de carbonato de calcio (CaCO_3). Después del cuarzo, es el más abundante de todos los minerales de la Tierra. Con cristalización en el sistema hexagonal, la calcita es conocida por la amplia variedad de formas cristalinas que adopta. Son ejemplos de estas variedades cristalinas el espato de grano, espato en diente de cerdo, espato en cabeza de clavo, espato en diente de perro, espato satinado y espato de Islandia. Este último es el único estado de calcita pura encontrado en la

naturaleza. La caliza, el yeso, el travertino, el alabastro oriental y el mármol son algunas de las formas masivas más comunes del mineral. La calcita se encuentra también en forma de estalactitas y tobas calcáreas, ambas formadas a partir de depósitos de aguas minerales. Es incolora, con una dureza de 3 y una densidad relativa de 2,72. La calcita pura se identifica sin dificultad por la facilidad con la que se puede cortar y por su rápida reacción a los ácidos diluidos. Los contaminantes como el magnesio, el hierro ferroso, el manganeso y el cinc, alteran las propiedades del mineral en diferentes grados según la cantidad que presenten.

En cambio Aragonito, es un mineral de carbonato cálcico, CaCO_3 , que se cristaliza en el sistema ortorrómbico. El aragonito es más duro y menos común o estable que la calcita, mineral en el que se puede transformar tras intervalos geológicos de tiempo. Se encuentra con menas de hierro y otros depósitos, junto a manantiales calientes y en estalactitas; también es segregado por invertebrados en forma de nácar (que estría la concha de muchos moluscos) y de perlas. Sus cristales son largos, vítreos, generalmente blanquecinos y de transparentes a translúcidos. Tiene una dureza entre 3,5 y 4 y una densidad relativa entre 2,9 y 3.

7. Interacción del fósforo y el calcio

Vivas, Guaita y Quaino (1999), estudiaron la interacción del P y el Ca en la producción de MS de alfalfa y la evolución del P extractable luego de la fertilización fosfatada y la enmienda cálcica, en un suelo de mediano contenido

en P. El trabajo se llevó a cabo en un suelo Argiudol típico Serie Esperanza cuyos tenores de P oscilaron entre 15-20 ppm y el pH entre 5,9-6,0. Los niveles de P aplicados fueron P0, P40, P80 y P120 kg/ha en la forma de superfosfato triple de calcio y el de Ca fue de 1500 kg/ha de producto comercial, en la forma de calcita micronizada y aperdigonada. Ambos se aplicaron al voleo y se incorporaron a 7-10 cm con rastra de doble acción. Por razones operativas la enmienda se distribuyó al momento de la siembra. Los resultados presentaron diferencias significativas entre los tratamientos y los promedios de MS con P y Ca (8602 kg/ha de MS) fueron superiores a sus similares sin Ca (7816 kg/ha de MS). Bajo las condiciones de este ensayo la interacción P x Ca no fue importante ($Pr= 0,21$) indicando que el efecto benéfico del calcio fue similar para todos los niveles de P.

En este punto es necesario diferenciar lo que significan **las expresiones disponible y extractable**. El primero corresponde al fosfato real que la solución del suelo cede a la planta en cantidades pequeñas pero en forma regular y permanente, mientras que el segundo es un índice que por extracción química en los análisis del suelo se lo utiliza para relacionarlo con la producción. Es funcional y positivo y se lo utiliza como herramienta de trabajo para el diagnóstico, pero no constituye la forma en que la planta lo absorbe. En esta investigación durante la primavera se evaluó el P extractable en todos los niveles fertilizados con y sin enmienda cálcica y se observó que el encalado no tuvo diferencias con los tratamientos sin encalar.

Similares resultados obtuvo Lucca (1998) en Entre Ríos quien no encontró

diferencias significativas en la cantidad de P extractable cuando el pH del suelo se elevó como resultado de una enmienda cálcica. Los datos demuestran que la mayor producción de MS de alfalfa logrados con la combinación de P y calcio, debido a que el encalado favoreció la mayor producción de MS de alfalfa en todos los niveles de fertilización. Bajo las condiciones de esta investigación el efecto benéfico del calcio fue similar para todos los niveles del fertilizante fosfatado. El beneficio del calcio sobre la fertilización fosfatada se lo atribuye a que favoreció la absorción del P del suelo pero no a una mayor cantidad de P extractable.

F. GRAMÍNEAS

1. Generalidades

Capelo y Jiménez (1992), describen a las gramíneas como la familia a la que pertenecen la mayor parte de las plantas que sirven de alimento para las diferentes especies ganaderas herbívoras. Se caracterizan por tener raíces fibrosas, en barbadilla o fasciculadas, tallos con entre nudos huecos o raramente llenos, delgados, medianos, o gruesos según la especie.

En la Enciclopedia Encarta (2004), se indica que gramíneas, es un nombre común de una extensa familia de plantas con flor, la más importante del mundo desde los puntos de vista económico y ecológico. La familia contiene unos 635 géneros y 9.000 especies. A esta familia también se la conoce con el nombre de Poáceas. Las gramíneas presentan una estructura

vegetativa bastante uniforme, y tienen características distintivas de este grupo. Las raíces principales suelen ser fibrosas; las secundarias o adventicias brotan en muchos casos de los nudos de los tallos, como ocurre en el maíz. Los tallos son por lo general herbáceos (gramíneas de césped) o huecos (bambú), pero hay excepciones, como los tallos medulares del maíz y los leñosos de algunos bambúes. Las hojas, que nacen en los nudos de los tallos, se disponen en dos filas y constan de dos partes: vaina y limbo. La vaina, una característica peculiar de las gramíneas, envuelve el pecíolo y sujeta la zona situada justo por encima de cada uno de los nudos; esta zona necesita soporte, pues está formada por un tejido de crecimiento blando llamado meristemo. El tallo de las gramíneas no crece en longitud por el ápice, como en casi todas las demás plantas, sino en cada uno de los nudos. Otra característica distintiva de las gramíneas es la lígula, una breve prolongación vellosa o membranosa que se inserta en el punto de unión de la vaina y el limbo foliares. La función de la lígula sigue siendo desconocida, pero quizá sirva para evitar que la humedad penetre en la zona comprendida entre el tallo y la vaina.

El limbo foliar es típicamente largo y estrecho, con nervios paralelos, aunque presenta grandes variaciones de forma y tamaño. También tiene un área meristemática, situada en la base, por encima de la unión con la vaina; el crecimiento se produce en esta zona y no en el ápice, al contrario de lo común en casi todas las demás plantas. Por tanto, incluso si se corta el extremo superior de la hoja, el limbo puede continuar creciendo. Esta peculiaridad, combinada con la presencia de tejido meristemático en los nudos de los tallos y el hecho de que las gramíneas se ramifiquen cerca del suelo, permite a estas

plantas soportar los rigores de muchos medios naturales y artificiales inaccesibles a otras especies vegetales. El valor de las gramíneas como plantas de césped deriva también de estas características, pues siguen creciendo después de segarlas. Además, las gramíneas soportan incendios, pasto y tránsito, y ahora dominan grandes extensiones afectadas por estos fenómenos (Encarta, 2004).

2. Importancia

Todos los cereales cultivados del mundo son gramíneas; por tanto, la importancia económica de la familia es enorme. La producción mundial de cereales en el año 2000 fue de unos 2.057 millones de toneladas y las especies más cultivadas fueron el arroz, el maíz, el trigo, la cebada y el sorgo. El bienestar de la humanidad depende de estas pocas especies de gramíneas, por lo que una deficiencia, incluso pequeña, de la cosecha de cualquiera de ellas puede provocar hambruna e inestabilidad económica en zonas muy amplias. Además, la familia aporta casi todo el azúcar del mundo. El bambú, otro miembro de la familia, sirve como material de construcción y como fuente de alimento, y se usa también en la fabricación de papel. La citronella, usada en perfumería y como repelente de insectos, es una esencia destilada de las hojas de ciertas gramíneas.

Las gramíneas son la principal fuente de alimentación de los animales herbívoros domésticos y salvajes, que pastan en praderas y comen heno y forraje cosechados en prados. La superficie de suelo dedicada a estos cultivos

es mayor que la reservada al conjunto de todas las demás especies cultivadas. Otra aplicación de las gramíneas de considerable importancia económica en muchas partes del mundo es la plantación de céspedes. Las gramíneas perennes son apropiadas para este fin, porque no pierden los meristemos basales (los puntos de crecimiento) durante la siega. El llamado pasto bravo, por ejemplo, es originario de Argentina, Bolivia y Chile. En condiciones especiales de suelo o de exposición poco apropiadas para las especies más comunes se emplean otras mezclas. Así, en regiones poco lluviosas, se prefiere usar *Buchloe dactyloides*. En ocasiones se recurre a anuales para establecer céspedes en poco tiempo; pero presentan el inconveniente de que suelen persistir en competencia con las gramíneas vivaces y causan un efecto desagradable a la vista (Encarta, 2004).

3. Distribución y tamaño

Las gramíneas son las plantas con flor de más amplia distribución del mundo; ocupan desde zonas situadas muy por encima del círculo polar ártico hasta la Antártida, pasando por las regiones templadas y los trópicos. Esta enorme cobertura geográfica es paralela a la amplitud ecológica y del intervalo de tamaños. Las gramíneas abundan sobre todo en hábitat abiertos, como praderas, tundras, estepas, sabanas y páramos, pero también hay muchas especies forestales, sobre todo en los trópicos. Algunas están adaptadas a hábitat de aguas saladas y dulces, estancadas y corrientes; otras flotan en la superficie del agua y no están unidas al suelo. También hay gramíneas en los desiertos. En cuanto al tamaño, oscila entre el de los gigantescos bambúes

tropicales, de más de 100 m de altura, y el de las especies anuales de *Agrostis*, de pocos centímetros. Algunas gramíneas carecen de hojas, mientras que las de otras llegan a medir 5 m de longitud (Encarta, 2004).

G. LEGUMINOSAS

1. Generalidades

Leguminosas, nombre común de un grupo de plantas muy numeroso, que incluye unas 17.000 especies, antes considerado como una única familia y en la actualidad identificado con el orden de las Fabales. Las leguminosas tienen una gran importancia desde el punto de vista económico ya que incluyen muchas especies que se utilizan como alimento, por ejemplo el guisante (chícharo), la judía (fríjol) o el maní; otras que son productoras de aceite, como la soja (soya); algunas de interés forrajero como el trébol y la alfalfa o especies ornamentales como la glicina o la falsa acacia (Encarta, 2004).

2. Características

Las leguminosas constituyen un grupo muy diverso con distribución mundial. Muchas de ellas son herbáceas pero también hay especies trepadoras, arbóreas y arbustivas e incluso plantas acuáticas. El fruto, llamado legumbre, es el elemento que mejor caracteriza a las leguminosas. Es una vaina aplanada con una sola cámara y dos suturas; suele abrirse a lo largo de éstas, como en el guisante o chícharo. Las semillas están unidas longitudinalmente a una de

las suturas. La legumbre puede ser indehiscente (que no se abre), como la del maní, que madura bajo tierra; o dehiscente de forma explosiva, como en el altramuz. En cuanto a tamaño, oscila entre unos pocos milímetros y más de treinta centímetros; puede encerrar una semilla o muchas (Encarta, 2004).

H. MEZCLAS FORRAJERAS

1. Características

León (1974) indica que el hecho de que las pasturas de cualquier especie no resulte palatable por mucho tiempo determina la necesidad de usar mezclas forrajeras en las explotaciones intensivas. La composición de las mezclas a emplearse deben estar adaptadas a las condiciones climáticas locales, luego debe tenerse en cuenta el nivel de fertilidad del suelo, la limpieza de las malezas y la rapidez de crecimiento de las especies integrantes, sin necesidades de luz y sombra, algunos ejemplos permiten ilustrar estos puntos: si se siembra una gramínea que podría llegar a tapar a las leguminosas, la solución consistiría con reducir la cantidad de semilla de gramíneas en la mezcla, disminuyendo así la competencia que sufriría la leguminosa. La situación es totalmente distinta en suelos pobres en nitrógeno pero ricos en elementos minerales o que hayan sido abonados por superfosfatos; entre las leguminosas el trébol rojo tolera mejor la sombra que el trébol blanco, en cambio que la alfalfa por su crecimiento semierecto compite fácilmente con las gramíneas.

El mismo autor indica que la fertilidad del suelo es otro de los factores

fundamentales que hay que tomar en cuenta cuando se planea realizar mezclas, una pequeña corrección del suelo frecuentemente corona con éxito siembras que en condiciones naturales nunca pudieron lograrse, no basta que las especies estén adaptadas al clima de una región, se necesita que una pastura tenga el nivel de fertilidad indispensable para su crecimiento en competencia con las demás especies naturales del lugar.

2. Ventajas de las mezclas forrajeras

Benítez (1980) manifiesta que al sembrar mezclas gramíneas y leguminosas, sus ventajas son diversas:

- El aprovechamiento es máximo sobre el suelo y bajo él, si se siembra una especie erecta con sistema radicular fasciculado o superficial con una especie rastrera de raíces profundas y pivotantes, se logra ocupar mayor espacio que sembrado aisladamente una u otra especie.
- Se obtiene mejores rendimientos que en cultivos monofitos, con un forraje de mayor calidad.
- Se complementan los minerales de las plantas, las leguminosas requieren sobre todo calcio y fósforo; en cambio las gramíneas nitrógeno y potasio.
- Puede controlarse la invasión de malezas sembrando un componente de crecimiento rápido.
- La asociación facilita la regulación de la producción, unas hierbas rinden más en el primer año y otras en el segundo y tercero.

- El peligro de pérdidas por parásitos o enfermedades disminuye mucho a causa de la especificidad de los agentes patógenos, en igual forma para el efecto de las heladas, sequía, así como para el peligro del meteorismo o empaste de los animales.
- El valor nutritivo en una asociación de gramíneas y leguminosas es como una ración balanceada, las leguminosas aportan proteínas y minerales, mientras que las gramíneas con carbohidratos y proteínas.
- Los efectos de sequía, el exceso de humedad, el ataque por plagas son menos severos, si una especie fuera atacada por cualquier factor que le sea particularmente desfavorable, otras en la mezcla resistirán mejor ocupado el sitio de la especie afectada.

Indicando además, que un buen pastizal debe estar conformado aproximadamente por aproximadamente entre 70 y 80 % de gramíneas, el 20 a 30 % de leguminosas y el 10 % de malezas.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

A. LOCALIZACIÓN Y DURACIÓN DEL EXPERIMENTO

La presente investigación se realizó en la Hacienda “Rocón” de propiedad del Sr. Pedro Hidalgo, ubicada en la Comunidad San Miguel de Guaructus, del Cantón Chambo, Provincia de Chimborazo, ubicada a 78° 30’ de latitud Sur y a 1° 30’ de longitud Oeste, con una duración de 120 días.

Cuadro 3. CONDICIONES METEREOLÓGICAS DE LA HACIENDA “ROCÓN, CANTÓN CHAMBO, PROVINCIA DE CHIMBORAZO

Parámetro	Promedio
Altitud, msnm	3150
Temperatura, °C	10.5
Humedad relativa, %	76.0
Precipitación anual, mm/año	897.5

Fuente: Estación Meteorológica del MAG-Guaslán (2004)

B. UNIDADES EXPERIMENTALES

Se utilizaron 48 parcelas de pasto de la propiedad Rocón, con una superficie de 25 m² (5m x 5m), con un área total de 1360 m² incluido caminos de separación entre las repeticiones cuya composición botánica estuvo compuesta por: *Pennisetum clandestinum* (kikuyo), *Lolium perenne* (rye grass perenne), *Holcus lanatus* (holco), *Dactylis glomerata* (pasto azul) y *Trifolium repens* (trébol blanco).

C. MATERIALES EQUIPOS E INSTALACIONES

1. De campo

- Flexómetro de 5 y 100 m.
- Estacas
- 2 rollos de piola.
- Rótulos de identificación para las parcelas.
- Regla graduada.
- Recipientes
- Caballete.
- Cuadrante de 1 m²
- Cortadora de pasto a motor de 50 cc.
- Fundas de papel y plásticas herméticas
- Balanza Analítica de 2 Kg.
- Barreno.
- Libreta de apuntes.
- Cámara fotográfica.

2. Fertilizantes

- Urea (46 % Nitrógeno)
- Súper Fosfato Triple SFT (45 % Fósforo).
- Carbonato de Calcio (99% Ca).
- Azufre Micronizado (80 % S).

La maquinaria empleada para esta investigación fue un tractor con implemento (rastra destrabada), para realizar un sistema de labranza mínima.

D. TRATAMIENTO Y DISEÑO EXPERIMENTAL

Los tratamientos que se probaron en la investigación fueron 3 niveles de encalado (1000, 2000 y 3000 kg/ha) y 1 testigo sin encalado. A cada uno de estos tratamientos se adicionó 3 niveles de azufre (20, 30 y 40 kg/ha) y un testigo, que se distribuyeron bajo un Diseño de Bloques Completamente al azar en arreglo factorial 4 x 4 con 3 repeticiones, de conformidad con el siguiente modelo lineal aditivo:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \alpha_i\beta_j + \xi_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} : Valor estimado de la Variable

μ : Media general

α_i : Efecto del nivel de Calcio (encalado)

β_j : Efecto del nivel de azufre

γ_k : Efecto del Bloque γ_1 , γ_2 y γ_3

$\alpha\beta_{ij}$: Efecto de la interacción AxB

ξ_{ij} : Efecto del error experimental

El esquema del experimento empleado se reporta en el siguiente cuadro:

Cuadro 4. ESQUEMA DEL EXPERIMENTO

Nivel de Ca (kg/ha)	Nivel de S (kg/ha)	Código	Nº Bloques	T.U.E	Nºobserv./ combinación
0	0	Ca0S0	3	25	3
0	20	Ca0S20	3	25	3
0	30	Ca0S30	3	25	3
0	40	Ca0S40	3	25	3
1000	0	Ca1000S0	3	25	3
1000	20	Ca1000S20	3	25	3
1000	30	Ca1000S30	3	25	3
1000	40	Ca1000S40	3	25	3
2000	0	Ca2000S0	3	25	3
2000	20	Ca2000S20	3	25	3
2000	30	Ca2000S30	3	25	3
2000	40	Ca2000S40	3	25	3
3000	0	Ca3000S0	3	25	3
3000	20	Ca3000S20	3	25	3
3000	30	Ca3000S30	3	25	3
3000	40	Ca3000S40	3	25	3

TUE: Tamaño de cada parcela experimental, 25 m²

E. MEDICIONES EXPERIMENTALES

Las mediciones experimentales consideradas fueron:

- Altura de planta para gramíneas y leguminosas a los 30, 45, y 60 días en el primero y segundo corte
- Producción de Forraje-biomasa (materia verde y seca) al primer y segundo corte.

- Composición botánica para gramíneas, leguminosas y malezas al primer y segundo corte.
- Tasa de extracción de nutrientes

F. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Los datos experimentales obtenidos, fueron procesados en el Sistema MSTAT v.2.1, SPSS.v.10 y Excel 2003, en los que se realizaron los siguientes análisis estadísticos:

- Análisis de Varianza ordenación múltiple para las diferencias entre medias de niveles de Calcio, Niveles de Azufre y la interacción
- Separación de medias según Tukey a los niveles de significancia $\alpha < .05$ y $\alpha < .01$
- Análisis de correlación y regresión

Cuadro 5. ESQUEMA DEL ADEVA

F.V.	Grados de libertad
TOTAL	47
Bloques	2
Entre niveles de Ca	3
Entre niveles de S	3
Interacción A x B	9
Error Experimental	30

G. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

1. De campo

En razón de que los pastos se encontraban establecidos, se localizó el lote agostado y se procedió a hacer el corte de igualación del pasto, luego se realizaron las siguientes actividades:

- Se laboró el suelo con un tractor provisto de una rastra destrabada, y pasarla 3 veces por el terreno.
- La fertilización base aplicada constó de 45 Kg de SFT y 40 Kg de Urea por hectárea a todas las parcelas por igual.
- Las parcelas experimentales se dividieron con estacas y piola para la aplicación de los tratamientos al cual se le puso su respectivo cartel.
- El encalado se realizó en base a cada nivel. 0, 1000, 2000, 3000 Kg/ha.
- Una semana después del encalado se aplicó el azufre en sus niveles 0, 20, 30, 40 Kg/ha.

2. Evaluaciones experimentales

a. Altura de la planta

Este parámetro se registró a los 30, 45 y 60 días de edad, se la realizó por medio de una regla graduada en cm, tomando la distancia desde la base del suelo hasta la media terminal de la hoja más alta. Se consideró una muestra al

azar de 10 plantas en los surcos intermedios para sacar un promedio general del tratamiento y eliminar el efecto del borde.

b. Producción de forraje

Es la cantidad de forraje cosechado por parcela multiplicando por la superficie de una hectárea y dividida para la superficie de la parcela y transformada a toneladas métricas:

$$\text{Prod. Forraje} = \frac{\text{Produc. forraje Kg/parcela} \times 1 \text{ Ha}}{\text{Superficie de la parcela}} \times \frac{1 \text{ Tn}}{1000 \text{ Kg}}$$

c. Producción de materia seca

Se cortó 1 m² de cada unidad experimental a la cual se la pesó y enfundo en fundas de papel para que el forraje se deshidrate a la sombra y poder obtener el peso de la muestra en materia seca.

d. Composición botánica

Se evaluó la composición Botánica de cada parcela con ayuda del caballete de punto de contacto, para determinar la presencia de gramíneas, leguminosas y malezas y sus resultados expresarlos en porcentaje.

e. Análisis foliar para medir la taza de extracción

Para los análisis foliares se envió las muestras de forraje en materia seca al Laboratorio de Suelos de la Facultad de Recursos Naturales de la ESPOCH. Riobamba.

IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. EFECTO DEL NIVEL DE CALCIO SOBRE EL COMPORTAMIENTO DE LA PRADERA

1. Primer Corte

El comportamiento mostrado por la pradera conformada por la mezcla de gramíneas y leguminosas por efecto de la utilización de diferentes niveles de calcio empleado en el encalado de los suelos, se reportan en el cuadro 6, de donde se desprende el siguiente análisis:

a. **Altura de las gramíneas según la edad de corte, cm**

La realización del encalado del suelo con diferentes niveles de CaCO_3 , no afectaron estadísticamente la altura de las plantas de las gramíneas durante los períodos de evaluación, aunque numéricamente las menores alturas se registraron en las plantas de las parcelas sin encalar (control), que presentaron alturas de 8.84, 10.84 y 14.70 cm, a los 30, 45 y 60 días de edad, respectivamente, en tanto que con los niveles 1000 y 2000 kg/ha de CaCO_3 , las alturas de las plantas fueron mayores a los 30 días (9.75 y 9.78 cm, en su orden) y 45 días de edad (11.75 y 11.78 cm, respectivamente), en tanto que a los 60 días, se mantiene la mayor altura con el nivel 1000 kg de CaCO_3 /ha (15.65 cm), le sigue el nivel con 3000 kg de CaCO_3 /ha con una altura de 15.17 cm, y por ultimo los niveles de 0 y 2000 kg de CaCO_3 /ha respectivamente pudiendo

deberse estas alturas registradas al tipo de gramíneas que conforman el pastizal como son *Pennisetum clandestinum* (kikuyo), *Lolium perenne* (rye grass perenne), *Holcus lanatus* (holco) y *Dactylis glomerata* (pasto azul), mismas que no alcanza grandes alturas, ya que si se toma como ejemplo el holco, Huebla (2001), estableció una altura de planta 15.18 cm en la etapa de floración.

Por otra parte, las respuestas obtenidas por Guzmán (2003), quien en praderas establecidas con kikuyo, rye grass perenne, holco y pasto azul, reportó que las alturas medias de las gramíneas en dos cortes consecutivos con encalados de suelo con dosis de 0, 2000, 3000 y 4000 kg de calcio/ha, fue de 24.8 a 26.9 cm, valores que son superiores a los del presente estudio, posiblemente se deban a que este investigador evaluó estos pastos en combinación con la siembra de alfalfa, la misma que incorpora nitrógeno al suelo por medio de las bacterias nitrificantes que posee la alfalfa, ya que Ruiz (1999), señala que la presencia de calcio en el suelo mejora la absorción del Nitrato en especial bajo condiciones de excesos de humedad y/o temperaturas bajas.

b. Altura de las leguminosas según la edad de corte, cm

Las alturas de las plantas de las leguminosas a los 30 días de edad presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$), por efecto de los niveles de CaCO_3 empleados, registrándose la menor altura (6.03 cm) en las leguminosas de las praderas sometidas a encalados con 3000 kg de CaCO_3 /ha, en cambio que la mayor respuesta (7.37 cm) se registró en las leguminosas de las praderas sin encalar, encontrándose respuestas intermedias (que comparten

los dos rangos de significancia) cuando se utilizó 1000 y 2000 kg de CaCO_3/ha , ya que las alturas encontradas fueron de 6.38 y 7.23 cm, respectivamente.

A los 45 días, la menor altura de las leguminosas (7.53 cm) siguió siendo de las desarrolladas en los praderas encaladas con 3000 kg de CaCO_3/ha , que difiere estadísticamente ($P < 0.05$) con la mayor altura (8.87 cm) que registraron las leguminosas en los potreros sin encalar.

A los 60 días, se mantiene que en las praderas sin encalar se desarrollan de mejor manera las leguminosas, pues registraron alturas de 13.97 cm, en tanto que al aplicar los diferentes niveles de CaCO_3 , la altura alcanzada fue menor que las anteriores (de 11.78 a 11.34 cm), por lo que se establecen entre estos grupos diferencias significativas pero al nivel de $P < 0.10$, debiendo anotarse que la leguminosa evaluada es el trébol blanco, la misma que no presenta un desarrollo erecto, por el contrario, se trata de una herbácea perenne de tallos reptantes (Encarta, 2004), de ahí que estos valores están muy por debajo del estudio de Guzmán (2003), quien determinó la altura de las leguminosas entre 25.0 y 28.7 cm, cuando utilizó diferentes niveles de CaCO_3 en el encalado de los suelos, aunque ésta corresponde a una evaluación de la altura de la alfalfa, que tiene un crecimiento erecto, y en otra zona agroecológica como es el Bosque húmedo montano bajo (bh mB) que tiene características ambientales distintas en relación a las del lugar donde se desarrollo el presente estudio.

Realizando el análisis de la regresión del crecimiento de las plantas tomando como referencia la altura en función de la edad de la planta, tanto de las gramíneas como de las leguminosas, se establecieron en todos los casos tendencias cuadráticas altamente significativas, que determinan que las plantas presentan un crecimiento ascendente, pero no en una forma proporcional, como se demuestra en los gráficos 1, 2, 3 y 4.

c. Producción de Materia verde, Tn/ha

Las medias de la producción de materia verde (M.V) determinadas por efecto de la aplicación de diferentes niveles de CaCO_3 en las praderas, presentaron diferentes grados de significancia a través de la prueba de Tukey, (cuadro 6), encontrándose la mayor producción (6.60 Tn de M.V./ha) en las praderas donde no se realizó el encalado, valor que comparte el rango de significancia con la respuesta obtenida con el empleo de dosis de 2000 kg de CaCO_3 /ha, con la cual se registró una producción de 6.11 Tn de M.V./ha, en tanto que al utilizarse 3000 kg de CaCO_3 /ha se obtuvo apenas 4.73 Tn de M.V./ha, por lo que mediante el análisis de la regresión se estableció una tendencia cúbica altamente significativa (gráfico 5), que determina que a medida que se incrementa los niveles de CaCO_3 en la pradera, la producción de forraje es intermitente, por cuanto con el empleo de 1000 kg/ha, la producción tiene a reducirse, incrementándose con niveles superiores hasta los 2000 kg/ha, y decaer con niveles superiores hasta los 3000 kg/ha.

Los valores encontrados en el presente trabajo, son inferiores a los reportados por Guzmán (2003), quien al emplear diferentes niveles de CaCO_3 (0, 2000, 3000 y 4000 kg/ha) en el encalado de los suelos, además de diferentes dosis de semilla de alfalfa, registró producciones de 23.70 a 27.81 Tn/ha, indicando además que a medida que incrementa los niveles de CaCO_3 , la producción de forraje es mayor, por lo que las diferencias con el presente trabajo puede deberse a varios factores, como es el caso de la leguminosa evaluada, ya que el trébol blanco por ser de crecimiento rastrero presenta una menor producción de forraje, por otra parte, también puede ser efecto al aporte del nitrógeno al suelo a través de la alfalfa, lo que no sucede en el presente trabajo, por tanto se confirma lo señalado por Ruiz (1999), quien indica que la adición de calcio al suelo mejora la absorción del Nitrato por parte de las plantas, en condiciones de temperaturas bajas, incrementándose por consiguiente la producción de materia verde.

d. Producción de Materia seca, Tn/ha

En las producciones de materia seca de los pastizales se advirtieron diferencias altamente significativas ($P < .01$) entre las medias de producción de los suelos sin encalar, por cuanto se registró la mayor cantidad (1.64 Tn/ha), respecto a las medias obtenidas por efecto de la adición de calcio al suelo, que presentaron menores respuestas que estuvieron entre 1.16 y 1.27 Tn/ha, que

corresponde al empleo de los niveles 3000 y 2000 kg de CaCO_3/ha , respectivamente, por lo que mediante el análisis de la regresión, se estableció una tendencia cuadrática altamente significativa, que se reporta en el gráfico 6, de donde se desprende que la producción de forraje en materia seca de los pastizales se reducen a medida que se incorpora al suelo el CaCO_3 hasta la dosis de 2000 kg/ha, manteniéndose la producción con niveles hasta los 3000 kg/ha.

Al realizar la comparación de estos resultados con los reportados por Guzmán (2003), quien determinó producciones de materia seca de 4.07 Tn/ha en suelos sin encalar, valor que se incrementa a medida que eleva el aporte de CaCO_3 al suelo, hasta las dosis de 4000 kg/ha obteniendo producciones de 5.72 Tn/ha, por lo que se puede establecer que el comportamiento señalado por este autor, no se confirma en el presente trabajo, ya que se observó una tendencia inversa a la señalada, diferencias que pueden deberse al tipo de leguminosa que conforma la pradera, ya que la alfalfa presenta mejores respuestas productivas que el trébol blanco, por las mismas características de desarrollo de estas plantas, así como a otros factores, entre los que se pueden mencionar, la edad del pastizal, el sistema de pastoreo y definitivamente la calidad de los suelos, en el contenido de los nutrientes básicos para las plantas.

e. Composición botánica de la pradera, %

En la composición botánica de la pradera que representa al total de plantas de gramíneas, leguminosas y melazas, los niveles de CaCO_3 empleados no afecta

ron estadísticamente los resultados obtenidos, aunque numéricamente en los pastizales sin encalar se registró el menor contenido de gramíneas (89.45 %), mayor contenido de leguminosas (8.08 %) y malezas (2.47 %), en cambio, cuando se empleo 1000 kg de CaCO_3/ha , se registró el mayor contenido de gramíneas (91.60 %), pero menor contenido de leguminosas (7.08 %) y malezas (1.33 %), que son los dos casos extremos (gráfico 7), valores que comparados con los que reporta Guzmán (2003), quien al evaluar diferentes niveles de CaCO_3 (0, 2000, 3000 y 4000 kg/ha) en el encalado de los suelos, además de diferentes dosis de semilla de alfalfa, registró composiciones botánicas que variaron en las gramíneas entre 53.6 y 68.0 %, las leguminosas entre 26.4 y 46.3 %, y otras especies de 0 a 1.4 %, notándose que en el reporte de este autor, la composición botánica contiene mayor aporte de leguminosas, de ahí, que posiblemente los parámetros de producción fueron superiores, por otra parte, se determina que estos pastizales parecen no aportar con los nutrientes necesarios, por cuanto Benítez (1980), señala que un buen pastizal debe estar conformado aproximadamente entre 70 y 80 % de gramíneas, 20 a 30 % de leguminosas y un 10 % de malezas, observándose en los pastizales evaluados, que el numero de gramíneas es muy superior en cambio la cantidad de leguminosas y malezas es inferior.

2. Segundo Corte

El efecto causado en el segundo corte de los pastizales debido a la utilización de diferentes niveles de carbonato de calcio para el encalado de los suelos, se reportan en el cuadro 7, desprendiéndose el siguiente análisis:

a. Altura de las gramíneas según la edad de corte, cm

Las alturas alcanzadas a los 30 días de evaluación para el segundo corte, numéricamente se establece que tiende a incrementarse a medida que se eleva el aporte de CaCO_3 al inicio del estudio (antes del primer corte), pues se registraron valores de 14.00, 14.12, 14.61 y 15.18 cm, en las gramíneas obtenidas de los pastizales encalados con 0, 1000, 2000 y 3000 kg/ha, respectivamente.

A los 45 días las mejores alturas numéricamente se registraron en las plantas de las parcelas cuando se utilizó 1000 y 2000 kg/ha de CaCO_3 , con alturas de 20.07 y 20.20 cm, mientras que en los pastizales del grupo control (sin encalar), la respuesta obtenida fue menor, presentando un valor de 18.93 cm.

En las respuestas a los 60 días de edad para el segundo corte, las diferencias fueron significativas al nivel de $P < 0.10$, notándose que cuando se utiliza niveles altos de CaCO_3 (3000 kg/ha), la altura de la planta fue menor (24.38 cm), en cambio, la mejor respuesta se consiguió empleando 1000 kg/ha de CaCO_3 , registrándose alturas de 28.38 cm, valor que es similar a los determinados en las plantas de pastizales sin encalar y con el nivel 2000 kg/ha, que presentaron plantas con alturas de 28.06 cm, en ambos casos.

Estas respuestas al segundo corte son superiores a las registradas en el primer corte, existiendo superioridades de aproximadamente 6 cm, a los 30 días, 10 cm a los 45 días y duplicándose su altura hasta los 60 días, pues de 14.70 cm

del primer corte alcanzaron los 28.06 cm en el segundo corte, en las plantas del grupo control, presentando similar comportamiento en los otros grupos evaluados.

Las respuestas obtenidas en esta fase de evaluación, son superiores respecto a las reportadas por Guzmán (2003), quien al utilizar de igual manera CaCO_3 para encalar el suelo, registró alturas de las gramíneas en dos cortes consecutivos de 24.8 a 26.9 cm, (valores citados también para el primer corte, por cuanto no reporta las respuestas por separado), lo que denota que las plantas requieren de un tiempo apropiado hasta que el calcio proporcionado en el suelo, este disponible para que sea absorbido por las plantas y se refleje sus resultados a través del desarrollo y crecimiento de sus tejidos, por consiguiente se ratifica lo que señala Ruiz (1999), en que la presencia de calcio en el suelo mejora la absorción del Nitrato de los suelos que se encuentran a temperaturas bajas.

b. Altura de las leguminosas según la edad de corte, cm

Las alturas de las plantas de las leguminosas a los 30 días de edad para el segundo corte, por efecto de los niveles de CaCO_3 empleados registraron diferencias significativas al nivel de $P < 0.10$, observándose la mayor altura (10.60 cm) en las plantas de las praderas que no fueron encaladas, en cambio, cuando se utilizó 1000 kg/ha se registró la menor respuesta (9.73 cm), que son los casos opuestos, mientras que los otros grupos evaluados (2000 y 3000 kg/ha), presentaron respuestas entre las anotadas y comparten los rangos de significancia, establecidos.

A los 45 días, las diferencias estadísticas fueron más notorias, notándose la superioridad de las leguminosas de las praderas que no se encaló el suelo, que presentaron alturas de 15.95 cm, no así cuando se aplicó al suelo el CaCO_3 cuyas respuestas fueron entre 12.95 y 13.49 cm, con el empleo de los niveles 2000 y 3000 kg/ha, respectivamente.

Registrándose a los 60 días un comportamiento similar, aunque el análisis de varianza no registró diferencias estadísticas, pero al aplicar la prueba de Tukey se estableció la mejor respuesta en las praderas del grupo control, ya que estas plantas alcanzaron una altura de 22.20 cm, que fueron notablemente superiores a las alturas alcanzadas por las plantas de las praderas que se encalaron con CaCO_3 , presentando valores entre 19.14 y 19.95 cm.

Estos valores comparados con los registrados en el primer corte, son superiores, ya que hasta los 60 días de edad para el primer corte la altura de las plantas fueron entre 11.34 a 13.97 cm y para el segundo corte alcanzaron entre 19.14 y 22.20 cm, notándose un incremento alrededor de 8.0 cm, pero cuya diferencia puede deberse al efecto de labranza mínima más no al efecto de los niveles de calcio empleados, pues las mejores respuestas se determinaron en los pastizales que no se encalaron.

Mediante el análisis de la regresión del crecimiento de las plantas para el segundo corte de cada uno de los tratamientos evaluados, de acuerdo a la edad del pasto, se establecieron tanto para las gramíneas como para las leguminosas tendencias cuadráticas altamente significativas, que determinan

que las plantas presentan un crecimiento ascendente, pero no en una forma proporcional, como se observa en los gráficos 8, 9, 10 y 11.

c. Producción de Materia Verde (MV), Tn/ha

La producción de materia verde de las pastizales sin encalar fue de 21.46 Tn/ha, que difiere estadísticamente con las producciones alcanzadas por efecto de la aplicación de CaCO_3 en las praderas, que se redujeron entre 15.60 y 17.00 Tn/ha, cuando se utilizó 1000 y 3000 kg/ha, por lo que mediante el análisis de la regresión se estableció una tendencia cúbica altamente significativa (gráfico 12), que determina que a medida que se incrementa los niveles de CaCO_3 en la pradera la producción de forraje se reduce cuando se emplea 1000 kg/ha, incrementándose con niveles superiores hasta los 2000 kg/ha, y reducirse ligeramente la producción con niveles de hasta 3000 kg/ha, comportamiento que puede deberse a que las leguminosas relativamente, no siempre requieren un nivel alto de calcio para su producción.

Los valores encontrados en esta fase siguen siendo inferiores a los reportados por Guzmán (2003), quien evaluó varios niveles de CaCO_3 (0, 2000, 3000 y 4000 kg/ha) y diferentes dosis de semilla de alfalfa, ya que registró producciones de 23.70 a 27.81 tn/ha.

d. Producción de Materia seca, Tn/ha

De una producción de 3.04 Tn de forraje en materia seca/ha de los pastizales sin encalar, se redujo significativamente entre 2.44 a 2.48 Tn/ha, cuando se realizó el encalado de los suelos con 1000 y 3000 kg/ha con CaCO_3 , lo que determina que la adición de calcio en el suelo de estos potreros no favoreció la producción de forraje, ya que mediante el análisis de la regresión, se estableció una tendencia cúbica altamente significativa, que se reporta en el gráfico 13, de donde se desprende que la producción de forraje en materia seca de los pastizales se reducen cuando se incorpora al suelo 1000 kg/ha de CaCO_3 , para elevarse levemente la producción con niveles superiores y volver a decaer con niveles de hasta los 3000 kg/ha.

Las producciones obtenidas en el segundo corte, tanto de materia verde como en materia seca, son superiores a las encontradas en el primer corte, ya que en esta fase la producción fue aproximadamente entre tres a cuatro veces la producción inicial, pues si tomamos como referencia los valores registrados en los pastizales encalados con 3000 kg/ha con CaCO_3 , que fueron de 4.73 Tn de materia verde/ha en el primer corte, al segundo corte se alcanzó las 17.00 Tn/ha, sucediendo algo similar con respecto a la producción en materia seca, aunque estas diferencias son menores, ya que equivalen a 1.16 y 2.48 Tn de materia seca/ha, respectivamente.

e. Composición botánica de la pradera, %

En la composición botánica de la pradera, el análisis de varianza no registró diferencias estadísticas entre las medias obtenidas, pero al aplicarse la prueba de Tukey, se establecieron diferentes rangos de significación, tanto para la cantidad de gramíneas, como en las leguminosas y melazas, mismas que se reportan en el cuadro 7, donde se observa que todas las medias presentan diferentes rangos de significancia, por lo que el análisis de la regresión determinó tendencias cuadráticas altamente significativas, mismas que se reportan en el gráfico 14, de donde se desprende que la cantidad de plantas de gramíneas de los suelos sin encalar (66.09 %) se incrementa con la aplicación de 1000 kg/ha (72.53 %), para reducirse con niveles superiores hasta los 3000 kg/ha (67.91 %), sucediendo lo inverso con las leguminosas, que de la mayor cantidad de los pastizales sin encalar (22.71 %), con la aplicación de 1000 kg/ha se reduce la presencia de plantas (16.96 %), para incrementarse conforme se incrementa los niveles (19.87 %, con el nivel 2000 kg/ha y 20.49 % con el nivel 3000/kg/ha), similar comportamiento se observó en la presencia de malezas, ya que se establecieron valores de 11.20, 10.14, 9.61 y 13.44 %, para los tratamientos de aplicación de CaCO_3 de 0, 1000, 2000 y 3000 kg/ha, en su orden.

Estos valores demuestran que la composición botánica se ve alterada por efecto de los niveles de carbonato de calcio empleados para encalar el suelo, favoreciéndose principalmente el desarrollo de las leguminosas y malezas, no así las gramíneas que su presencia fue baja respecto a la cantidad encon-

trada al primer corte (89.45 a 91.60 %), pero los valores al segundo corte se enmarcan a la recomendación de Benítez (1980), quien señala que un buen pastizal debe estar conformado aproximadamente entre 70 y 80 % de gramíneas, 20 a 30 % de leguminosas y el 10 % de malezas.

3. Análisis químico foliar

Mediante el análisis proximal del forraje (mezcla de gramíneas, leguminosas y malezas) obtenido de los pastizales que se encalaron con diferentes niveles de CaCO_3 , se reporta en el cuadro 8, debiendo indicarse que estos resultados pasan a ser referenciales, por cuanto, bibliográficamente no se han reportado resultados en base a una composición botánica similar de otros pastizales.

a. Contenido de nitrógeno, %

Las medias del contenido de nitrógeno de los diferentes pastizales evaluados, mostraron diferencias altamente significativas ($P < 0.01$), encontrándose el mayor contenido (2.33 %) en los forrajes de los potreros que no se encalaron, compartiendo su rango de significancia con los valores registrados en los potreros que se encalaron con 2000 y 3000 kg/ha de CaCO_3 , ya que presentaron contenidos de 2.09 y 2.16 % de proteína, en su orden, mientras que el menor valor les correspondió a los forrajes de los potreros encalados con 1000 kg/ha. Estas respuestas al parecer determinan que las plantas asimilaron los nutrientes disponibles en el suelo, sin responder a la cantidad de calcio utilizado.

b. Contenido de fósforo, %

Respecto al contenido de fósforo (cuadro 8), se estableció de igual manera el mayor contenido (1.25 %) en los forrajes de los potreros sin encalar, valor que difiere estadísticamente con las respuestas obtenidas de los forrajes de los potreros en los que se aplicó los diferentes niveles de calcio, pues presentaron contenidos de fósforo entre 1.06 y 1.14 %, que no difieren significativamente entre estos, y que corresponde a los forrajes de los potreros encalados con 2000 y 1000 kg/ha de CaCO_3 , estos valores obtenidos confirma lo señalado por Vivas, Guaita y Quaino (1999), que estudiaron la interacción del P y el Ca en la producción de MS de alfalfa y la evolución del P extractable luego de la fertilización fosfatada y la enmienda cálcica, determinando que el efecto de estos tratamientos no es significativo en la composición química de los forrajes, ya que la acción del calcio fue similar para todos los niveles evaluados.

c. Contenido de potasio, %

Para el contenido de potasio las diferencias entre las medias fueron altamente significativas, con las mejores respuestas (1.84 %), en los forrajes obtenidos de los potreros que se aplicó la mayor cantidad de CaCO_3 (3000 kg/ha), seguidos de los pastizales encalados con el nivel 1000 kg/ha, cuyos pastos presentaron un contenido de 1.76 % de potasio, mientras que el menor contenido de este macroelemento (1.18 % de K), fue en los forrajes de los potreros encalados con 2000 kg/ha de CaCO_3 , notándose por consiguiente que no hay un comportamiento definido por efecto de los niveles de CaCO_3 empleados, por

cuanto en los forrajes de los potreros del grupo control, el contenido de este nutriente fue superior al menor valor registrado y que corresponde al empleo del nivel 1000 kg/ha.

d. Contenido de calcio, %

El mayor contenido de calcio se registró en los forrajes obtenidos de los potreros que se aplicaron los mayores niveles de CaCO_3 (3000 kg/ha), con un contenido de 0.18 %, valor que estadísticamente comparte el rango de significancia con las cantidades determinadas en los forrajes de los potreros sin encalar y con la aplicación de dosis de 1000 kg/ha, que presentaron contenidos de 0.16 y 0.14 %, respectivamente, pero difiere significativamente con las respuestas obtenidas cuando se encaló el suelo con 2000 kg/ha CaCO_3 , que registraron un contenido de 0.12 % de calcio, valores que permiten indicar que la absorción del calcio proporcionado dependió de la capacidad de la planta en aprovechar este nutriente mediante el encalado, ya que los valores del contenido de los forrajes no guardan relación con las dosis aplicadas, aunque solamente en el caso que se utilizó la mayor dosis, presentaron el mayor contenido, en cambio que el contenido de los forrajes de los potreros sin encalar (sin adición de CaCO_3), fue superior que cuando se utilizó las dosis de 1000 y 2000 kg/ha.

e. Contenido de Azufre, %

Respecto al contenido de azufre encontrado en los forrajes de la

praderas evaluadas, las medias obtenidas presentaron diferencias estadísticas ($p < 0.01$), correspondiéndole el mayor contenido (0.22 %), a los forrajes obtenidos de la praderas en las que se aplicó 2000 kg/ha, seguidas de las respuestas de los potreros encalados con 1000 y 3000 kg/ha de CaCO_3 que presentaron contenidos de 0.17 y 0.15 %, en su orden, mientras que la menor respuesta fue en los forrajes de los pastizales sin encalar que presentaron un contenido de azufre de 0.09 %, por lo que se puede considerar que el encalado del suelo de los pastizales favorece la asimilación del azufre, ya que los valores determinados en su mayoría se encuentran entre los valores referencias que señalan Guerrero y Tello (2002), quienes indican que la materia seca de las hojas jóvenes deben contener más del 0,15 a 0,20% S, aunque el valor crítico depende del cultivo y disminuye con la edad de las hojas.

B. EFECTO DEL NIVEL DE AZUFRE SOBRE EL COMPORTAMIENTO DE LA PRADERA

1. Primer Corte

Los resultados del comportamiento de los pastizales por efecto de la utilización de diferentes niveles de azufre micronizado, se reportan en el cuadro 9, los mismos que se analizan a continuación:

a. Altura de las gramíneas según la edad de corte, cm

La aplicación de los diferentes niveles de azufre, no afectaron la altura de las gra-

míneas, ya que las respuestas presentaron ser estadísticamente similares en cada uno de los períodos evaluados, por cuanto a los 30 días, las plantas de las gramíneas presentaron alturas entre 8.54 y 9.78 cm, a los 45 días entre 10.54 y 11.88 cm y a los 60 días de 14.37 a 15.78 cm, es decir, las diferencias entre las alturas en cada uno de los períodos fue de más o menos 1 cm, pudiendo indicarse que la cantidad de azufre incorporado al suelo no influyó en el crecimiento de las plantas.

Las respuestas finales obtenidas de la altura de las gramíneas son inferiores a las reportadas por Llumiquinga (2003), quien en praderas establecidas con kikuyo, rye grass perenne y pasto azul como gramíneas y trébol blanco en las leguminosas, aplicó fertilización con diferentes niveles de Nitrógeno (40, 60, 80 kg de N/ha) y Azufre (25, 50, 75, 100 kg/ha), más la adición de Fósforo y Potasio en cantidades fijas (90 kg/ha, de cada uno), reportó que las alturas medias de las gramíneas en el primer corte fueron entre 13.9 cm en el grupo testigo (sin fertilización) y 29.4 cm con la aplicación de 25 kg/ha de azufre, aunque el valor inferior que reporta este investigador se encuentra por debajo de las alcanzadas en el presente trabajo, mientras que las otras respuestas son superiores, debido a que el azufre con el complemento de los otros nutrientes que aportó, como son el nitrógeno, fósforo y potasio, son elementos indispensables en la nutrición de las plantas y que mejoran su crecimiento.

b. Altura de las leguminosas según la edad de corte, cm

En las alturas de las plantas de las leguminosas, se encontró que los niveles de

azufre empleados afectaron estadísticamente ($P < 0.10$) el desarrollo de las plantas, registrándose las mejores alturas al emplear dosis de 30 kg/ha, no así cuando se utilizó dosis de 40 kg/ha, que presentaron las menores respuestas, en los tres períodos de evaluación (30, 45 y 60 días de edad del pasto).

En este entorno, las leguminosas de los pastizales fertilizados con 30 kg/ha de azufre, presentaron alturas de 7.33, 8.83 y 13.03 cm, a los 30, 45 y 60 días de edad, respectivamente, frente a 6.12, 7.62 y 12.10 cm de las plantas fertilizadas con 40 kg/ha de azufre, en el mismo orden, en cambio que las plantas de los otros tratamientos (control, 20 y 40 kg/ha), presentaron respuestas entre las mencionadas.

En estas respuestas hay que considerar lo indicado por Russell (1992), quien indica que las leguminosas son exigentes de azufre, pero cuando se emplea altas concentraciones de sulfatos en el medio nutritivo, el crecimiento de las plantas es afectado adversamente, ya que los síntomas de toxicidad es una reducción del crecimiento (Guerrero y Tello, 2002), observándose este comportamiento cuando se empleo el mayor nivel evaluado (40 kg/ha).

Considerando el reporte de Llumiquinga (2003), quien al emplear fertilización con diferentes niveles de nitrógeno y azufre más fósforo y potasio, señaló que las leguminosas alcanzaron alturas entre 17.0 y 21.3 cm, respuestas que son superiores a las determinadas en el presente trabajo, pero con la consideración que el azufre más nitrógeno, fósforo y potasio, presentan un mayor aporte nutritivo, para que las plantas se desarrollen de mejor manera.

Mediante el análisis de la regresión de la altura de las plantas tanto de gramíneas como las leguminosas, en función de la edad, se establecieron en todos los casos tendencias cuadráticas altamente significativas, que determinan que las plantas presentan un crecimiento ascendente, pero no en una forma proporcional, como se demuestra en los gráficos 15, 16, 17 y 18.

c. Producción de Materia verde, Tn/ha

La incorporación de azufre al suelo mejoró la producción de materia verde (M.V), pues de 4.65 Tn/ha de forraje logrado de los pastizales sin la aplicación de azufre, se incremento a 6.02 y 6.16 Tn/ha, en los pastizales que se fertilizaron con 20 y 40 kg de azufre/ha, en su orden, por lo que la prueba de Tukey estableció diferentes grados de significancia en estos grupo, mientras que el análisis de la regresión estableció una tendencia cuadrática altamente significativa, que se reporta en el gráfico 19, donde se aprecia que la producción de forraje verde se incrementa con la adición de hasta 30 kg de azufre, manteniéndose esta producción con niveles de hasta 40 kg/ha, comportamiento que se ratifica con lo enunciado por Russell (1992), quien indica que la aplicación de azufre a los suelos de diferentes cultivos produce un efecto favorable en el rendimiento o producción.

Los valores reportados son inferiores respecto a los obtenidos por Llumiquinga (2003), quien al emplear diferentes niveles de Nitrógeno y Azufre más Fósforo y Potasio, alcanzó producciones entre 13.5 y 17.3 Tn/ha, diferencias que pueden deberse al aporte de los nutrientes que emplea este investigador, como

son el nitrógeno, azufre, fósforo y potasio, que aprovechan las plantas para incrementar su producción.

d. Producción de Materia seca, Tn/ha

En las producciones de materia seca (MS) de los pastizales se advirtieron diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) entre las medias por efecto de la fertilización con azufre, registrándose la mayor producción (1.658 Tn/ha de MS) cuando se utilizó el nivel mayor nivel (40 kg/ha), seguidas de las producciones de los pastizales fertilizados con 20 y 30 kg/ha, de las cuales se obtuvo 6.02 y 6.05 Tn/ha de MS, mientras que la producción de los suelos sin la adición de azufre produjo la menor cantidad de MS (0.89 Tn/ha), determinándose a través del análisis de la regresión una tendencia cúbica altamente significativa (gráfico 20), que determina que cuando se incorpora al suelo 20 kg/ha de azufre, la producción se eleva, manteniéndose con niveles 30 kg/ha y elevándose con niveles de hasta 40 kg/ha, pero que en todo caso, las respuestas obtenidas pueden deberse a lo que indica Russell (1992), en que el azufre tiene un efecto favorable sobre el rendimiento y la calidad de la cosecha, en el mismo sentido Bornemisza, (1990) sugiere reponer el azufre extraído por las plantas aplicando hasta 41 Kg de S por ha, que concuerda con el mayor nivel utilizado en el presente trabajo y con el cual se obtuvo la mayor producción de materia seca.

Los resultados obtenidos son inferiores respecto a los alcanzados por Llumiquinga (2003), quien determinó producciones entre 2.1 a 3.5 Tn/ha de materia seca en praderas con especies vegetales similares, indicándose que la

superioridad demostrada por el investigador citado, puede deberse a que utilizó una fertilización completa, es decir, adicionó diferentes niveles de nitrógeno y azufre así como fósforo y potasio, por consiguiente, las plantas tuvieron a disposición un mayor aporte de nutrientes, lo que favoreció la producción de esa pradera.

e. Composición botánica de la pradera, %

En la composición botánica de la pradera se registró diferencias estadísticas al nivel de $P < 0.10$, en la presencia de gramíneas, leguminosas y malezas, por efecto de los niveles de azufre empleados, resultados que se observan en el cuadro 9.

La presencia de la menor cantidad de gramíneas se observó en los pastizales sin la aplicación de fertilizantes, cantidad que se fue incrementando a medida que se incrementó los niveles de azufre empleados, pues los valores determinados fueron de 89.54, 90.51, 90.93 y 91.38, cuando se empleo niveles de azufre de 0, 20, 30 y 40 kg/ha, respectivamente, por lo que el análisis de la regresión determinó una tendencia lineal altamente significativa (gráfico 21).

Respecto a la cantidad de leguminosas, la tendencia registrada mediante el análisis de la regresión fue cuadrática altamente significativa (gráfico 21), que determina la mayor cantidad de leguminosas (9.14 %) en los pastizales sin la adición de azufre, decreciendo (6.52 %) cuando se utilizó el nivel 20 kg/ha, para elevarse nuevamente con los niveles 30 y 40 kg/ha.

Con relación a las malezas, la tendencia cuadrática fue inversa a la determinada en las leguminosas, por cuanto de 1.32 % de malezas de los pastizales, esta se eleva a 2.98 % cuando se utilizó el nivel de azufre de 20 kg/ha, reduciéndose su presencia con la aplicación de niveles superiores de azufre, pues se registró valores de 1.61 y 0.92 %, cuando se utilizó 30 y 40 kg/ha.

Tomando en consideración la composición botánica determinada por Llumiquinga (2003), quien señala que las praderas que evaluó contenían entre 87.0 y 95.0 % de gramíneas, 2.1 a 3.4 % de leguminosas y de 0.2 a 1.9 % de malezas, se puede considerar que la presencia de gramíneas y malezas, guardan relación con el presente trabajo, no así respecto a las leguminosas, pero que en ambos casos, no se ajustan a la recomendación de Benítez (1980), quien señala que un buen pastizal debe estar conformado aproximadamente entre 70 y 80 % de gramíneas, 20 a 30 % de leguminosas y un 10 % de malezas.

2. Segundo Corte

Las respuestas obtenidas en el segundo corte del pastizal por efecto de los niveles de azufre empleados, se reportan en el cuadro 10, mismas que se analizan a continuación:

a. Altura de las gramíneas según la edad de corte, cm

Las alturas alcanzadas a los 30 días de evaluación para el segundo corte, no

fueron diferentes estadísticamente, presentando alturas entre 14.13 y 14.84 cm, que son los dos casos extremos y que corresponde a las plantas de los pastizales fertilizados con 30 y 40 kg/ha de azufre, en cambio a los 60 días las diferencias son significativas al nivel de $P < 0.10$, registrándose la mayor altura (20.87 cm) en las gramíneas de las parcelas que recibieron 40 kg/ha de azufre, en tanto que las menores alturas (19.11 y 19.22 cm) se observaron en las gramíneas de los pastizales sin fertilización y de los que se empleó 30 kg/ha, respectivamente.

A los 60 días de edad para el segundo corte, las alturas de las plantas presentaron diferencias altamente significativas, por efecto de los niveles de azufre empleados, notándose que las gramíneas presentaron las mayores alturas (30.07 y 30.77 cm) cuando se utilizó los niveles más altos (30 y 40 kg/ha), en su orden, mientras que la menor respuesta (21.16 cm) se observó en las gramíneas del grupo control (sin fertilización), pero que comparte el rango de significancia con la altura registrada cuando se empleo el nivel 20 kg/ha, que fue de 26.88 cm, denotándose por consiguiente que el azufre produce efectos favorables en las plantas, favoreciendo el crecimiento, lo que a su vez incrementará la producción de forraje, como lo manifestó Russell (1992).

Comparando las respuestas obtenidas en el primer corte (cuadro 9) con las registradas en el segundo corte (cuadro 10), se puede indicar que existen grandes diferencias, llegando a los 60 días de evaluación, casi a duplicarse su altura, que son superiores a los valores reportados por Llumiquinga (2003), quien registró a los 60 días alturas de 28.0 a 29.0 cm en las gramíneas evaluadas, lo que demuestra que el azufre incorporado al suelo, requiere de un

período de tiempo superior a los 60 días para que pueda transformarse y ser aprovechado por las plantas, ya que según Fassbender (1982), en el ciclo del azufre se observan serias transformaciones químicas, debido a procesos que ocurren principalmente por la acción de diferentes microorganismos, produciendo azufre inorgánico oxidado o reducido, liberando H_2S , mismo que es oxidado en sulfato, el cual puede ser fácilmente absorbido por las raíces.

b. Altura de las leguminosas según la edad de corte, cm

Las alturas de las plantas de las leguminosas al segundo corte, para los períodos considerados (30, 45 y 60 días), no fueron diferentes estadísticamente por efecto de la fertilización con azufre en varios niveles, aunque numéricamente, las menores alturas a los 30 y 60 días de evaluación (9.30 y 19.53 cm, respectivamente), se registró en las leguminosas de los pastizales sin la aplicación de azufre, mientras que las plantas más altas a los 30 días (10.75 cm) fue con el empleo de 30 kg/ha, a los 45 días (14.02 cm) con el nivel 30 kg/ha y a los 60 días (20.78 cm) por efecto de 20 kg/ha, valores que son superiores a los determinados por Llumiquinga (2003), quien indica haber alcanzado leguminosas con alturas de 9.8 a 11.4 cm al segundo corte, al emplear fertilización con diferentes niveles de Nitrógeno y Azufre más Fósforo y Potasio.

Las curvas de tendencia de la altura de las plantas de gramíneas como de las leguminosas, en función de la edad, analizadas a través de la regresión, determinaron comportamientos cuadráticos altamente significativos, mismas que se representan en los gráficos 22, 23, 24 y 25.

c. Producción de Materia verde, Tn/ha

El empleo de 30 y 40 kg/ha de azufre al suelo mejoró la producción de materia verde (M.V), pues se registraron producciones de 19.04 y 18.48 Tn/ha, valores que difieren estadísticamente de acuerdo a la Prueba de Tukey (aunque no a través del ADEVA), con las respuestas obtenidas de los pastizales sin la aplicación de azufre así como de la incorporación de 20 kg/ha, ya que las producciones de materia verde fueron de 16.54 y 16.98 Tn/ha, por lo que mediante el análisis de la regresión se estableció una tendencia cúbica altamente significativa que se reporta en el gráfico 26, de donde se desprenden que la producción de forraje se mejora conforme se incrementa la cantidad de azufre al suelo hasta 30 kg/ha, pero con niveles mayores esta tiende a reducirse, lo que posiblemente se deba a los señalado por Guerrero y Tello (2002), quienes reportan que con la utilización de concentraciones altas de azufre, la producción de forraje de las plantas es afectado adversamente, ya que puede producirse síntomas de toxicidad, que a su vez detienen el desarrollo de las plantas.

Los resultados obtenidos por Llumiquinga (2003), en el segundo corte son notablemente inferiores a los obtenidos en el presente trabajo, ya que este investigador señala haber alcanzado producciones de 7.7 a 9.5 Tn/ha, que son inferiores incluso a los datos del primer corte dentro de su estudio (13.5 y 17.3 Tn/ha), a pesar de que realizó una fertilización a base de nitrógeno, azufre, fósforo y potasio, pudiendo deducirse que las diferencias encontradas entre las respuestas enunciadas puedan deberse a la calidad del suelo, así como a la

poca presencia de leguminosas (1.5 a 2.1%) de los pastizales, ya que en este sentido, Grijalva (1995), señala que el mantenimiento de la fertilidad del suelo depende del empleo adecuado de fertilizantes y del manejo del pastizal, siendo beneficiosa la presencia de leguminosas si se requiere elevar la fertilidad del suelo.

d. Producción de Materia seca, Tn/ha

Las producciones medias de materia seca (MS) de los pastizales por efecto de los niveles de azufre empleados, no fueron diferentes estadísticamente, ya que se registraron respuestas entre 2.61 Tn/ha de los pastizales del grupo control (sin la adición de azufre) a 2.81 Tn/ha obtenidas de los pastizales fertilizados con 30 kg/ha, que son los dos valores extremos encontrados, siendo estos resultados superiores a los alcanzados por Llumiquinga (2003), quien señala haber obtenido producciones entre 1.7 a 1.9 Tn/ha de materia seca de praderas con especies vegetales similares, a las del presente trabajo.

e. Composición botánica de la pradera, %

La composición botánica de la pradera, mediante el análisis de varianza no registró diferencias estadísticas entre las medias obtenidas, pero al aplicarse la prueba de Tukey, se establecieron diferentes rangos de significación, tanto para la cantidad de gramíneas, como en las leguminosas y malezas, como se observa en el cuadro 10.

En los pastizales control y los fertilizados con 20 y 30 kg, registraron presencias de 70.23, 69.04 y 70.46 % de gramíneas, valores estadísticamente son similares, pero difieren con la presencia de estas especies en los pastizales fertilizados con 40 kg/ha de azufre, que fue de 66.91 %, lo que demuestra que niveles altos de azufre incorporados al suelo, reducen la presencia de gramíneas, aunque el análisis de la regresión determinó una tendencia cúbica altamente significativa, que determina que la presencia de gramíneas tiende a reducirse con la utilización del nivel 20 kg/ha, incrementándose con el nivel 30 kg/ha para reducirse nuevamente con niveles de hasta 40 kg/ha (gráfico 27).

La mayor cantidad de leguminosas (23.17 %), se registraron en los pastizales sin la aplicación de azufre, valor que estadísticamente es diferente ($P < 0.10$) a la presencia de las leguminosas en los potreros que se fertilizó con varios niveles de azufre, por cuanto se establecieron frecuencias de 19.42, 18.83 y 18.62 %, cuando se utilizaron niveles de 20, 30 y 40 kg/ha, en su orden, denotando una tendencia cuadrática altamente significativa, mediante el análisis de la regresión que se reporta en el gráfico 27, de donde se desprenden que a medida que se incrementa la cantidad de azufre en el suelo, la presencia de leguminosas tiene a reducirse, aunque no en una forma proporcional.

La presencia de malezas, se fue incrementando en función de los niveles de azufre empleados, ya que los valores encontrados fueron de 8.19, 11.00, 11.59 y 13.60 % cuando se realizó fertilizaciones con 0, 20, 30 y 40 kg/ha de azufre, en su orden, respuestas que denotan una tendencia lineal, misma que es corro

borada mediante el análisis de la regresión, que presentó un efecto altamente significativo (gráfico 27).

Estos valores demuestran que la composición botánica se ve alterada por efecto de los niveles de azufre empleados, aunque es necesario señalar lo indicado por Ramón (1976), quien afirma que la aplicación de fertilizantes puede o no producir cambios en la composición botánica del pastizal nativo, ya que cuando realizó aplicaciones de NPK y de NP, no obtuvo cambios, en tanto que Olsen y Santos (1975), reportaron que encontraron ligeros cambios favorables, en cambio se contrapone a lo señalado por Erasmus y Sud (1976) quienes indican que se producen fuertes descensos de las malezas y incrementándose las gramíneas forrajeras, comportamiento que no se observa en el presente trabajo, ya que en vez de reducirse las malezas, estas se incrementan proporcionalmente a los niveles de azufre empleados hasta los 40 kg/ha, es decir que por cada unidad adicional de azufre hasta los 40 kg/ha, la presencia de malezas se incrementa.

3. Análisis químico foliar

Mediante el análisis proximal del forraje (mezcla de gramíneas, leguminosas y malezas) de los pastizales fertilizados con diferentes niveles de azufre, se determinaron las respuestas que se reporta en el cuadro 11, donde se observa que no existen diferencias estadísticas en los diferentes parámetros considerados, a excepción del contenido de potasio, que presentó un efecto altamente significativo.

a. Contenido de nitrógeno, %

El contenido de nitrógeno de los diferentes pastizales por efecto de los niveles de azufre empleados fue de 2.09 a 2.20 %, diferencias que solamente son numéricas y que corresponden a los pastizales sin aplicación de azufre y aquellos en los que se fertilización con 40 kg/ha de azufre, por lo que se indicar que el aporte de azufre al suelo, mejora ligeramente la asimilación del nitrógeno, a pesar de que las diferencias numéricas son pequeñas,

b. Contenido de fósforo, %

El contenido de fósforo (cuadro 11), de los forrajes fue entre 1.13 y 1.29 %, que son los dos casos extremos y que corresponden a los contenidos en los pastos de potreros fertilizados con 30 kg/ha y los del grupo control, respectivamente, denotando que el azufre incorporado al suelo no influye en la asimilación del fósforo por parte de las plantas.

c. Contenido de potasio, %

Para el contenido de potasio las diferencias entre las medias fueron altamente significativas, con mejores respuestas (1.83 y 1.72 %), en los forrajes obtenidos de los potreros que se aplicó 20 y 30 kg/ha de azufre, respectivamente, en tanto que el menor contenido (1.19 % de K), fue en los forrajes de los potreros sin fertilización con azufre, de ahí que posiblemente se considere que el azufre favorece la asimilación del potasio, siempre que no se utilice niveles altos.

d. Contenido de calcio, %

La cantidad de calcio de los forrajes presentaron pequeñas diferencias numéricas entre los grupos evaluados, pues los valores obtenidos fueron 0.13, 0.15, 0.16 y 0.16 %, que corresponde a los pastos obtenidos de los potreros del grupo control, y los fertilizados con niveles de azufre de 20, 30 y 40 kg/ha, valores que permiten indicar que la absorción del calcio del suelo fue similar en todos los grupos evaluados.

e. Contenido de Azufre, %

Respecto al contenido de azufre encontrado en los forrajes de la praderas evaluadas, las medias obtenidas variaron entre 1.45 y 1.76 %, no teniendo influencia la cantidad adicionada al suelo como fertilizante, sino que al parecer las plantas asimilan este nutriente en base a los requerimientos para su desarrollo.

C. EFECTO DE LA COMBINACIÓN DE NIVELES DE CALCIO Y AZUFRE EN EL COMPORTAMIENTO DE LA PRADERA

Para evaluar las respuestas obtenidas por efecto de la interacción, fue necesario emplear la siguiente codificación para cada uno de los tratamientos experimentales en base a los factores de estudio y que se resumen de la siguiente manera:

A1: 0 kg/ha de calcio	B1: 0 kg/ha de azufre
A2: 1000 kg/ha de calcio	B2: 20 kg/ha de azufre
A3: 2000 kg/ha de calcio	B3: 30 kg/ha de azufre
A4: 3000 kg/ha de calcio	B4: 40 kg/ha de azufre

1. **Primer Corte**

Los resultados del comportamiento de los pastizales en el primer corte por efecto de la fertilización con diferentes niveles de calcio y azufre, se reportan en el cuadro 12.

a. **Altura de las gramíneas según la edad de corte, cm**

Los resultados de las alturas de las plantas por efecto de los diferentes niveles de calcio y azufre, no fueron diferentes estadísticamente en los tres períodos de evaluación (30, 45 y 60 días).

A los 30 días, las menores alturas de las plantas se registraron cuando se utilizaron fertilizaciones con A4B1, A1B1, A1B2, que presentaron respuestas de 8.0, 8.5, 8.5 cm, respectivamente, mientras que las de mayor tamaño fueron las gramíneas que pertenecían a los pastizales fertilizados con A2B3 (1000 y 30 kg/ha de calcio y azufre, en su orden), seguidos de los tratamientos A2B4, A3B2, A3B3, que presentaron valores de 11.00 cm, para el primer caso y de 10.3 cm en los tres grupos citados.

A los 45 días, las alturas alcanzadas fueron entre 10.0 cm y 13.0 cm, que corresponden a las plantas de los pastizales fertilizados con los tratamientos A4B1, que representa el valor más bajo y con A2B3 que es la mayor altura registrada en este periodo.

Al llegar los pastos a los 60 días de edad, la menor respuesta se observó en las plantas de los pastizales A1B1 (control, sin fertilización) que presentaron una altura de 13.10 cm, en tanto que con una fertilización de A2B4 (1000 y 40 kg/ha de calcio y azufre, respectivamente) se consiguió la mayor altura (17.2 cm), respuestas que son inferiores a las reportadas por Llumiquinga (2003), quien al aplicar fertilización con diferentes niveles de Nitrógeno (40, 60, 80 kg de N/ha) y Azufre (25, 50, 75, 100 kg/ha), más la adición de Fósforo y Potasio en cantidades fijas (90 kg/ha, de cada uno), reportó que las alturas medias de las gramíneas en el primer corte fueron entre 13.9 cm del grupo testigo (sin fertilización) y 29.4 cm con la aplicación de 25 kg/ha de azufre, por lo que se puede indicar que la combinación calcio azufre no presenta efectos decisivos respecto a la altura de las leguminosas.

b. Altura de las leguminosas según la edad de corte, cm

En las alturas de las leguminosas se encontró diferencia estadísticas entre las medias determinadas en los periodos 30 y 45 días de edad, registrándose a los 30 días las mayores alturas (8.9 cm) en las plantas de los pastizales fertilizados con A1B3 que difiere significativamente con la altura de las leguminosas de los potreros fertilizados con A4B4, que presentaron la menor respuesta con una

altura de 5.1 cm, mientras que el resto de medias se encuentra entre los valores indicados, por lo que comparten los dos rangos de significancia; de igual manera a los 45 días los comportamientos registrados en estos dos tratamientos siguen siendo la mayor y la menor altura alcanzada, pero con valores de 10.4 y 6.6 cm, lo que se demuestra que con niveles altos de azufre y calcio (A4B4), parece que se produce una toxicidad de las leguminosas, deteniéndose su desarrollo (Guerrero y Tello, 2002), en tanto que al no encalar el suelo y con niveles de 30 kg/ha de calcio (A1B3), se consiguieron las mejores respuestas en todos los períodos, por cuanto a los 60 días terminaron con las mejores alturas (16.0 cm), no así que las menores respuestas a los 60 días se observaron al aplicar fertilizaciones de A3B1, A4B3 y A2B2, cuyas plantas presentaron alturas de 8.8, 9.6 y 10.0 cm, en su orden.

Las respuestas anotadas son inferiores con relación a las obtenidas por Llumiquinga (2003), al emplear fertilización con diferentes niveles de Nitrógeno y Azufre más Fósforo y Potasio, las leguminosas alcanzaron alturas entre 17.0 y 21.3 cm, pudiendo deberse a que el azufre más nitrógeno, fósforo y potasio, presentaron un mayor aporte nutritivo al suelo, favoreciéndose de esta manera a que las plantas aprovechen estos nutrientes y presenten un mejor desarrollo, reflejado en las alturas de las plantas.

c. Producción de Materia verde, Tn/ha

Las medias encontradas de producción de materia verde (M.V), por efecto de la interacción entre niveles de azufre y de calcio, de acuerdo al ADEVA no fueron

diferentes estadísticamente, pero por las diferencias numéricas encontradas, al realizar la prueba de Duncan, al nivel de $P < 0.05$, se establecieron diferencias estadísticas entre grupos, de los cuales las mayores producciones de materia verde (7.8 Tn/ha), se registraron al aplicarse fertilizaciones con A2B4, siguiéndole en orden de producción cuando se aplicó los tratamientos A1B2 y A1B3, con los cuales se obtuvo 7.1 y 7.2 Tn/ha, respectivamente, mientras que la menor producción fue por efecto de la aplicación A2B1, con el cual se registró una producción de materia verde de apenas 3.3 Tn/ha, presentando el resto de tratamientos evaluados respuestas entre las mencionadas y que comparten los diferentes rangos de significancia establecidos como se puede ver en el cuadro 12, notándose que más por el efecto de los minerales utilizados en la fertilización, que al parecer requieren de baja cantidad de calcio (entre 1000 y 2000 kg/ha) y considerables cantidades de azufre (de 20 a 40 kg/ha), puede deberse a la capacidad de las plantas en aprovechar los fertilizantes utilizados, aunque no es menos cierto que la aplicación de azufre a los suelos de diferentes cultivos produce un efecto favorable en el rendimiento o producción Russell (1992).

Los valores reportados son inferiores respecto a los obtenidos por Llumiquinga (2003), quien alcanzó producciones entre 13.5 y 17.3 Tn/ha al emplear diferentes niveles de Nitrógeno y Azufre más Fósforo y Potasio, diferencias que pueden deberse al aporte de los nutrientes que emplea este investigador.

d. Producción de Materia seca, Tn/ha

Respecto a las producciones de materia seca (MS) de los pastizales por efecto

de la interacción entre niveles de calcio y azufre se hallaron diferencias estadísticas ($P < 0.01$) entre las medias, obteniéndose producciones de 1.9 Tn/ha de materia seca cuando se utilizó fertilizaciones con A1B4 y A2B4, en tanto que menores producciones se alcanzaron al utilizar las combinaciones de A3B1, A2B1 y A4B1, de cuyas parcelas se obtuvieron 0.71 a 0.80 Tn/ha de materia seca, notándose en estas respuestas mejores producciones fueron con niveles altos de azufre (B4), y las menores respuestas sin aplicación de este mineral (B1), ratificándose por tanto que al fertilizar con azufre más bajas concentraciones de Ca, se lograron las mejores respuestas productivas, aunque estos valores son inferiores respecto a los alcanzados por Llumiquinga (2003), quien determinó producciones entre 2.1 a 3.5 Tn/ha de materia seca en praderas con especies vegetales similares, indicándose que la superioridad demostrada por el investigador citado, puede deberse a que utilizó una fertilización completa, es decir, adicionó diferentes niveles de nitrógeno y azufre así como fósforo y potasio, lo que favoreció la producción de esa pradera.

e. Composición botánica de la pradera, %

En la composición botánica de la pradera (cuadro 12) no se registró diferencias estadísticas en la presencia de gramíneas, pero sí para las leguminosas y malezas, de acuerdo a la prueba de Tukey, a pesar de que el ADEVA, no se registró influencia estadística por efecto de la interacción entre los niveles de calcio y azufre empleados.

La presencia de gramíneas varió numéricamente en los pastizales, ya que se

registró frecuencias entre 85.7 y 95.0 %, que corresponde a las parcelas fertilizadas con A1B1 y A2B2, que mostraron los valores extremos.

En las leguminosas su presencia fue mayor en las parcelas fertilizadas con A1B1, A1B2, A2B3, A3B3 y A4B1, ya que las cantidades determinadas fueron de 11.3, 10.0, 10.2 y 9.7 %, respectivamente, valores que comparten el mismo rango de significancia, en cambio que la menor respuesta se observó al utilizar la combinación A2B2, donde se observó apenas el 2 % de leguminosas.

Con relación a las malezas, la mayor presencia (3.7 %) se observó cuando se utilizó la fertilización con A1B2, que difiere estadísticamente con las respuestas alcanzadas con fertilizaciones de A2B1, A2B4 y A3B4, pastizales que presentaron entre 0.2 y 0.3 % de malezas, los otros tratamientos comparten ambos rangos de significancia, por cuanto sus respuestas se encuentran entre las indicadas.

Notándose que la composición botánica de las praderas evaluadas registran cantidades similares de gramíneas y malezas a las determinadas por Llumiquinga (2003), quien señala que las praderas que evaluó contenían entre 87.0 y 95.0 % de gramíneas y de 0.2 a 1.9 % de malezas, no presentando similar comportamiento con la leguminosas, ya que en el presente trabajo las cantidades observadas fueron entre 2.0 y 11.3 %, mientras que las respuestas del investigador citado corresponden entre 2.1 y 3.4 %.

2. Segundo Corte

Las respuestas obtenidas en el segundo corte del pastizal por efecto de la interacción entre niveles de calcio y azufre empleados, se reportan en el cuadro 13, mismas que se analizan a continuación:

a. **Altura de las gramíneas según la edad de corte, cm**

Las alturas de las plantas de gramíneas no presentaron diferencias estadísticas por efecto de la interacción entre las cantidades de azufre y calcio empleadas, en los diferentes períodos evaluados, ya que las alturas registradas a los 30 días fueron entre 12.5 y 16.6 cm, a los 45 días entre 17.7 y 23.4 cm, terminando a los 60 días con alturas que fluctuaron entre 17.7 y 35.8 cm, observándose en todo caso, que las gramíneas de las praderas del tratamiento A1B1 (grupo control, sin fertilización) y A2B2, fueron las que menores respuestas presentaron, en cambio que por efecto de los niveles utilizados las respuestas variaron en función de los períodos, ya que las respuestas más altas se registraron a los 30 y 45 días con A4B2, en cambio a los 60 días de evaluación fue con el tratamiento A1B3, pero que en todo caso se puede considerar que el azufre produce mayores efectos favorables en las plantas que los niveles de calcio empleados para el encalado.

Comparando las respuestas obtenidas en el primer corte (cuadro 12) con las registradas en el segundo corte (cuadro 13), existen grandes diferencias, llegando a los 60 días de evaluación, a duplicarse su altura (16.2 cm frente a 35.8 cm, que son las mejores respuestas en cada corte evaluado), además se -

puede indicar que las respuestas obtenidas en el segundo corte superan a las alcanzadas por Llumiquinga (2003), quien registró a los 60 días alturas de 28.0 a 29.0 cm en las gramíneas, lo que demuestra que la combinación de calcio con azufre, presentaron mejores respuestas que cuando el investigador citado empleó diferentes niveles de nitrógeno y azufre más fósforo y potasio, aunque estas diferencias no puedan ser por efecto de los nutrientes proporcionados a los suelos, sino que bien puede estar influyendo la calidad misma del suelo, de las diferentes regiones donde se realizaron los estudios.

b. Altura de las leguminosas según la edad de corte, cm

Las alturas de las leguminosas registradas en el segundo corte, por efecto de la interacción entre niveles de calcio y azufre, registraron que no hubo diferencias estadísticas a los 30 y 60 días de evaluación, no así en el período intermedio (45 días), que presentaron medias que difirieron estadísticamente.

A los 30 días las leguminosas presentaron alturas entre 8.3 y 11.6 cm, que corresponde a los pastizales fertilizados con A3B4 y A3B2, respectivamente, valores entre los cuales no existen diferencias estadísticas de acuerdo al ADEVA, en cambio a los 45 días, la mejor respuesta fue de 16.7 cm de altura registradas en las plantas que recibieron fertilización con A1B4 y la menor respuesta (10.6 cm) cuando se empleó el tratamiento A2B2, respuestas que estadísticamente son diferentes, mientras que los otros grupos evaluados presentaron alturas entre las enunciadas, por lo que comparten los rangos de significancia determinados.

A los 60 días las alturas de las leguminosas fueron entre 15.8 y 24.8 cm, registradas con fertilizaciones de A2B2 y A1B3, respectivamente, respuestas que no fueron diferentes estadísticamente, notándose en estos dos valores extremos, participa una cantidad de carbonato de calcio empleado (2000 y 0 kg/ha), y la de azufre de (20 y 30 Kg/ha), por lo que puede considerarse que en leguminosas disminuye la altura incrementándose el nivel de calcio, y sin la presencia de este elemento y adicionando 30 kg/ha de azufre se obtiene las mayores alturas; los valores determinados a los 60 días, son superiores a los señalados por Llumiquinga (2003), quien indica haber alcanzado leguminosas con alturas de 9.8 a 11.4 cm al segundo corte, al emplear fertilización con diferentes niveles de nitrógeno y azufre más fósforo y potasio.

c. Producción de Materia verde, Tn/ha

La producción de materia verde por efecto de la interacción entre niveles de calcio y azufre fueron diferentes estadísticamente, obteniéndose la mejor producción que es de 27.7 tn/ha de materia verde, cuando se fertilizó los pastizales con A1B4, en cambio las menores respuestas alcanzadas corresponden al empleo de fertilizaciones con A1B2, A2B1, A2B4, A3B4 y A4B3, ya que dichos pastizales presentaron producciones de 11.7, 13.5, 15.0, 14.8 y 13.5 Tn/ha, respectivamente (valores que comparten el mismo rango de significancia), por lo que en base a estas respuestas no puede afirmarse que las producciones de forraje dependen de los niveles ya sea de calcio como del azufre, ya que los niveles con los cuales se obtiene las mejores respuestas (A1 y

B4), también están presentes en las combinaciones de las menores respuestas, lo que conlleva a pensar que es el efecto de la interacción entre los niveles de calcio y azufre el que definió el comportamiento de las plantas, sumándose a esto la calidad original de los suelos, por cuanto si se compara con los resultados reportados por Llumiquinga (2003), en el segundo corte, que indica haber obtenido producciones de 7.7 a 9.5 Tn/ha, las respuestas del presente trabajo son notablemente superiores a pesar de que este investigador realizó una fertilización a base de nitrógeno, azufre, fósforo y potasio, pero guardan relación con los obtenidos por Guzmán (2003), quien al emplear diferentes niveles de CaCO_3 (0, 2000, 3000 y 4000 kg/ha) en el encalado de los suelos, además de diferentes dosis de semilla de alfalfa, registró producciones de 23.70 a 27.81 Tn/ha, por lo que puede confirmarse lo que señaló Grijalva (1995), en que el mantenimiento de la fertilidad del suelo depende del empleo adecuado de fertilizantes y del manejo del pastizal, siendo beneficiosa la presencia de leguminosas si se requiere elevar la fertilidad y productividad del suelo.

d. Producción de Materia seca, Tn/ha

Las producciones medias de materia seca (MS) de los pastizales por efecto de la interacción entre niveles de calcio y azufre empleados, presentaron respuestas entre 1.8 y 3.8 Tn/ha en los pastizales que se fertilizaron con A1B2 y A1B3, que son los dos respuestas extremas y que estadísticamente son diferentes, notándose en este sentido, que a pesar de que no se utiliza calcio (A1) en ambos tratamientos, el nivel de azufre interviene para obtener la mayor

o menor producción, siendo estos resultados superiores a los alcanzados por Llumiquinga (2003), quien señala haber obtenido producciones entre 1.7 a 1.9 Tn/ha de materia seca de praderas con especies vegetales similares, a las del presente trabajo, pero con fertilización a base de nitrógeno, azufre, fósforo y potasio, en cambio son inferiores respecto al estudio de Guzmán (2003), quien determinó producciones de materia seca de 4.07 Tn/ha en suelos sin encalar, valor que se incrementa a medida que eleva el aporte de CaCO_3 al suelo, hasta las dosis de 4000 kg/ha obteniendo producciones de 5.72 Tn/ha, por lo tanto, se ratifica lo señalado por Grijalva (1995), en que el mantenimiento de la fertilidad del suelo depende del empleo adecuado de fertilizantes.

e. Composición botánica de la pradera, %

La composición botánica de la pradera, mediante el análisis de varianza no registró diferencias estadísticas entre las medias obtenidas por efecto de la interacción entre niveles de calcio y azufre (cuadro 13), a pesar de que numéricamente se observan diferencias notables y que responden a la variabilidad de los valores experimentales registrados, tanto para la cantidad de gramíneas, como en las leguminosas y malezas.

En este entorno, la presencia de gramíneas en los pastizales varió entre 60.5 y 76.6 %, cuando se empleo fertilizaciones con A1B4 y A2B3, respectivamente, en las leguminosas fue de 11.1 a 28.3 %, que corresponde a los valores observados en praderas fertilizadas con A2B4 y A1B4, en su orden, mientras que las malezas de los pastizales su presencia fluctuó entre 3.9 y 15.6 %

cuando se realizaron aplicaciones de fertilización de A2B1 y A2B4, respectivamente, notándose que entre la cantidad de malezas con la cantidad de leguminosas parece que hay una relación inversamente proporcional, ya que se observó que a mayor contenido de leguminosas menor será la presencia de malezas y viceversa, es decir a menor leguminosas mayor cantidad de malezas.

Los valores obtenidos ratifican lo indicado por Ramón (1976), quien afirma que la aplicación de fertilizantes puede o no producir cambios en la composición botánica del pastizal, ya que cuando realizó aplicaciones de NPK y de NP en varios pastizales, no obtuvo cambios, en el mismo sentido Olsen y Santos (1975), reportaron que encontraron ligeros cambios favorables

3. Análisis químico foliar

El análisis proximal del forraje (mezcla de gramíneas, leguminosas y malezas) obtenido de pastizales fertilizados con diferentes niveles de calcio y azufre, determinaron respuestas que presentan diferencias estadísticas en los diferentes parámetros considerados, a excepción del contenido de calcio, las mismas que se reportan en el cuadro 14.

a. Contenido de nitrógeno, %

El forraje que mayor contenido de nitrógeno presentó (2.7 %) fue el obtenido de los pastizales fertilizados con A1B4, mientras que las menores contenidos se -

registraron en los pastos de las praderas fertilizadas con A2B1,A1B2, A2B2 y A3B4, ya que los valores registrados fueron de 1.8, y 1.9% de nitrógeno para los tres últimos, por lo que se indica que el aporte de azufre al suelo sin calcio, mejora la asimilación del nitrógeno, por otra parte se considera a estos forrajes que tienen un aporte pobre de proteína debido a su bajo contenido de nitrógeno, debiendo incorporarse mayor cantidad de leguminosas para elevar el aporte nutritivo de estos pastizales.

b. Contenido de fósforo, %

El contenido de fósforo los forrajes vario entre 1.0 y 1.3 %, valores que estadísticamente son diferentes, observándose los mayores contenidos en los pastos de las praderas fertilizadas con A1B3 y A1B4, mientras que la menor respuesta fue con el tratamiento A3B3, por lo que se puede considerar que al aplicar fertilizaciones con dosis de 30 y 40 kg/ha de azufre en suelos sin encalar, se favorece la absorción del fósforo, no así cuando se utilizó encalados con 2000 kg/ha de carbonato de calcio más 40 kg de azufre, se produce que el fosforo presente en los suelos reaccione con estos elementos, originándose que el fósforo asimilable no este disponible para la plantas, comportamiento que se contrapone a lo señalado por Lucca (1998), quien indica que el encalado del suelo con calcio favorece la absorción del fósforo.

c. Contenido de potasio, %

Para el contenido de potasio las diferencias entre las medias fueron altamente

significativas, obteniendo pastos con mayor contenido de potasio cuando se fertilizó a los pastizales con A1B2, A1B3 y A2B2, ya que se registró valores de 2.43, 2.03 y 1.97 %, que comparten el mismo rango de significancia, en tanto que la menor respuesta se observó en el tratamiento A1B1 (sin fertilización), por lo que se puede indicar que el azufre favorece la asimilación del potasio, siempre que no se utilice niveles altos.

d. Contenido de calcio, %

La cantidad de calcio de los forrajes presentaron pequeñas diferencias numéricas entre los grupos evaluados por efecto de la interacción entre niveles de calcio y azufre, pues los valores obtenidos fueron entre 0.1030 y 0.2100 %, que corresponde a los pastos obtenidos de los potreros fertilizados con A3B1 y A4B4, respectivamente, valores que permiten indicar que la absorción del calcio del suelo fue similar en todos los grupos evaluados.

e. Contenido de Azufre, %

Respecto al contenido de azufre encontrado en los forrajes de la praderas evaluadas por efecto de la interacción entre niveles de calcio y azufre, las medias obtenidas variaron estadísticamente, encontrándose el mayor contenido (0.29 ppm) en los forrajes cuando se realizó la fertilización de los pastizales con A3B3, en tanto que la menor respuesta (0.05 %) se observó al emplear la fertilización con A1B4, es decir, con 40 kg/ha de azufre sin la aplicación de calcio, por lo que se puede deducir, que la cantidad de azufre

añadido al suelo, este no es bien aprovechado por las plantas, sino que se debe encalar el suelo (añadir calcio), para que el potasio sufra serios cambios a través de diferentes reacciones químicas y pueda ser absorbido por las plantas.

D. TASA DE EXTRACCIÓN

Partiendo de lo que señalan Vivas, Guaita y Quaino (1999), quienes indican que es necesario diferenciar lo que significan **las expresiones disponible y extractable**. El primero corresponde al elemento real que la solución del suelo cede a la planta en cantidades pequeñas pero en forma regular y permanente, mientras que el segundo es un índice que por extracción química en los análisis del suelo se lo utiliza para relacionarlo con la producción. Es funcional y positivo y se lo utiliza como herramienta de trabajo para el diagnóstico, pero no constituye la forma en que la planta lo absorbe.

En este entorno, mediante el análisis de la regresión, se determinó las ecuaciones de estimación para los valores de extracción del calcio y del azufre en función de los niveles evaluados, los mismos que se reportan en el cuadro 15.

La tasa de extracción del calcio en función de los niveles de azufre que se emplean para la fertilización de los pastizales, se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Extracción Ca} = 22.767 + 0.066 (\text{Nivel de azufre})$$

De donde se desprende una tendencia lineal, no significativa (gráfico 28), que determina que por cada unidad adicional de azufre que se emplee, la tasa de extracción del calcio se incrementará en 0.066 unidades, con un coeficiente de determinación de $r^2 = 0.5775$, que representa que la tasa de extracción del Ca depende en un 57.75 % del nivel de azufre utilizado, mientras que el 42.25 % restante se deben a otros factores que no se consideraron en el estudio como calidad del agua, calidad del suelo, edad del pastizal, número de cortes, entre otros.

Respecto a la tasa de extracción del calcio en función de los niveles de calcio, se puede calcular mediante el siguiente propuesto matemático:

$$\text{Extracción Ca} = 25.355 - 0.0007 (\text{Nivel de calcio})$$

Que determina una tendencia lineal, no significativa (gráfico 29), de donde se desprende que por cada unidad adicional de calcio que se emplee, la tasa de extracción del calcio se reducirá en 0.0007 unidades, por cuanto la tasa de extracción del Ca depende en un 42.25 % del nivel de calcio utilizado ($r^2 = 0.4225$), mientras que el 57.75 % restante se deben a otros factores que no se evaluaron, como los manifestados anteriormente.

Con relación a la tasa de extracción del azufre en función de los niveles de calcio, empleados en la fertilización de los pastizales, este se puede estimar mediante la siguiente ecuación:

Extracción S = 2.0171 + 0.0003 (Nivel de calcio)

Que representa una tendencia lineal significativa como se observa en el gráfico 30, de donde se desprende que por cada unidad adicional de calcio que se emplee en la fertilización, la tasa de extracción del azufre se incrementará en 0.0003 unidades, con un coeficiente de determinación de $r^2 = 0.8883$, que significa que la tasa de extracción del S depende en un 88.83 % del nivel de calcio utilizado, mientras que el 11.17 % restante se deben a otros factores que no se consideraron en el presente trabajo.

La tasa de extracción del azufre en función de los niveles de azufre que se emplean para la fertilización de los pastizales, se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

Extracción S = 2.2846 + 0.008 (Nivel de azufre)

Que determina una tendencia lineal significativa como se observa en el gráfico 31, de donde se desprende que por cada unidad adicional de azufre que se emplee, la tasa de extracción del azufre se incrementará en 0.008 unidades, con un coeficiente de determinación de $r^2 = 0.1117$, que representa que la tasa de extracción del azufre depende en un 11.17 % del nivel de azufre utilizado, mientras que el 88.83 % restante se deben a otros factores que no se consideraron al obtener los presentes resultados.

E. EVALUACIÓN ECONÓMICA

Mediante el análisis económico (cuadro 16), a través del indicador beneficio/costo (B/C) se determinó que la mayor rentabilidad se consiguió al emplearse con el tratamiento control (sin fertilización, A1B1), obteniéndose un Beneficio/costo de 2.38, que representa que por cada dólar invertido se obtiene una ganancia de 1.28 dólares, siguiéndole en orden de importancia el B/C alcanzado con la aplicación de 0 kg/ha de calcio y 30 kg/ha de azufre (A1B3), con un valor de 2.29, en cambio que entre los menores valores de este indicador se registraron al emplearse fertilizaciones con 3000 kg/ha de calcio y 30 kg/ha de azufre (A4B3), 1000 tn/ha calcio más 40 kg/tn de azufre (A2B4) y 3000 kg/ha de calcio y 30 kg/ha de azufre (A4B4), por cuanto los B/C de estos tratamientos fueron de 0.93, 1.02 y 1.05, llegando en el primer caso ni siquiera a cubrir los costos de operación, por lo que se considera que en estos pastizales, la fertilización del suelo con calcio y azufre no es necesaria, pudiendo realizarse esta actividad, posiblemente después de un período de tiempo y en base a un análisis del suelo.

V. CONCLUSIONES

En base a los resultados analizados se llegó a las siguientes conclusiones:

1. En la aplicación de Calcio se obtuvo una respuesta favorable hasta los 2000 Kg/ha, con niveles superiores hay una tendencia a disminuir la altura, en cambio en las leguminosas la altura no determino efecto positivo entre los niveles de Ca.
2. La producción de Materia Seca se vió afectada negativamente en comparación con el testigo que mostró la mejor respuesta.
3. En cuanto a la composición botánica se pudo observar que el mayor porcentaje de gramíneas se alcanzo con 1000 Kg/ha de Ca, niveles superiores dan como resultado una baja en el porcentaje, en cambio en leguminosas la tendencia es incrementarse conforme se aumentan los niveles de Ca; en las malezas la aplicación de este elemento tiende a disminuir en su composición con la aplicación de 1000 y 2000 Kg/ha.
4. La composición química foliar por efecto de la fertilización con calcio se registro una disminución del contenido de nitrógeno y fósforo incrementándose por el contrario el contenido de potasio y calcio cuando se utilizo 3000 Kg/ha y el azufre con el nivel de 2000 Kg/ha.
5. Respecto al empleo de azufre , la altura de las gramíneas se incrementa significativamente obteniéndose las mayores alturas con 30 y 40 Kg/ha, el mismo efecto se da en leguminosas.
6. En la producción de Materia Seca no refleja efecto alguno la aplicación de Azufre.
7. En la composición botánica el mayor porcentaje de gramíneas se registra

con niveles de 20 y 30 Kg/ha de S, con niveles mayores tiende a disminuir, en las leguminosas en cambio se determina que el porcentaje disminuye con la aplicación de este elemento pese a que no existe diferencias entre niveles; no así en las malezas que se incrementa el porcentaje conforme se eleva el nivel.

8. En el análisis de la interacción entre los niveles de Ca y S se observa que en la altura de gramíneas y leguminosas no se establece efecto alguno.
9. En cuanto a la Materia seca se observa que el nivel 0 Kg Ca y 30 Kg S da la mayor producción.
10. La composición botánica de la pradera no muestra ningún efecto por la interacción tanto para gramíneas, leguminosas y malezas.
10. Respecto al análisis económico se determinó que la aplicación de los niveles de fertilizantes evaluados, no es necesaria, por cuanto el B/C se reduce, por cuanto de los pastizales sin fertilizar se alcanzó la mayor rentabilidad (B/C de 2.38).

VI. RECOMENDACIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos, se pueden realizar las siguientes recomendaciones:

1. No utilizar este sistema de fertilización en los pastizales de en la Hacienda "Rocón", ya que de acuerdo al análisis económico se determinó que en estos pastizales, la fertilización del suelo con calcio no es necesaria.
2. Se recomienda la aplicación de 30 Kg/ha de azufre para mejorar la producción de Materia Seca.
3. Replicar el presente estudio, en otro tipo de pastizales y haciendas, donde sea necesaria la aplicación de Calcio y Azufre al suelo en diferentes condiciones medioambientales.

