

FRONTERA AGRICOLA

Volumen 5, Números 1 y 2 1999



INSTITUTO DE AGROINDUSTRIA - UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA

TEMUCO - CHILE

FRONTERA AGRICOLA

Editor : Rolando Demanet Filippi
Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales
Universidad de La Frontera
Casilla 54-D. Temuco, Chile
e-mail: rdemanet@ufro.cl

Editro Asociado : María de la Luz Mora Gil
Facultad de Ciencias, Ingeniería y Administración
Universidad de La Frontera
Casilla 54-D. Temuco, Chile
e-mail: mariluz@ufro.cl

Comité Editor : Fernando Borie Borie
Facultad de Ciencias, Ingeniería y Administración
Universidad de La Frontera
Casilla 54-D. Temuco, Chile
e-mail: fborie@ufro.cl

Rodolfo Pihán Soriano
Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales
Universidad de La Frontera
Casilla 54-D. Temuco, Chile
e-mail: rpihan@ufro.cl

Sergio Bravo Escobar
Facultad de Ciencias, Ingeniería y Administración
Universidad de La Frontera
Casilla 54-D. Temuco, Chile
e-mail: sbravo@ufro.cl

Representante Legal : Heinrich von Baer von Lochow
Rector Universidad de La Frontera
Casilla 54-D. Temuco, Chile



AGROINDUSTRIA FRONTERA AGRICOLA es una revista semestral producida desde el año 1993 por el Instituto de Agroindustria de la Universidad de La Frontera. Fono (56-45) 325050. Fax (56-45) 325053. Casilla 54-D. Temuco, Chile.

Autorizada su reproducción total o parcial con la obligación de citar la fuente y el autor.

Diagramación Portada NG & Asociados. Prat 696 of. 429. Temuco Chile.
Imprenta Telstar Guido Beck de Ramberga 950, Padre Las Casas. Temuco Chile.

EDITORIAL

La IX Región es en la actualidad una zona eminentemente agrícola y por tanto su desarrollo económico y social está íntimamente ligado al quehacer de este sector. Sin embargo, la actividad agropecuaria es muy sensible a un sinnúmero de factores que la afectan, siendo de capital importancia, entre otros, el nivel de fertilidad que los suelos poseen. Un manejo agronómico adecuado de los suelos, adquiere especial relevancia en su productividad y, como consecuencia, siendo un factor que gravita significativamente en el desarrollo Regional, el lograr un conocimiento más profundo de todos los factores que inciden en costos y rendimientos de los cultivos, se hace de suma importancia.

Conscientes de este entorno y del rol que le cabe en el desarrollo regional es que la Universidad de La Frontera, a través del Instituto de Agroindustria y en conjunto con otras dos Universidades desarrolló, durante los años 1994-1998, un proyecto de investigación interdisciplinario que dice relación con la acidificación de los suelos de las Regiones VIII, IX y X, contando para ello con el aporte financiero del Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología (FONDEF) y con el decidido apoyo del sector agropecuario productor representado por SOFO y sus agricultores asociados. A esta iniciativa también se sumó el sector productivo de insumos agrícolas, en especial, las empresas Soquimich, Veterquímica Ltda., Semillas Campex Baer y Soprocal. Gracias al esfuerzo mancomunado de todos estos sectores fue factible el desarrollo de este proyecto, parte del cual se entrega en este número de Frontera Agrícola. Agradecemos a todos aquéllos que, de una u otra manera intervinieron en este proyecto y, muy en especial, a todos aquellos agricultores que nos confiaron desinteresadamente parte de sus terrenos para realizar los ensayos de campo.

Estamos ciertos que los resultados que se entregan a continuación serán de utilidad a profesionales que laboran en el sector como asimismo a agricultores e incluso estudiantes de carreras afines. Nuestro deber no termina con la entrega de estos resultados sino que estamos abiertos, como profesionales universitarios que hemos ganado experiencia a través de este proyecto, a realizar cualquier otro estudio que signifique un aporte al desarrollo regional.

Dr. Fernando Borie Borie

Director Proyecto FONDEF 2-88

CONTENIDO

SENSIBILIDAD Y TOLERANCIA DE ESPECIES Y CULTIVARES A CONDICIONES DE ACIDEZ. TESTS RAPIDOS DE DIAGNOSTICO <i>Felipe Gallardo A. y Fernando Borie B.</i>	3
SENSIBILIDAD Y TOLERANCIA A LA ACIDEZ DE LOS CULTIVOS EN CONDICIONES DE CAMPO <i>Fernando Borie B. Felipe Gallardo A. María de la Luz Mora G. y Juan Carlos García D.</i>	19
ACTIVIDAD BIOLOGICA EN SUELOS <i>Gilda Borie B., Silvia María Aguilera S. y Pedro Peirano V.</i>	29
DINAMICA DEL CARBONO EN SUELOS CON DISTINTOS SISTEMAS DE LABRANZA <i>Silvia María Aguilera S., Gilda Borie B. y Pedro Peirano V.</i>	33
BALANCE DE NITROGENO Y FOSFORO EN SUELOS EN SISTEMA DE CERO LABRANZA <i>Pedro Peirano V., Silvia María Aguilera S. y Gilda Borie B.</i>	39
USO DE ENMIENDAS CALCAREAS EN SUELOS ACIDIFICADOS <i>María de la Luz Mora G. y Rolando Demanet F.</i>	43
ROL DE LOS FERTILIZANTES NITROGENADOS Y FOSFATADOS EN LOS PROCESOS DE ACIDIFICACION DE LOS SUELOS. <i>María de la Luz Mora G., Juan Carlos García D., Jaime Santander E. y Rolando Demanet F.</i>	59
EFFECTO DE LA SOLUBILIDAD DE LAS FUENTES DE FÓSFORO SOBRE LA PRODUCCIÓN DE UNA PRADERA PERMANENTE <i>Rolando Demanet F. y María de la Luz Mora G.</i>	82
EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE PURINES SOBRE EL SISTEMA SUELO - PLANTA <i>Rolando Demanet F., María Aguilera S. y María de la Luz Mora G.</i>	87
EFFECTO DEL ENCALADO Y SU RELACION CON LOS NUTRIENTES SOBRE LA PRODUCCION DE PASTURAS EN SUELOS ACIDOS <i>Rolando Demanet F., Berta Schnettler M. y María de la Luz Mora G.</i>	95

SENSIBILIDAD Y TOLERANCIA DE ESPECIES Y CULTIVARES A CONDICIONES DE ACIDEZ. TESTS RAPIDOS DE DIAGNOSTICO

FELIPE GALLARDO A. Y FERNANDO BORIE B.

Departamento de Ciencias Químicas, Facultad de Ingeniería, Ciencias y Administración, Universidad de La Frontera. Casilla 54-D. Temuco. Chile

Para la cuantificación o evaluación en laboratorio de la tolerancia relativa a H^+ , Al y complejo acidez-aluminio de diferentes especies y cultivares es habitual, en los laboratorios especializados, la utilización de tests rápidos de diagnóstico empleando técnicas químicas y biológicas. Dichas técnicas permiten diferenciar, en forma rápida, el grado de sensibilidad o tolerancia a las condiciones de acidez que afectan el crecimiento de algunos cultivos agrícolas. Dado que Al y H^+ afectan negativamente el crecimiento de las raíces, principalmente las raicillas más absorbentes de nutrientes, es que la generalidad de los métodos utilizan, como parámetro indicador, la longitud de la raíz principal en condiciones de acidez frente a la obtenida en condiciones de neutralidad o ausencia de Al.

Los resultados que se muestran a continuación se obtuvieron mediante la implementación de tres métodos que la literatura cita como los más relevantes en los ensayos de tolerancia o sensibilidad de especies y cultivares frente a Al y acidez. Estos ensayos, en forma muy resumida, se detallan a continuación:

a) Ensayos en solución nutritiva de corta duración

Método de Shuman et al. (1993). Este método adaptado a cereales tiene como base medir el crecimiento radical de plántulas a través de su crecimiento comparativo en soluciones nutritivas a diferentes pH (6.0 y 4.5) y concentraciones de Al (0-10 μ M) tomando como referencia el crecimiento obtenido a pH 6.0 y 0 μ M de Al. Todas las mediciones se expresan como Crecimiento Radical Relativo (CRR). Este ensayo tiene una duración de solamente cuatro días.

b) Ensayos en solución nutritiva de larga duración

Método de Taylor y Foy, (1985). En este método se utiliza la solución nutritiva postulada por estos investigadores, a dos niveles de pH (4.8 y 6.0) y a niveles de 0, 100 y 200 μ M de Al donde se hacen crecer las plántulas, durante 19 días, controlando el pH diariamente. El crecimiento radical también se hace referencial a pH 6.0 y 0 μ M de Al y los resultados se expresan como CRR.

c) Bioensayos en suelos

Método de Balgar et al., (1992). En este método se utilizan potes de pequeña capacidad (400ml) rellenos con un suelo con elevado porcentaje de saturación de Al (12 -24 % utilizado aquí) con y sin adición de CaCO_3 , equivalente a 4 ton/ha, cantidad estimada suficiente para corregir el problema de H^+ y/o Al. Se siembra en ambos tratamientos (con y sin cal) las plántulas de la especie o cultivar a ser testado y al cabo de 10 días se mide el crecimiento radical relativo a la situación corregida (CRR).

Del análisis comparativo de estos tres métodos, si bien resultó ser el más largo en el tiempo, fue el método de crecimiento en solución nutritiva de larga duración el que tuvo mayor amplitud en el análisis de diferentes especies y, más importante aún, con este método se observó una mejor repetibilidad en los resultados así como también una buena correlación con los resultados de los ensayos de campo.

Es con la aplicación de este método se hizo un ranking de sensibilidad o tolerancia tanto a la acidez como a Al de diferentes cultivares dentro de las especies trigo, avena, raps, ballica, festuca, entre otros.

Tal como se planteaba anteriormente, la acidez en el suelo es un término donde se conjugan la fitotoxicidad de los H^+ conjuntamente con el efecto negativo del Al. A mayor acidez el Al se hace más fitotóxico. No obstante, en solución nutritiva se puede discriminar el efecto de los H^+ en forma individual como el efecto combinado de Al- H^+ .

1.- TOLERANCIA DE LOS CULTIVOS A LA ACIDEZ (H^+)

Si bien existe un amplio consenso en el sentido que la fitotoxicidad por aluminio es una de las principales limitantes en el crecimiento de los cultivos en suelos ácidos, no hay un completo conocimiento sobre el efecto de los H^+ *per se* como agentes fitotóxicos. En las figuras que se presentan a continuación se hará expresa referencia a ambas toxicidades.

A continuación se presentan los resultados obtenidos en solución nutritiva de diferentes especies y cultivares conteniendo tres niveles de aluminio. La respuesta de los diferentes cultivares a H^+ está expresada como Crecimiento Radical Relativo (CRR_{pH}). Este considera como 100% al largo radical de las plantas crecidas en solución nutritiva en ausencia de Al y pH 6,0.

1.1 Trigo

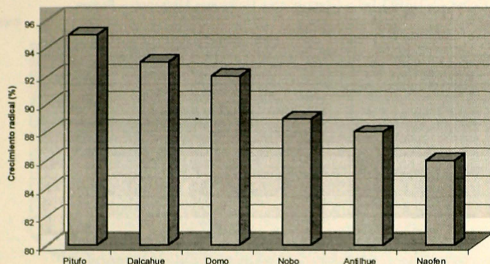


Figura 1. Efecto de la fitotoxicidad a la acidez (H^+) sobre el crecimiento de diferentes cultivares de trigo de hábito Primavera.

De acuerdo a la Figura 1, el grado de tolerancia a H^+ es: Pitufo > Dalcahue > Domo > Nobo > Antihue > Naofen.

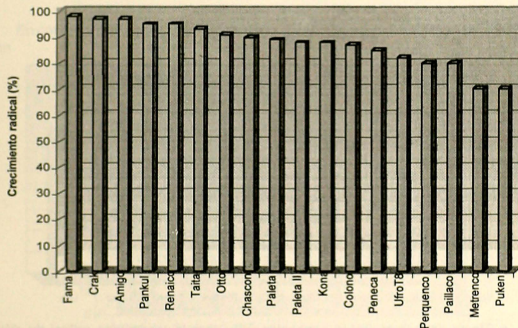


Figura 2. Efecto de la fitotoxicidad a la acidez (H^+) sobre el crecimiento radical (CRR) de diferentes cultivares de trigo de hábito Alternativa.

Los resultados expuestos en la Figura 2 señalan que el grado de tolerancia a los H⁺ es: Fama > Crak > Amigo > Renaico = Pankul > Taita > Otto > Chascon > Paleta I > Paleta II = Kona > Colono > Peneca > UFRO T-8 > Perquenco = Paillaco > Metrenco = Puken.

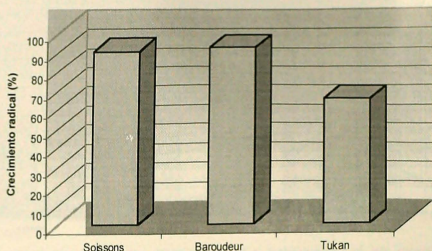


Figura 3. Efecto de la fitotoxicidad a la acidez (H⁺) sobre el crecimiento radical (CRR) de diferentes cultivares de trigo de hábito invernal.

El grado de tolerancia a H⁺ de acuerdo a la Figura 3 es: Baroudeur > Soissons > Tukan

1.2 Cebada

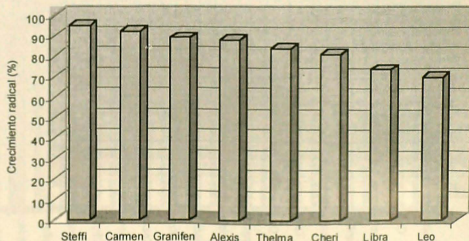


Figura 4. Efecto de la fitotoxicidad a la acidez (H⁺) sobre el crecimiento radical de diferentes cultivares de cebada (CRR).

De acuerdo a estos resultados el grado de tolerancia a H^+ sigue el siguiente orden: Steffi > Carmen > Granifen > Alexis > Thelma > Cheri > Libra > Leo

1.3 Raps

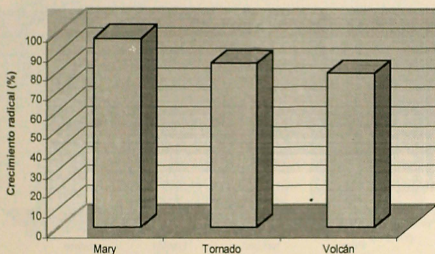


Figura 5. Efecto de la fitotoxicidad a la acidez (H^+) sobre el crecimiento radical (CRR) de diferentes cultivares de raps de hábito Primavera

En concordancia con el Cuadro anterior el grado de tolerancia a H^+ es: Mary > Tornado > Volcán

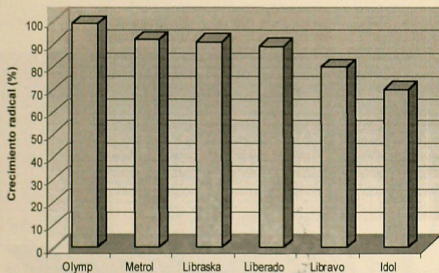


Figura 6. Efecto de la fitotoxicidad a la acidez (H^+) sobre el crecimiento radical (CCR) de diferentes cultivares de raps de hábito Invernal.

Para estos cultivares de raps el grado de tolerancia a H⁺ es: Olymp > Metrol > Libraska > Liberado > Libravo > Idol

1.4 Avena

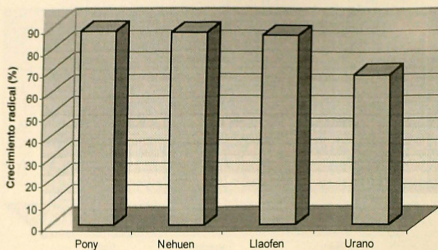


Figura 7. Efecto de la fitotoxicidad a la acidez (H⁺) sobre el crecimiento radical (CRR) de diferentes cultivares de avena.

Según la Figura 7, el grado de tolerancia a H⁺ es: Pony > Nehuen > Llaofen > Urano

1.5 Ballica

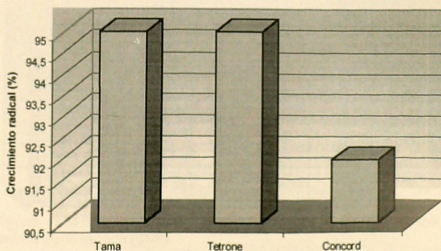


Figura 8. Efecto de la fitotoxicidad a la acidez (H⁺) sobre el crecimiento radical (CRR) de diferentes cultivares de ballicas de rotación corta.

Conforme a los resultados descritos precedentemente, el grado de tolerancia a H^+ es:
Tama = Tetrone > Concord

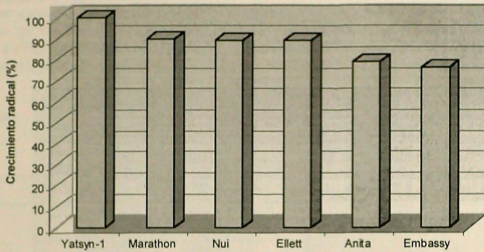


Figura 9. Efecto de la fitotoxicidad a la acidez (H^+) sobre el crecimiento radical (CRR) de diferentes cultivares de ballica perenne.

De acuerdo a la Figura 9, el grado de tolerancia a H^+ es: Yatsyn-1 > Marathon > Nui = Ellett > Anita > Embassy.

1.6 Festuca

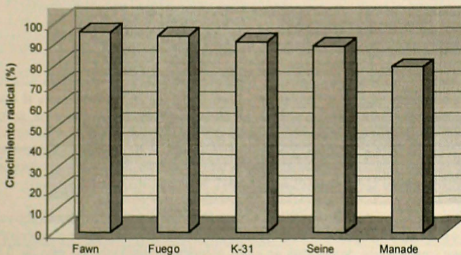


Figura 10. Efecto de la fitotoxicidad a la acidez (H^+) sobre el crecimiento radical (CRR) de diferentes cultivares de festuca.

La Figura 10 señala que el grado de tolerancia a H^+ es: Fawn > Fuego > K-31 > Seine > Manade

1.7 Alfalfa

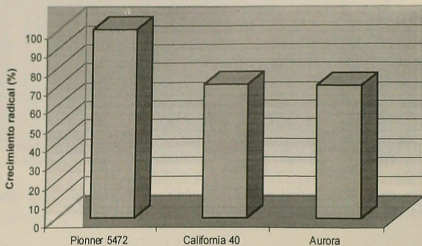


Figura 11. Efecto de la fitotoxicidad a la acidez (H^+) sobre el crecimiento radical (CRR) de diferentes cultivares de alfalfa.

De acuerdo con estos resultados el grado de tolerancia a H^+ es: Pionner 5472 > California 40 > Aurora

2.- FITOTOXICIDAD POR ALUMINIO

No cabe dudas que la toxicidad del Al es la mas seria limitante para el crecimiento y desarrollo de los cultivos en suelos acidificados. La fitotoxicidad por aluminio es, como se sabe, dependiente del pH, siendo ésta más aguda mientras más ácido sea el entorno, como consecuencia de la formación de especies químicas de este elemento altamente fitóxicas. También hay que tener presente la acidificación y alcalinización fisiológica producida frente a la absorción de nitrógeno a la forma de N-amoniacal o N-nítrico, respectivamente.

Existen algunos trabajos donde se asume que estos procesos fisiológicos son iguales en todas las especies y cultivares, aplicando un valor común, hecho que no se compadece con las variaciones significativas detectadas en estos estudios (variaciones de más de 0,6 unidades de pH) entre especies y cultivares dentro de las mismas especies. Dichas variaciones del

entorno rizosférico, característico de cada cultivar hace estar atentos a la hora de aplicar modelos de encalado sin tomar en cuenta tales variaciones.

A continuación se presentan los rankings de sensibilidad o tolerancia a aluminio de varias especies y cultivares habitualmente utilizados en la zona Sur del país. Cultivares de diferentes especies en solución nutritiva completa conteniendo tres niveles de aluminio. La respuesta de los diferentes cultivares a aluminio está expresada como Crecimiento Radical Relativo (CRR_{Al}), que considera como 100% al largo radical de las plantas cultivadas en solución nutritiva con 0 μM de Al y pH 4,8.

2.1 Trigo

Cuadro 1. Efecto de la fitotoxicidad de Al en el crecimiento radical (CRR) de diferentes cultivares de trigo de hábito Primavera.

Al μM	Pitufu	Dalcahue	Nobo	Domo	Antilhue
0	100	100	100	100	100
100	90	91	89	80	59
200	79	80	86	78	51

El grado de tolerancia a aluminio es por tanto: Dalcahue > Pitufu > Nobo > Domo > Antilhue

Cuadro 2. Efecto de la fitotoxicidad de Al en el crecimiento radical (CRR) de diferentes cultivares de trigo de hábito invernal, alternativo y primaveral.

Al μM	Crak	Amigo	Otto	Fama	Paleta	Ufro T8	Naofen	Pankul	Perquenco
0	100	100	100	100	100	100	100	100	100
100	99	90	88	85	82	74	65	59	58
200	90	85	86	79	82	70	56	41	51

Paleta II	Chascon	Paillaco	Metrenc o	Colono	Renaico	Taita	Kona	Peneca	Puke n
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
85	74	70	62	55	40	92	77	70	60
79	37	65	58	40	40	85	71	68	55

El grado de tolerancia a aluminio por parte de trigos alternativos es: Crak > Taita > amigo > Otto > Fama > Paleta II > Paleta I > Kona > Ufro T-8 > Peneca > Chascón > Paillaco > Naofen > Puken > Metrenco > Pankul > Colono > Perquenco > Renaico.

Cuadro 3. Efecto de la fitotoxicidad de Al en el crecimiento radical (CRR) de diferentes cultivares de trigo de hábito Invernal.

Al μ M	Tukan	Soisson	Baroudeur
0	100	100	100
100	49	80	70
200	40	75	69

De acuerdo al Cuadro anterior el orden de tolerancia a Al es: Soisson > Baroudeur > Tukan

Cuadro 4. Selección de tolerancia a aluminio de 27 cultivares de trigo, utilizando como criterio de selección de tolerancia a aluminio, el nivel de 100 μ M en solución nutritiva de larga duración

Hábito	Tolerante (T) > 80 % CRR _{Al}	Semitolerante (ST) 70-80 % CRR _{Al}	Semisensible (SS) 60-70 % CRR _{Al}	Sensible (S) < 60 % CRR _{Al}
Invernal		Soissons	Baroudeur	Tukan
Alternativo	Taita	UFRO T-8	Puken	Renaico
Tardío	Crak Paleta Paleta II	Kona	Peneca Metrenco	Pankul
Alternativo Semi Tardío	Amigo	Chascón	Paillaco	Perquenco Colono
Alternativo Precoz	Fama Otto			
Primaveral	Pitufo Dalcahue Nobo	Domo	Naofen	Antilhue

En los ensayos de selección de tolerancia a Al se destacaron como más tolerantes, los siguientes cultivares de trigo: Pitufu, Nobo, Dalcahue, Taita, Crak, Amigo, Otto, Fama, Paleta y Paleta II.

2.2 Cebada

Cuadro 5. Efecto de la fitotoxicidad de Aluminio en el crecimiento radical (CRR) de diferentes cultivares de cebada.

Al μ M	Thelma	Libra	Alexis	Granifen	Leo	Carmen	Steffi	Cheri
0	100	100	100	100	100	100	100	100
100	99	95	93	89	88	78	70	57
200	89	89	81	88	82	70	62	45

De acuerdo a los resultados presentados en el Cuadro 5 el grado de tolerancia a aluminio es: Thelma > Libra > Alexis > Granifen > Leo > Carmen > Steffi > Cheri

Cuadro 6. Selección de tolerancia a aluminio de ocho (8) cultivares de cebada, utilizando como criterio de selección de tolerancia a aluminio, el nivel de 100 μ M en la solución nutritiva.

Tolerante	Semitolerante	Semisensible	Sensible
> 80 % CRR _{Al}	70-80 % CRR _{Al}	60-70 % CRR _{Al}	< 60 % CRR _{Al}
Thelma, Libra, Alexis, Granifen, Leo	Carmen	Steffi	Cheri

En los ensayos de selección de tolerancia a aluminio se destacaron como más tolerantes los siguientes cultivares: Thelma, Libra, Alexis, Granifen y Leo.

Cuadro 7. Rendimiento de tres cultivares de cebada en las localidades de Gorbea (21.6% Sat Al) y Cajón (1.2 % Sat Al), expresados en qqm/ha.

	Gorbea	Cajón
	qqm/ha	
Carmen	49.9	72.1
Steffi	32.1	70.6
Cheri	21.8	77.2

Los resultados obtenidos en los ensayos de campo para los tres cultivares de cebada (Cuadro 7) fueron concordantes con aquellos obtenidos en solución nutritiva. Bajo las condiciones de mayor fertilidad, como lo fue el ensayo que se realizó en la localidad de Cajón donde no existían problemas de acidificación, el rendimiento obtenido de cada cultivar fue alto y no mostraron diferencia entre ellos. En cambio, en el suelo de la localidad de Gorbea con un alto

contenido de aluminio, el rendimiento obtenido siguió la misma tendencia que en solución nutritiva, lo que confirma la utilización de este test como herramienta útil en la medición de rendimientos comparativos en suelos con problemas de acidificación.

2.3 Raps

Cuadro 8. Efecto de la fitotoxicidad de Al sobre el crecimiento radical (CRR) de diferentes cultivares de raps de hábito Primavera.

Al μ M	Volcán	Mary	Tornado
0	100	100	100
100	94	92	89
200	88	82	62

De acuerdo al Cuadro 8 el grado de tolerancia a aluminio es: Volcán > Mary > Tornado

Cuadro 9. Efecto de la fitotoxicidad de Al sobre el crecimiento radical (CRR) de diferentes cultivares de raps de hábito Invernal.

Al μ M	Liberado	Olymp	Libraska	Metrol	Libravo	Idol
0	100	100	100	100	100	100
100	99	96	81	79	76	51
200	88	82	62	67	70	51

Conforme a dichos resultados el grado de tolerancia a aluminio es: Liberado > Olymp > Libraska > Metrol > Libravo > Idol

Cuadro 10. Selección de tolerancia a aluminio de nueve cultivares de raps, utilizando como criterio de selección de tolerancia a aluminio, el nivel de 100 μ M en la solución nutritiva.

Habito	Tolerante (T) > 80 % CRR _{Al}	Semi tolerante (ST) 70-80 % CRR _{Al}	Sensible (S) < 60 % CRR _{Al}
Primavera	Volcán, Mary, Tornado	---	---
Invernal	Liberado, Olymp, Libraska	Metrol, Libravo	Idol

En los ensayos de selección de tolerancia a aluminio se destacaron como más tolerantes los siguientes cultivares: Liberado, Olymp y Volcán.

2.4 Avena

Cuadro 11. Efecto de la fitotoxicidad de Al sobre el crecimiento radical (CRR) de diferentes cultivares de avena.

Al μ M	Pony	Urano	Llaofen	Nehuen
0	100	100	100	100
100	81	79	70	34
200	73	66	67	32

Se acuerdo a los antecedentes anteriores el grado de tolerancia a aluminio es: Pony> Urano> Llaofen> Nehuen

Cuadro 12. Selección de tolerancia a aluminio de cuatro cultivares (4) de avena, utilizando como criterio de selección de tolerancia a aluminio, el nivel de 100 μ M en la solución nutritiva.

Tolerante (T)	Semitolerante (ST)	Semisensible (SS)	Sensible (S)
> 80 % CRR _{Al}	70-80 % CRR _{Al}	60-70 % CRR _{Al}	< 60 % CRR _{Al}
Pony	Urano	Yaofen	Nehuen

En los ensayos de selección de tolerancia a aluminio se destacó como más tolerantes el cultivar Pony

2.5 Ballica

Cuadro 13. Selección de tolerancia a Al sobre el crecimiento radical (CRR) de diferentes cultivares de ballica de rotación.

Al μ M	Tama	Tetrone	Concord
0	100	100	100
100	84	67	54
200	82	65	52

Los resultados del Cuadro 13 señalarían que el grado de tolerancia a aluminio es: Tama > Tetrone > Concord

Cuadro 14. Efecto de la fitotoxicidad de Al sobre el crecimiento radical (CRR) de diferentes cultivares de ballica perenne.

Al μ Ml	Yatsyn-1	Nui	Ellett	Anita	Marathon	Embassy
0	100	100	100	100	100	100
100	88	85	82	76	74	66
200	88	69	79	75	60	61

Los resultados indican que el grado de tolerancia a aluminio es: Yatsyn-1 > Nui > Ellett > Anita > Marathon > Embassy

Cuadro 15. Selección de tolerancia a aluminio de tres cultivares de ballica de rotación corta y seis cultivares de ballica perenne, utilizando como criterio de selección de tolerancia a aluminio, el nivel de 100 μ M en la solución nutritiva.

	Tolerante (T) > 80 % CRR _{Al}	Semitolerante (ST) 70-80 % CRR _{Al}	Semisensible (SS) 60-70 % CRR _{Al}	Sensible (S) < 60 % CRR _{Al}
Ballica de Rotación	Tama	---	Tetrone	Concord
Ballica Perenne	Yatsyn-1, Nui, Ellett	Anita, Marathon	Embassy	---

En los ensayos de selección de tolerancia a aluminio se destacaron como más tolerantes, los siguientes cultivares: de ballica de rotación: Tama y de ballica perenne: Yatsyn-1, Nui y Ellett.

2.6 festuca

Cuadro 16. Efecto de la fitotoxicidad de Al sobre el crecimiento radical (CRR) de diferentes cultivares de festuca.

Al μ M	Seine	Fawn	Fuego	K-31	Manade
0	100	100	100	100	100
100	100	100	97	87	79
200	95	69	71	74	77

Los resultados indican que el grado de tolerancia a aluminio es: Seine > Fawn > Fuego > K-31 > Manade

Cuadro 17. Selección de tolerancia a aluminio de cinco cultivares (5) de festuca, utilizando como criterio de selección de tolerancia a aluminio, el nivel de 100 μM en la solución nutritiva.

Tolerante (T) > 80 %CRR _{Al}	Semitolerante (ST) 70-80 % CRR _{Al}
Seine, Fawn, Fuego, K-31	Manade

En los ensayos de selección de tolerancia a aluminio se destacaron como más tolerantes, los siguientes cultivares: Seine, Fawn, Fuego y K-31.

2.7 Alfalfa

Cuadro 18. Efecto de la fitotoxicidad de Al sobre el crecimiento radical (CRR) de diferentes cultivares de alfalfa.

Al μM	Pionner 5472	California 40	Aurora
0	100	100	100
100	81	60	57
200	75	58	54

Los resultados anteriores señalan que el grado de tolerancia a Al es: Pionner 5472 > California 40 > Aurora

Cuadro 19. Selección de tolerancia a aluminio de tres (3) cultivares de alfalfa, utilizando como criterio de selección de tolerancia a aluminio, el nivel de 100 μM en la solución nutritiva.

Tolerante (T) > 80 %CRR _{Al}	Semisensible (SS) 60-70 % CRR _{Al}	Sensible (S) < 60 % CRR _{Al}
Pionner 5472	California 40	Aurora

En los ensayos de selección de tolerancia a aluminio se destacó como más tolerantes el cultivar Pionner 5472.

Conclusiones

a) Uno de los principales efectos que se manifiestan en la fitotoxicidad por Al es el engrosamiento de las raíces y la disminución en el crecimiento de la raíz principal y raicillas laterales. De allí que los métodos utilizados universalmente dicen relación con la medición del largo de raíz, sea de la raíz principal, sea de la longitud radical total; en ambos casos los resultados se expresan como crecimiento radical relativo intraespecie y entre cultivares. No es válido entonces aquí hacer extrapolaciones interespecies. Adicionalmente, los rankings de sensibilidad o tolerancia frente a la fitotoxicidad por H^+ o Aluminio se han hecho en referencia al crecimiento radical relativo (CRR) tomando en cuenta sólo los cultivares habitualmente utilizados en la zona Sur. Así por ejemplo, para el caso del trigo se ha hecho el ranking entre diferentes cultivares que se encuentran en el mercado nacional pero no en referencia a otros cultivares extranjeros (tales como Maringa, Yecora Rojo o Atlas 66) desarrollados sobre suelos con 40-45% saturación de Al que no es el caso de nuestros suelos. Si se aplicara el CRR frente a los referidos cultivares, se tendría que nuestros cultivares, demostrados aquí como tolerantes y adaptados a condiciones de acidez no tan extremas como las producidas en los trópicos, conjuntamente con el poder amortiguador de la Materia Orgánica de los suelos volcánicos, aparecerían todos como sensibles o semitolerantes. Por tanto, es en base a este análisis es que se ha hecho la clasificación que aparece en los resultados presentados en esta publicación.

b) Los ensayos en solución nutritiva han permitido observar que, en general, cultivares que aparecen como más tolerantes poseen un pH rizosférico levemente superior a las sensibles, lo que en cierto sentido señalaría que uno de los mecanismos involucrados sería la inactivación del Al por la formación de especies de este elemento de menor fitotoxicidad. Adicionalmente, en solución nutritiva se ha determinado que algunos cultivares de trigo Al-tolerantes exudan cantidades mayores de ácido cítrico y málico con la consiguiente complejación de Al y, por ende, una disminución también de la fitotoxicidad por Al. Dichos análisis se han realizado mediante la aplicación de métodos enzimáticos así como también de cromatografía líquida de alta resolución (HPLC).

c) En los ensayos bajo invernadero se ha observado que, en general, cultivares tolerantes presentan una mayor micorrización que los cultivares sensibles, posiblemente como producto de una elevación del pH rizosférico y por tanto una mejor colonización radical. Es reconocido el papel que juegan las micorrizas en la absorción de P y Ca, ambos elementos antagónicos a la fitotoxicidad por Al. No obstante lo anterior, se debe señalar que este efecto no se ha visualizado tan notorio en condiciones de campo y por tanto aún es un aspecto que necesita de mayor investigación básica.

SENSIBILIDAD Y TOLERANCIA A LA ACIDEZ DE LOS CULTIVOS EN CONDICIONES DE CAMPO

FERNANDO BORIE B.¹, FELIPE GALLARDO A.¹, MARÍA DE LA LUZ MORA G.¹
JUAN CARLOS GARCÍA D.²

¹Departamento de Ciencias Químicas, Facultad de Ingeniería, Ciencias y Administración.

²Departamento de Producción Agropecuaria, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales. Universidad de La Frontera. Casilla 54-D. Temuco. Chile

Los ensayos de tolerancia o sensibilidad a Al y/o acidez realizados en condiciones de laboratorio son una orientación de lo que pudiera suceder en condiciones de campo y, por tanto, deben ser corroborados en diferentes suelos. Los contenidos de materia orgánica de cada suelo así como los niveles de P y cationes de intercambio son determinantes en disminuir la fitotoxicidad del Al. De todos los ensayos realizados en solución nutritiva con los diferentes especies y cultivares, sólo se corroboraron, en condiciones de campo, algunos de ellos, principalmente trigo y ballica dado que son los cultivos básicos en cereales y praderas.

Basados en la información obtenida en solución nutritiva se desarrollaron ensayos de campo en diferentes sitios de la Región con cultivares cuya tolerancia o sensibilidad frente a la acidez y/o Al se conocía de antemano. En el periodo en que se desarrollaron los ensayos se incluyeron los cultivares de trigo más utilizados por la agricultura regional (Cuadro 1), aunque Pukén, de reconocida sensibilidad, estaba siendo paulatinamente retirado del mercado. Así, en diferentes condiciones edafoclimáticas, las evaluaciones se realizaron con los cultivares Otto, Taita, Dalcahue y Colono, como representativos de los cultivares que, en laboratorio aparecían como las más tolerantes; UFRO T-8, por ser un cultivar comercializado por nuestra Universidad y que demostrara en laboratorio condiciones intermedias de sensibilidad y, finalmente Pukén y Pankul como las más sensibles.

Una medida indirecta, aunque en ocasiones no muy certera por las mayores necesidades de Ca o Mg que requieren algunos cultivares, es la respuesta al encalado, sea ésta calcítica o dolomítica (Cuadro 2). Hay que recordar que la cal, si bien incrementa el pH del suelo dejando en éste concentraciones menores de formas de Al menos tóxicas (en especial las formas monoméricas) entrega iones Ca y Mg que son antagonistas a Al, a nivel celular, desplazando por masa a éste y, por tanto, aminorando los síntomas de fitotoxicidad. Adicionalmente, la acidificación o alcalinización producida en la zona de absorción del cultivo como consecuencia de la fertilización, principalmente nitrogenada, afecta también los equilibrios Al/Ca y Al/Mg de modo que la respuesta también puede ser diferente.

En el Cuadro 2 se puede observar el rendimiento de seis cultivares de trigo en un suelo de la localidad de Nueva Imperial, con un porcentaje de saturación de Al cercano al 10%. A excepción de Dalcahue, el resto de las respuestas frente a la adición de Cal fueron las esperadas, de acuerdo a los ensayos de laboratorio, con un incremento mayor para el cultivar UFRO T-8, de sensibilidad intermedia y un efecto pequeño en el cultivar Otto, tolerante a los

componentes de la acidez consecuencia, probablemente, de su obtención a través de la selección masal en suelos con alto contenido en Al. El incremento porcentual varió entre un 7% para el cultivar más tolerante (Otto) hasta un 26% para el más sensible (UFRO T-8) de los cultivares utilizados, con un promedio de un 18% en los seis cultivares utilizados en ese sitio.

Cuadro 1. Cultivares de trigo evaluadas en diferentes áreas edafoclimáticas.

Localidad	Mulchén	Victoria	Nueva Imperial	Los Laureles	Gorbea
Otto	4	4	4	4	4
Ufro T-8	4	4	4		4
Taita		4	4		4
Colono	4	4	4		
Fama			4	4	4
Dalcahue			4	4	4
Pankul	4	4			
Pitufo				4	4
Puken		4			

Cuadro 2. Efecto de encalado sobre el rendimiento de cultivares de trigo (qqm/ha). Nueva Imperial. Temporada 1994/95. Sistema de labranza tradicional.

Cultivar	0 ton Cal	1 ton Cal	Incremento Porcentual
UFRO T-8	55,14	69,59	26
DALCAHUE	61,60	76,62	24
TAITA	54,03	64,40	19
FAMA	65,97	77,50	17
COLONO	65,60	76,57	17
OTTO	59,68	63,80	7
PROMEDIO	60,34	71,41	18

En otra temporada en la misma localidad se comparó el efecto del encalado en un número mayor de cultivares de trigo (Cuadro 3). Frente a la aplicación de encalado se observó que cultivares como Otto, Taita, Dalcahue y Pitufo se comportaron como cultivares tolerantes a la acidez del suelo. Pankul y Puken respondieron al encalado comportándose como cultivares sensibles, demostrándose de esta forma que, en general, la información obtenida en el laboratorio con respecto a la selección de cultivares tolerantes y sensibles a la acidez realizada en solución nutritiva, se correlacionó con los ensayos de campo, concluyéndose que el procedimiento de selección de tolerancia de cultivares de trigo realizado en laboratorio es válido.

de acuerdo a los efectos observados en campo, de tal forma que su utilización significa una economía significativa de tiempo y de costos para el agricultor.

Un tanto distintos fueron los resultados obtenidos con cuatro cultivares de trigo, tolerantes según el screening realizado en el laboratorio, en un suelo Los Laureles, con serios problemas de fertilidad, entre otros, su alta compactación y elevada acidez (Cuadro 4). En este caso, ni los cultivares Fama, Dalcahue y Pitufu, mostraron alguna respuesta frente a la adición de cal en dosis de 1 ton/ha. Otto, uno de los cultivares más sensibles demostró una respuesta a la cal, probablemente desde un punto de vista indirecto, ya que Otto es una variedad fuertemente micorrizable que necesita de condiciones más favorables desde el punto de vista del pH, para manifestar una mejor potencialidad en la captación de P desde el suelo.

Cuadro 3. Rendimiento (qq/ha) de cultivares de trigo. Localidad de Imperial, temporada 1996/97.

Cultivar	Sin Cal	Con Cal
TUKAN	76,0	80,8
PANKUL	75,2	86,4
BAROUDEUR	73,4	77,7
OTTO	74,0	75,1
PUKEN	75,2	83,6
TAITA	81,3	77,5
DALCAHUE	83,2	81,1
RANAICO	74,5	76,3
METRENCO	76,4	77,5
CHASCON	64,4	72,4
COLONO	77,6	79,0
SOISSONS	69,5	72,7
FAMA	56,9	61,5

Cuadro 4. Efecto de encalado sobre el rendimiento de variedades de trigo (qqm/ha). Los Laureles. Temporada 1994/95. Sistema de labranza tradicional.

Cultivar	0 ton Cal	1 ton Cal	Incremento Porcentual
OTTO	50,56	55,45	10
FAMA	55,49	56,72	2
DALCAHUE	49,11	48,48	-1
PITUFO	34,42	34,40	0
PROMEDIO	47,40	48,76	3

Distinto es el caso que se presenta en Mulchén, en un sitio con alta acidez (Cuadro 5). Aquí, Pankul, uno de los cultivares demostrados en el laboratorio como muy sensibles muestra una respuesta bastante significativa a la adición de cal, con un 52% seguido de UFRO T-8 de tolerancia intermedia. Otto tuvo una respuesta de tan sólo 10% aunque este suelo, en promedio, demostró un incremento porcentual del orden del 26% con los cuatro cultivares utilizados.

Cuadro 5. Efecto de encalado sobre el rendimiento de cultivares de trigo (qqm/ha). Mulchén. Temporada 1994/95. Sistema de labranza tradicional.

Cultivar	0 ton Cal	1 ton Cal	Incremento Porcentual
PANKUL	41,59	63,29	52
UFRO T-8	40,78	53,59	31
COLONO	43,67	49,60	14
OTTO	48,42	53,32	10
PROMEDIO	43,61	54,95	26

En Gorbea, en un suelo con niveles de saturación de Al superior al 10%, la respuesta de UFRO T-8 fue de un 40% sobre el testigo; Fama y Otto, tolerantes a la acidez, fueron los que demostraron la menor respuesta, con un promedio de un 18% tomando en cuenta los seis cultivares evaluados.

Cuadro 6. Efecto de encalado sobre el rendimiento de cultivares de trigo (qqm/ha). Gorbea. Temporada 1994/95. Sistema de labranza tradicional.

Cultivar	0 ton Cal	1 ton Cal	Incremento Porcentual
UFRO T-8	43,49	61,05	40
DALCAHUE	37,25	45,96	23
PITUFO	38,38	47,25	23
TAITA	59,50	68,23	15
OTTO	53,34	58,50	10
FAMA	61,10	63,57	4
PROMEDIO	48,84	57,43	18

En la localidad de Victoria se trabajó en un suelo con pH cercano a 6 y con una baja saturación de Al. Este sitio se podría calificar como con riesgo de acidificación, si no se toman los resguardos para impedir que se manifieste la fitotoxicidad de los componentes del complejo de la acidez. Aquí, la adición de cal, solamente produjo un leve aumento del pH, que no era crítico originalmente, pero se estima que la respuesta se debe a un incremento de los iones Ca en el suelo lo que produjo un leve efecto en los cultivares que normalmente están clasificados como tolerantes, en especial Taita. Se ha observado que, en ocasiones, en condiciones de

crecimiento en solución nutritiva, el cultivar Taita responde a condiciones de un aumento de la concentración de Ca frente al Mg, en especial en algunos tipos de relaciones $\text{NO}_3^- / \text{NH}_4^+$. Pudiera ser éste el caso de respuesta al Ca. No obstante lo anterior, las respuestas relativas de los otros cultivares eran las esperables de acuerdo a su grado de tolerancia a Al y o H⁺.

Cuadro 7. Efecto de encalado sobre el rendimiento de cultivares de trigo (qqm/ha). Victoria. Temporada 1994/95. Sistema de labranza tradicional.

Cultivar	0 ton Cal	1 ton Cal	Incremento Porcentual
PANKUL	59,78	67,55	13
UFRO T-8	60,29	67,40	12
TAITA	59,71	65,25	9
COLONO	61,76	66,21	7
PUKEN	63,77	67,55	6
OTTO	60,65	62,54	3
PROMEDIO	60,99	66,08	8

En el Cuadro 8 y la Figura 1 se observa el comportamiento relativo de estos cultivares en las cuatro localidades. Del análisis de ellos se desprende que Pankul, el cultivar más sensible respondió significativamente a la adición de encalante (1ton/ha), seguido de UFRO T-8, cultivar intermedio, siendo Otto el de menor respuesta al ser un cultivar tolerante.

Cuadro 8. Efecto de encalado sobre el rendimiento de cultivares de trigo (qqm/ha). Promedio de cuatro localidades. Temporada 1994/95. Sistema de labranza tradicional.

Cultivar	0 ton Cal	1 ton Cal	Incremento Porcentual
UFRO T-8	51	61	22
DALCAHUE	49	57	16
PITUFO	36	41	12
TAITA	58	64	11
FAMA	61	66	8
OTTO	59	63	6
COLONO	58	62	7
PANKUL	52	67	29
PROMEDIO	47,11	53,56	12,33

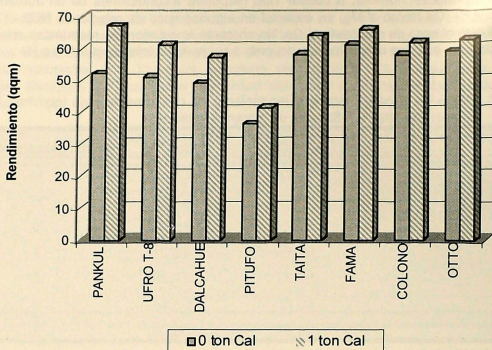


Figura 1. Efecto del encalado sobre el rendimiento de cultivares de trigo. Promedio de cuatro localidades. Temporada 1994/95. Sistema de labranza tradicional.

En la Figura 2 se observa el efecto del encalado sobre el incremento porcentual de ocho cultivares de trigo de diferente tolerancia como promedio de cuatro localidades en el período 94/95. En él se puede extraer como conclusión que, en un sistema tradicional de labranza, el cultivar Pankul, bastante sensible a condiciones de acidez, muestra un incremento de un 27%, seguido por UFRO T-8, con un 22%. El cultivar Otto aparece como el más tolerante, toda vez que el incremento demostrado no supera el 5% como promedio. Lo anterior viene a corroborar los antecedentes que entrega la literatura en el sentido de que es posible extrapolar los resultados de laboratorio a las condiciones de campo con una relativa buena correlación. No obstante, el cultivar Dalcahue, que aparece con un incremento del 15% al aplicar cal a esa dosis, ha demostrado tener, en otros ensayos, una tolerancia en campo más acorde con lo observado en el laboratorio.

Se hace del todo necesario enfatizar que las mejores correlaciones obtenidas entre los ensayos de campo y los resultados obtenidos en el laboratorio fueron con el desarrollo de los cultivares en soluciones nutritivas de larga duración. Existe, en la literatura especializada, algunas correlaciones muy favorables entre los resultados obtenidos en soluciones nutritivas de corta duración y los ensayos de campo, hecho que eventualmente pudiera aplicarse en nuestro caso, siempre que no se hubiese tenido la precaución de realizar los referidos ensayos en diferentes localidades y con diferentes condiciones edafoclimáticas, lo que da validez a lo que aquí se señala como rankings más definitivos.

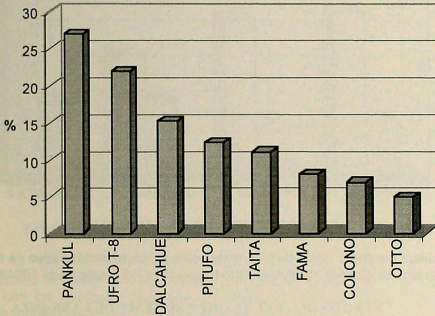


Figura 2. Efecto del encalado sobre el rendimiento de cultivares de trigo. Incremento porcentual, promedio de cuatro localidades. Temporada 1994/95. Sistema de labranza tradicional.

EFFECTO DE LOS TIPOS DE CAL SOBRE VARIEDADES DE TRIGO

En un suelo acidificado de la serie Gorbea se utilizaron dos dosis de cal calcítica SOPROCAL, 1 y 2 ton/ha, respectivamente y dos dosis de cal dolomítica MAGNECAL 15, a las mismas dosis. En el cultivo de trigo se utilizó el cultivar Otto Baer, demostrado tolerante de acuerdo a los tests de laboratorio y el cultivar UFRO T-8, de tolerancia intermedia. Otto Baer presentó, con la cal calcítica un incremento de respuesta sobre el testigo de tan sólo 5%, independiente de la dosis; sin embargo, con la cal dolomítica dicho incremento fue del 10%, también independiente de la dosis. UFRO T-8 respondió, como se esperaba, en forma diferente (Figura 3) con un incremento mayor a 20% con calcita y sobre el 25% con la dolomita, a la dosis de 2 ton/ha.

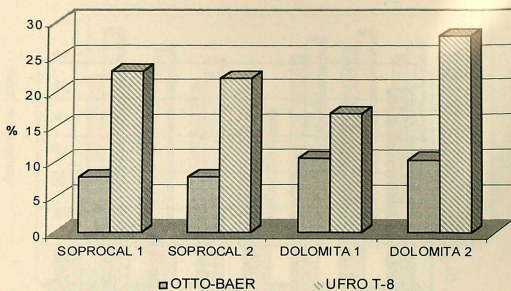


Figura 3. Efecto del tipo y dosis de enmienda sobre el rendimiento relativo de trigo en suelo de la serie Gorbea. Cultivares Otto-Baer y Ufro T-8. Temporada 1994/95.

EFECTO DEL ENCALADO Y SISTEMA DE LABRANZA

En los Cuadros 9 y 10 es posible apreciar el efecto del encalado y el sistema de labranza sobre el rendimiento de algunos cultivares de trigo, de diferente grado de tolerancia, en un ensayo realizado en la localidad de Los Laureles, en la temporada 94/95.

Allí, si bien sólo Otto estaba representado en ambos sistemas de labranza, el promedio de la producción, en ambos sistemas entrega una señal clara del efecto de la cal, por una parte y del efecto del sistema de labranza, por otra. Así, en el sistema de cero labranza se logró un significativo aumento en los rendimientos comparado con el sistema tradicional, con un promedio de 13 qqm de incremento. Para el caso del cultivar Otto este incremento fue de alrededor de 10 qqm. Ahora bien, la efectividad del encalado a nivel de 1 ton/ha fue mayor bajo el sistema de cero labranza comparado con el sistema tradicional, con un promedio del 8% de incremento.

Cuadro 9. Efecto de encalado sobre el rendimiento de cultivares de trigo (qqm/ha). Los Laureles, temporada 1994/95. Sistema de labranza tradicional.

Cultivar	0 ton Cal	1 ton Cal	Incremento Porcentual
OTTO	50,56	55,45	10
FAMA	55,49	56,72	2
DALCAHUE	49,11	48,48	-1
PITUFO	34,42	34,40	0
PROMEDIO	47,40	48,76	3

Cuadro 10. Efecto de encalado sobre el rendimiento de cultivares de trigo (qqm/ha). Los Laureles, temporada 1994/95. Sistema de cero labranza.

Cultivar	0 ton Cal	1 ton Cal	Incremento Porcentual
PANKUL	59,78	67,55	13
UFRO T-8	60,29	67,40	12
TAITA	59,71	65,25	9
COLONO	61,76	66,21	7
PUKEN	63,77	67,55	6
OTTO	60,65	62,54	3
PROMEDIO	60,99	66,08	8

EFFECTO DEL ENCALADO EN BALLICAS DE ROTACION CORTA

En terreno el comportamiento observado con las ballicas de comportamiento anual concuerdan con los resultados logrados en laboratorio. Así, el cultivar Tama no presentó diferencias de rendimiento entre un suelo acidificado y un suelo corregido con cal.

Las ballicas de comportamiento bianual, durante la primera temporada, no presentaron diferencias de rendimiento en terreno, producto principalmente de la compensación que existe entre la reducción del número de plantas y el incremento del número de macollos por planta. Esta situación genera, durante la primera temporada, que las plántulas establecidas en un suelo ácido y un suelo corregido, presenten un rendimiento estadísticamente similar ($p > 0,05$). En la segunda temporada, dicha situación no se produjo dado que durante el período de verano las plantas débiles con escaso desarrollo radical mueren, producto del déficit hídrico estival, razón por la cual la población de plantas en las áreas acidificadas disminuye ostensiblemente. Los cultivares sensibles, en especial Concord, presentaron escaso desarrollo del sistema radical, que se tradujo durante la segunda temporada en una disminución significativa del rendimiento, concordando así con los resultados obtenidos en laboratorio.

EFFECTO DEL ENCALADO EN BALLICAS PERENNES

En un ensayo realizado en un suelo acidificado de la localidad de Panguipulli, se evaluó el efecto de dos dosis de cal de corrección sobre la producción de siete cultivares de ballica perenne. El rendimiento promedio de tres temporadas de evaluación (Figura 4), demuestra que los niveles de enmienda utilizados no permitió expresar diferencias entre los tratamientos, lo cual generó que los cultivares establecidos en un suelo sin enmienda presentaron un rendimiento similar al establecido en el suelo con 3 ton de cal/ha. Sin embargo, se registraron diferencias de rendimiento entre cultivares, situación que demuestra la diferencia de sensibilidad a la acidez de estos cultivares de ballica perenne. Es evidente que los cultivares

desarrollados en Nueva Zelandia (Marathon, Embassy y Solo) fueron los más tolerantes y los desarrollados en Europa (Jumbo y Revital -100) presentaron una mayor sensibilidad. Los cultivares Nui y Vedette lograron una producción intermedia.

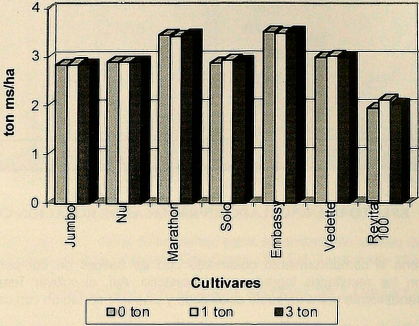


Figura 4. Rendimiento (ton M.S./ha) de siete cultivares de ballica perenne en función de dos dosis de cal. Localidad de Panguipulli.

ACTIVIDAD BIOLÓGICA EN SUELOS

GILDA BORIE B., SILVIA MARÍA AGUILERA S. Y PEDRO PEIRANO V.

Facultad Ciencias Químicas y Farmacéuticas. Universidad de Chile. Casilla 233, Santiago.

En este estudio se seleccionaron para su evaluación, varios predios por sus problemas de acidificación o riesgo de ella y de acuerdo a niveles de aluminio activo. Entre los suelos se decidió incluir la caracterización de suelos sometidos al régimen de cero-labranza, por el eventual riesgo de ellos en el sentido antes descrito. Las caracterizaciones que se efectuaron comprendieron tanto parámetros químicos como biológicos.

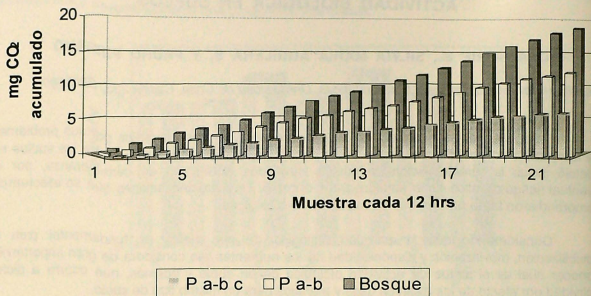
Considerando que la actividad biológica de los suelos es fundamental para la solubilización, movilización y disponibilidad de los nutrientes, se considera de gran importancia conocer cual es el status de actividad biológica de un suelo y además, qué ocurre a dicha actividad por efecto de los distintos usos y manejos para un mismo tipo de suelo.

Para la estimación de actividad biológica se pueden elegir distintos parámetros, según sea lo que se desea evaluar o dilucidar. Es así como se puede elegir determinaciones de actividad global de la microflora o se puede evaluar una actividad específica. En este estudio la actividad biológica se determinó, como: carbono biomásico (C-Biom), que cuantifica la cantidad global de microorganismos presentes en un suelo; también como actividad respiratoria, que evalúa el anhídrido carbónico desprendido ($C-CO_2$) por la actividad de los microorganismos del suelo y, finalmente, como actividad enzimática de dehidrogenasas (DH), las que están directamente relacionadas a la actividad de síntesis o ruptura de la materia orgánica.

Con el conocimiento de la actividad biológica de los suelos se completa una visión integral de las capacidades del recurso suelo para contribuir con una mayor o menor fertilidad; ya que ese conocimiento permite relacionar los contenidos totales o disponibles de los elementos que contribuyen a los procesos del sistema edáfico con la movilidad y disponibilidad de ellos, los que en mayor medida dependen de la bioactividad.

Especial relación guarda la actividad biológica con la disponibilidad de recursos energéticos, es decir carbono disponible como los hidratos de carbono o compuestos orgánicos de bajo peso molecular, pues de ellos depende la microflora para ejecutar los procesos con que se regulará la cantidad de nutrientes en un suelo y su capacidad para movilizarlos, lo que es muy importante ya que habitualmente no se conocen estos parámetros.

Dentro de los suelos que se estudiaron se consideraron Andisoles, que se caracterizan por tener alto contenido de carbono y una bioactividad elevado, no obstante lo cual han sufrido también cambios por efectos del uso y manejo, por lo que es muy importante evaluar los cambios de dicha actividad por los efectos mencionados.



P = pradera

a-b =avena - ballica

c = cal

Figura 1. Actividad respiratoria determinada en carbómetro de flujo continuo durante periodos de 12 horas. Suelos Santa Barbara (mg CO₂/100 g suelo)

Por ello, para ilustrar lo anteriormente expuesto, se presentan algunos datos de los obtenidos para un Andisol de la serie Santa Bárbara de la VIII Región, en el cual en 1995, se evaluaron los siguientes sistemas:

- v Bosque nativo (BN).
- v Pradera natural por muchos años (P).
- v Pradera natural con encalado (Pc).
- v Pradera avena-ballica (P-ab).
- v Pradera avena-ballica con encalado (Pc-ab).
- v Rotación intensiva avena-lupino (R-la).

Todos los cultivos corresponden a siembra en cero-labranza y por ello se evaluó muestras representativas de estos suelos a tres profundidades: 0-5; 5-10 y 10-30 cm.

Los parámetros químicos y actividades biológicas determinadas se adjuntan en el Cuadro 1. Lo primero que se destaca por se el suelo un Andisol típico éste posee un alto contenido de carbono el que se acompaña de una actividad biológica elevada. Esto se manifiesta especialmente en la actividad de las dehidrogenasas que señalaría una fuerte mineralización de carbono, conjuntamente con una gran disponibilidad de recursos energéticos para los procesos biológicos

Además, se puede observar que los contenidos de C total presentan relación directa con las actividades biológicas determinadas para cada uno de los sitios investigados a las distintas profundidades.

Los mayores contenidos de C y actividades biológicas corresponden a suelo bajo bosque nativo lo que se puede comprobar en la Figura 1 de actividad respiratoria.

Cuadro 1. Propiedades químico-biológicas de un suelo de la serie Santa Bárbara, 1995.

Suelos	pH	DH ppm	% C	C-Biom. mg/g	HC tot. mg/g	HC sol. ug/g
Bosque						
0-5 cm	5,3	845	20,4	1,9	19,4	36
5-10 cm	5,4	719	18,0	2,1	22,4	31
10-30 cm	5,5	657	15,8	1,9	18,5	16
Pradera						
0-5 cm	5,5	554	13,5	0,7	10,9	37
5-10 cm	5,5	147	11,2	0,3	12,8	19
10-30 cm	5,6	20	9,8	0,9	29,7	19
Pradera con cal						
0-5 cm	5,9	342	12,9	1,1	9,9	26
5-10 cm	5,5	100	11,9	0,4	9,5	24
10-30 cm	5,5	50	9,6	0,4	8,3	24
Pradera ave-ball.						
0-5 cm	5,3	546	15,2	1,3	13,8	27
5-10 cm	5,0	165	13,1	0,8	9,6	22
10-30 cm	5,2	46	10,8	0,2	11,5	15
Pradera ave-ball.Con cal						
0-5 cm	5,8	344	12,5	1,2	12,1	24
5-10 cm	5,3	149	12,1	0,5	12,0	25
10-30 cm	5,3	73	11,2	0,6	9,1	15
Rotacion intensiva						
0-5 cm	5,3	349	13,7	0,6	23,1	32
5-10 cm	5,1	109	12,3	1,5	13,3	24
10-30 cm	5,4	24	10,2	1,2	13,9	24

Aparentemente el efecto del encalado se manifiesta en una menor actividad biológica evaluada como actividad DH, lo que se ratifica en la Figura 1 que representa actividad respiratoria o como actividad C-CO₂. Este efecto también se ha observado en estudios más recientes en trabajos con suelos en cero labranza en otras localidades. Lo anterior permite concluir que sería importante seguir la cinética de respiración de los suelos por un período más largo para visualizar el tiempo requerido por la microflora para recuperar su actividad biológica básica después del encalado.

En la Cuadro1 también se acompañan datos sobre las formas de carbono más lábiles o disponibles, expresadas como mg de glucosa por g de suelo, lo que llevado a porcentaje de carbono aportado por los hidratos de carbono, significa menos del 3% del carbono total en forma lábil, o disponible como fuente energética para los procesos biológicos. Esto es una cifra relativamente baja en relación al alto contenido de C de los Andisoles. Lo habitual en otros suelos es encontrar un 5 a 15 % del carbono total. Esto lleva a comprobar que no sólo es importante el total de carbono en los suelos sino que la calidad de éste para cumplir con las funciones integrales del sistema.

Con todos estos elementos, es posible observar los efectos de los distintos procesos o tratamientos a que ha sido sometido el suelo, su estabilidad y preservación como recurso de sustentación para todos los procesos que se desarrollan en él.

DINAMICA DEL CARBONO EN SUELOS CON DISTINTOS SISTEMAS DE LABRANZA

SILVIA MARÍA AGUILERA S., GILDA BORIE B. Y PEDRO PEIRANO V.

Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas. Universidad de Chile. Casilla 233 Santiago.

La dinámica del carbono se evaluó en suelos con problemas de acidificación y de alto contenido de Al activo. En estos estudios, además se incluyen los resultados obtenidos en sistemas de cero-labranza, para definir en éstos, como afecta el problema de la acidificación. Las caracterizaciones efectuadas comprenden parámetros físicos, químicos y biológicos. Entre los primeros, se determinaron pH, capacidad de retención de agua (%CRA) y contenido de materia orgánica en los suelos.

La evaluación de la materia orgánica de los suelos se realizó de acuerdo al principio sostenido por el grupo de investigadores del área de química y bioquímica de la Universidad de Chile, en el sentido que la materia orgánica se debe medir no sólo en cantidad, sino que especialmente debe conocerse la calidad de ella. Sólo así se puede tener una imagen real del equilibrio orgánico del sistema, y con ello la posibilidad de la materia orgánica para cumplir con sus roles de preservar la humedad y temperatura, ser agregante de suelo y mantener la porosidad y aireación, ser reservorio fundamental de nutrientes, aporte energético para la microflora asegurando los procesos biológicos, solubilizador y movilizador de macro y micronutrientes, entre otros.

Con ese objetivo se determinó el porcentaje de carbono total de los suelos y de cada una de las fracciones que contribuyen a él. Para ello se evaluó desde las fracciones de carbono más lábiles como hidratos de carbono (HC) y el carbono aportado por la microflora ó carbono biomásico (C-Biom), a las más estables como el carbono integrante del material húmico. En este material húmico se fraccionaron y estudiaron, en grado decreciente de estabilidad: el carbono de los ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH) y huminas (hum).

Uno de los aportes más importantes al conocimiento de la calidad y estado de preservación del recurso suelo, es que para cada uno de ellos, o para un mismo suelo sometido a distintos manejos, tratamientos o tipos de cultivos, se elaboró un balance de todas las formas carbonadas con el objeto de visualizar la estabilidad, disponibilidad y reactividad o posible aporte de cada una de estas fracciones orgánicas de acuerdo a la naturaleza y rol que cada una de ellas desempeña en el medio edáfico lo que, en definitiva, permite conocer el estado de preservación y fertilidad potencial del suelo.

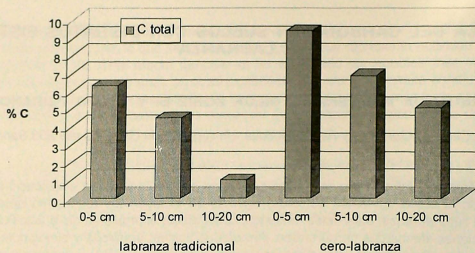


Figura 1. Contenido de carbono en un Andisol de la serie Santa Bárbara.

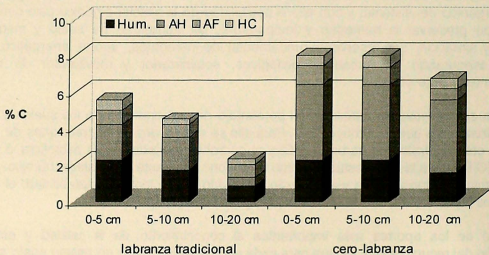


Figura 2. Balance de las fracciones orgánicas de carbono en un Andisol de la serie Santa Bárbara.

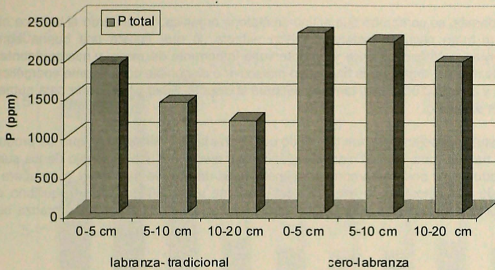


Figura 3. Fósforo total medido en un Andisol de la serie Santa Bárbara bajo dos sistemas de labranza.

En cuanto a una visión global, uno de los estudios más importantes, ha sido la evaluación de los resultados del sistema preservacionista de suelos, la cero-labranza, lo que se ha desarrollado en un Andisol de la serie Santa Bárbara de la zona de Mulchén.

En este suelo se evaluó, en una primera etapa (1994), los contenidos y la calidad de la materia orgánica y la actividad biológica en dos muestras distintas, una correspondiente a suelo que previamente había sido tratado por labranza tradicional y otro mantenido en cero labranza por 8 años consecutivos, encontrándose un marcado mejor status de materia orgánica para el suelo bajo sistema preservacionista (Figura 1). Ese mejoramiento orgánico también estaba acompañado por un mejor nivel de fósforo total, como se muestra en la Figura 2.

En años posteriores, 1995 y 1996 se continuó la evaluación de ese predio, pero se analizaron suelos bajo distintos tipos de cultivo (pradera natural, pradera avena-ballica, rotación intensiva-lupino) y/o con enmiendas calcáreas para mejorar eventualmente el aprovechamiento y rendimiento del suelo pero preservando el recurso en sus capacidades tanto químicas como biológicas.

Algunos de los resultados obtenidos en esta última etapa se presentan en la Figuras 3. Los resultados mostraron que aún cuando el suelo era un trumao de buenas características orgánicas, el uso del suelo sin inversión y manteniendo la materia orgánica residual, preserva dicha materia orgánica, impidiendo una pérdida gradual como ocurre en otro tipo de labranza.

Además, se comprobó que el tipo de materia orgánica, de acuerdo al balance obtenido, asegura un buen nivel de materia orgánica estable, lo que implica una buena agregación, hidratación en la zona rizosférica y un reservorio importante de macro y micronutrientes, como también de materia orgánica de bajo peso molecular o disponible como fuente energética para la microflora y actividad biológica; también asegura la disponibilidad y transporte para nutrientes en la solución del suelo.

Estudios posteriores, han permitido corroborar las modificaciones que se producen, en el recurso natural como lo es la materia orgánica, por efecto del uso y manejo de los suelos. Del mismo modo se ha podido comprobar la importancia de que se mantenga o recupere el nivel orgánico de los suelos, y que ese nivel orgánico sea acompañado por un equilibrio entre las formas lábiles y las estables, efecto que al menos, en el sistema de cero-labranza se puede observar.

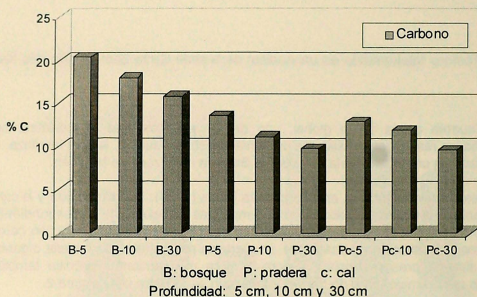


Figura 4. Carbono total de suelos bajo cero labranza (Serie Santa Bárbara).

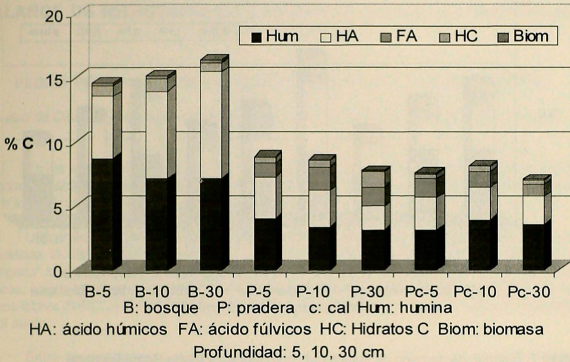


Figura 5. Balance de carbono en suelos bajo cero labranza (Serie Santa Bárbara)

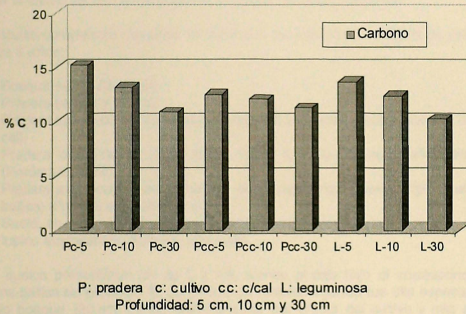
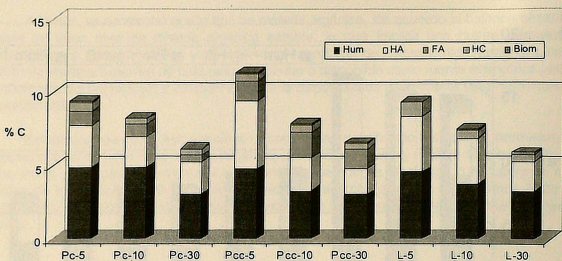


Figura 6. Carbono total de suelos bajo cero labranza (Serie Santa Bárbara)



P: pradera c: cultivo cc: c/cal L: leguminosa Hum: humina
 HA: ácido húmicos FA: ácido fúlvicos HC: Hidratos C Biom: biomasa
 Profundidad: 5cm, 10 cm y 30 cm

Figura 7. Balance de carbono de suelos bajo cero labranza (Serie Santa Bárbara)

BALANCE DE NITROGENO Y FOSFORO EN SUELOS EN SISTEMA DE CERO LABRANZA

PEDRO PEIRANO V., SILVIA MARÍA AGUILERA S. Y GILDA BORIE B.

Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas. Universidad de Chile. Casilla 233, Santiago.

En los suelos evaluados en este estudio junto con la determinación de la dinámica del carbono y la actividad biológica se determinó el status de algunos macroelementos esenciales. Entre los nutrientes de importancia se determinaron nitrógeno y fósforo.

Utilizando la metodología del fraccionamiento del carbono se determinó en forma simultánea la distribución del nitrógeno en el suelo. Para ello se realizó un "Balance de Nitrógeno" al que contribuyen cada una de sus formas más estable como el N unido a los ácidos fúlvicos, ácidos húmicos y a la fracción de las huminas (N-AF, N-AH y N-hum), y en alguna de sus formas lábiles (N-NO₃ y N-NH₄). El P por su parte, se evaluó como P total y como P disponible en el suelo.

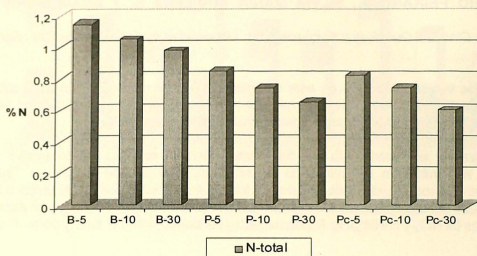
Entre las evaluaciones efectuadas un aporte importante es la realizada en el sistema conservacionista de cero-labranza. En un Andisol de la serie Santa Bárbara de la zona de Mulchén, sometido a labranza conservacionista se evaluó paralelamente los niveles de P disponible y total, como también un balance de las formas de nitrógeno, inorgánico y orgánico, para estudiar el efecto del tipo de labranza en el ciclo de estos nutrientes.

El estudio comprendió muestras de suelo con las siguientes variables de uso y manejo en los últimos 8 años:

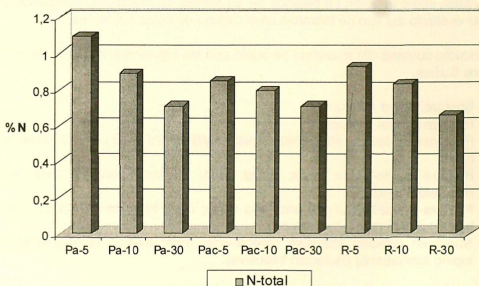
- v Bosque nativo (Bosque)
- v Pradera natural (Pradera)
- v Pradera encalada (4 años pradera natural y 3 años avena) con adición de cal (Pradera cal).
- v Pradera avena-ballica (trigo; avena; trigo, 2 años avena; 2 años avena-ballica) (Pradera ave-ball).
- v Pradera avena-ballica con encalado (trigo; raps; trigo; avena; trigo; 2 años avena-ballica) (Pradera ave-ball con cal).
- v Suelo en rotación intensiva (avena-vicia; trigo; avena; lupino-avena; raps; trigo; lupino australiano) (Rotación intensiva).

Los suelos presentaron pH de 5 a 5,9, siendo el más bajo el correspondiente a la pradera avena-ballica sin encalado. El contenido de materia orgánica fue alto especialmente en el suelo bajo bosque (20,4% de C), disminuyendo por efecto del cultivo y más aún, por el encalado (12,5%).

Se encontró que los niveles de N total, ponderados para los 30 cm, fueron cercanos a 1% para bosque nativo y alrededor de 0,66% para la pradera enclada. Además, se encontró que los niveles de N (Figura 1) presentaron una disminución, como era de esperar, en los niveles más profundos que fue más marcado en los suelos cultivados.

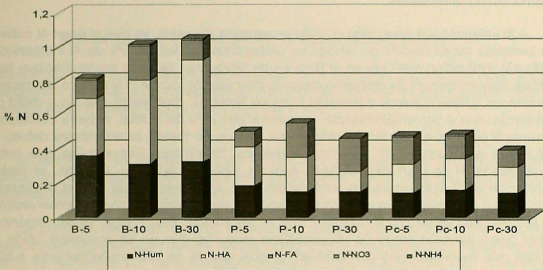


B: bosque P: pradera c: cal 5 cm, 10 cm y 30 cm

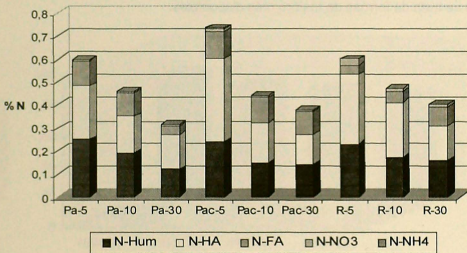


P: pradera a: avena-ballica c: cal R: rotación intensiva
5 cm, 10 cm y 30 cm

Figura 1. Nitrógeno Total en un Andisol de la serie Santa Bárbara bajo diferentes sistemas de uso y manejo.



B: bosque P: pradera c: cal
 Hum: humina HA: ácidos húmicos FA: ácidos fúlvicos
 5 cm, 10 cm y 30 cm



P: pradera a: avena-ballica c: cal R: rotación intensiva
 Hum: humina HA: ácidos húmicos FA: ácidos fúlvicos
 5 cm, 10 cm y 30 cm

Figura 2. Balance de formas de nitrógeno en un Andisol de la serie Santa Bárbara bajo diferentes sistemas de uso y manejo.

En cuanto a las formas de N encontrados se observó una preponderancia marcada del N-orgánico sobre el N inorgánico. Las formas de N inorgánico representan sólo el 1% del N total y se encuentran principalmente como nitratos, ya que los niveles de NH_4 son muy bajos y los nitritos no fueron detectables.

A lo anterior hace excepción el suelo en rotación intensiva, ya que al tener el cultivo de lupino presenta mayor fijación de nitrógeno, alcanzando niveles de 3% de N inorgánico. De acuerdo a la evaluación realizada en el Balance de Nitrógeno, se pudo comprobar que hay un porcentaje muy importante de nitrógeno orgánico muy estable ya que el N unido a las fracciones ácidos fúlvicos, ácidos húmicos y al residuo con las huminas, representó más de la mitad del N total. Además, que el porcentaje faltante, cercano al otro 50% del N total, debería corresponder a formas de N orgánico en sus formas más lábiles, las que no fueron caracterizadas debido a las metodologías empleadas, que recurren a procesos hidrolíticos. Eso significa que también serían formas de N de gran disponibilidad para los procesos edáficos. Además, se realizó la determinación de P, con resultados también positivos, en el sentido de que el mejoramiento orgánico o que la preservación de la materia orgánica resultantes del manejo preservacionista, se vió acompañado de un mayor nivel de P total en los suelos. Este P total, siendo orgánico en su mayor parte, tiene un grado de disponibilidad mayor ya que no se encuentra unido a las fracciones más insolubles sino que también, al igual que N, se une probablemente a formas orgánicas de mayor disponibilidad para los procesos edáficos.

El 50 % del fósforo total se encuentra fuertemente estabilizado, unido a las huminas y a la fracción mineral del suelo, y un porcentaje más bajo se encontró unido a las formas del humus más lábiles, con lo que se recuperó cerca del 60% del P total. Sin duda, esto último se debe a la hidrólisis sufrida por el fósforo húmico y fúlvico durante el proceso de extracción, lo que permite concluir que se trata de formas de fósforo más disponibles.

USO DE ENMIENDAS CALCAREAS EN SUELOS ACIDIFICADOS

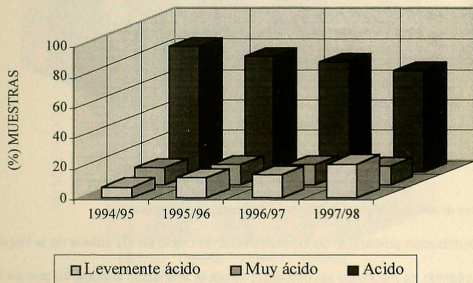
MARÍA DE LA LUZ MORA G¹ y ROLANDO DEMANET F.²

¹Departamento de Ciencias Químicas, Facultad de Ingeniería, Ciencias y Administración.

²Departamento de Producción Agropecuaria, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales. Universidad de La Frontera. Casilla 54-D. Temuco. Chile.

El estudio de las necesidades de enmiendas calcáreas y los cambios de fertilidad asociados con las características de acidez de los suelos de la zona sur, ha sido la tarea fundamental del proyecto FONDEF 2-88.

La base de datos de 30.000 análisis de suelos con que cuenta el Instituto de Agroindustria de la Universidad de La Frontera, permite hacer una estimación sobre el grado de adopción de tecnología por parte del sector productivo que ha generado este proyecto. Con este objetivo se han tomado los valores de pH, calcio, magnesio y saturación de aluminio (%), del periodo comprendido entre 1994 y 1998. El uso progresivo de enmiendas calcáreas y dolomíticas aumentó el nivel de calcio, magnesio y los valores de pH, lo que trae como consecuencia una disminución del porcentaje de saturación de aluminio y con ello de la acidez.



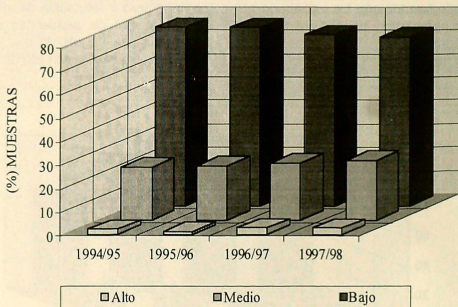
Fuente: Laboratorio de Análisis Químico de Suelo y Planta. Universidad de la Frontera.

Figura 1. Distribución porcentual de los valores de pH al agua entre 1994 y 1998 en la Región sur.

Como se observa en la Figura 1, existe una marcada tendencia al aumento de pH en el periodo de estudio en que se ha desarrollado este proyecto. Los suelos clasificados con un pH levemente ácido (mayores a 6.0) considerado como óptimo para la producción de la mayoría de los cultivos incrementaron desde 3 a 26 %.

Por su parte, los suelos con un valor de pH inferior a 5.5, condición que se considera limitante para la producción vegetal, disminuyeron desde 25 % a 12%. Aunque, los cambios de pH fluctúan según la época del año en que se tome la muestra, debido a los procesos de mineralización de la materia orgánica, la tendencia general indica un incremento en los valores de pH.

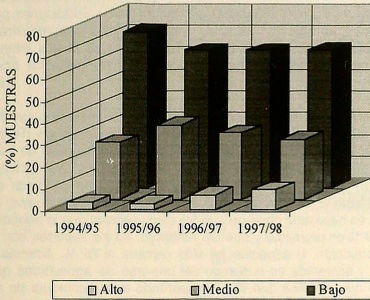
Por otra parte, el contenido promedio de calcio en los suelos ha subido desde 2 meq/100g a 4 meq/100g, en este periodo, sin embargo al analizar la Figura 2, aún el porcentaje de suelos con valores de calcio bajo es 70 %, debido a que el Laboratorio de Análisis ha estimado que bajo 6 meq/100g todavía se encuentran en un valor deficitario para cumplir con los requerimientos de los cultivos.



Fuente: Laboratorio de Análisis Químico de Suelo y Planta. Universidad de la Frontera.

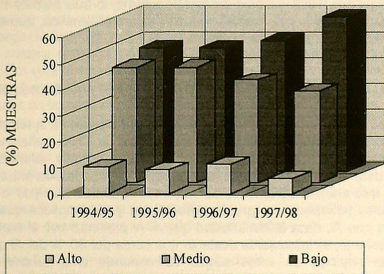
Figura 2. Distribución porcentual de los contenidos de calcio en los suelos de la Región sur.

El contenido de magnesio sin embargo, refleja la aplicación importante que se ha hecho en esta zona de dolomita, disminuyendo en cerca de 10 % la cantidad de suelos que se categorizan como deficitarios en este elemento, con un incremento de 3 a 10 % de los suelos que se consideran con niveles altos (Figura 3). El uso de dolomita junto con disminuir la acidez del suelo tiene la ventaja de aumentar la suma de bases conservando una muy buena relación Ca/Mg.



Fuente: Laboratorio de Análisis Químico de Suelo y Planta. Universidad de la Frontera.

Figura 3. Distribución porcentual del contenido de magnesio (%) en el periodo 1993-1997 en la Región sur.



Fuente: Laboratorio de Análisis Químico de Suelo y Planta. Universidad de la Frontera.

Figura 4. Distribución de valores de saturación de Aluminio (%) entre 1994/98 en la región sur.

Como consecuencia de lo anterior el tenor de aluminio medido como porcentaje de Saturación indica que el 52% de los suelos de la zona sur a fines del año 1994 se encontraban con valores entre 5 y 10 % de saturación de aluminio, y otro 20 % de ellos con contenidos altamente limitantes para la producción vegetal. En el año 1998, sin embargo, estas cifras se han revertido fuertemente y sólo el 6 % de ellos presentan serias limitaciones para la producción agrícola. Existe además, un universo de suelos agrícolas (35%) que requieren de enmiendas calcáreas, en dosis que no superan los 1000 kg/ha, y en estos suelos mientras persista esta condición no deben ser fertilizados con productos que presenten reacción ácida en el surco de siembra (Figura 4).

La transferencia constante de tecnología que ha mantenido el proyecto en el marco de estos cuatro años, a través de charlas a los Grupos de Transferencia Tecnológica (GTT), a empresarios agrícolas en general, a técnicos y profesionales en los días de campo, artículos en revistas entre otros, permite asegurar, que en la actualidad existe clara conciencia tanto entre los agricultores, como en el sector profesional, de la necesidad de continuar con la política de aplicar enmiendas calcáreas para elevar el nivel de fertilidad de los suelos ácidos del sur de Chile. Por otra parte, es necesario destacar que las cifras señalan que la adopción de tecnología ha sido cercana al 30 % en promedio y que sin embargo, en los sectores con suelos altamente limitantes para la producción, la adopción ha sido cercana al 75 %. Además, se observa una tendencia creciente y sostenida en el tiempo del universo de agricultores que demandan de análisis de suelos, lo que significa que irán incorporando esta tecnología de manejo de suelos ácidos durante las próximas temporadas agrícolas.

En la actualidad, como consecuencia de estas investigaciones y la realizadas por otras Instituciones del país el Servicio Agrícola Ganadero ha implementado el Programa de Recuperación de Suelos Degradados, en donde una mayor cantidad de muestras provenientes de agricultores se han incorporado al sistema de análisis. Por esta razón, los suelos con problemas de acidificación vuelven a aumentar y la tendencia observada hasta 1998 no es la misma en la temporada 1998/1999. Sin embargo, estos agricultores han adoptado la tecnología de manejo en la temporada 1999 a través de este Programa, lo que permite inferir que en un futuro cercano el 80 % de los suelos habrán resuelto esta problemática, aumentando de esta forma la fertilidad y sustentabilidad de los suelos

CAPACIDAD NEUTRALIZANTE DE LAS ENMIENDAS CALCAREAS

En la Figura 5 se muestra la tendencia cuadrática que representa la relación entre el pH y el porcentaje de saturación de Al en suelos volcánicos del sur de Chile, señalando que aún con saturaciones de Al superiores al 50 % , el pH no alcanza valores inferiores a 4.5. Este comportamiento se debe al alto contenido de materia orgánica que fluctúa entre 16-22 % y cuya composición indica que entre el 50 al 70 % corresponde a ácidos húmicos o fúlvicos y que cerca del 8 % de estos polímeros son grupos carboxilatos y OH fenólicos que se encuentran formando complejos con Al, dada la alta afinidad que el Al presenta por el material húmico de estos suelos. No obstante, es interesante destacar que cerca del 30 % del Al que es capaz de complejar la materia orgánica en estos suelos corresponde a la fracción humina. Estos resultados señalan la necesidad de mantener el nivel de materia orgánica, a través de la incorporación de residuos vegetales, que es una forma de remediación que contribuye a disminuir el contenido de Al soluble y disminuir la capacidad de fijación de iones fosfato.

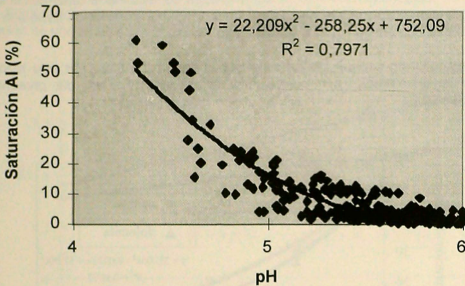


Figura 5. Relación entre el pH (H_2O) y el porcentaje de saturación de Al para suelos derivados de cenizas volcánicas del Sur de Chile. Laboratorio de Suelo y Planta, Universidad de La Frontera, Temuco-Chile.

La alternativa para corregir los problemas de acidez en los suelos es el uso de enmiendas calcáreas que aumenten el contenido de bases y que neutralicen los protones que resultan del proceso de acidificación. Los suelos de carga variable se caracterizan por poseer una alta concentración de grupos Al-OH y Fe-OH ionizables que con el aumento de la acidez se cargan positivamente generando $Al-OH^{2+}$ y $Fe-OH^{2+}$ en la superficie de los coloides. Este aumento de la carga positiva disminuye la capacidad de retención de bases de intercambio en el complejo arcilla - materia orgánica del suelo y genera a su vez un aumento en el contenido de aluminio soluble. Por esta razón, es necesario aumentar la carga negativa del suelo aumentando el pH con el uso de carbonatos, de manera que las bases como Ca, Mg y K sean retenidas en el complejo y liberadas en la medida que las plantas lo requieran. Por otra parte, las especies de Al a pH mayores se encuentran formando hidróxidos que no afectan el desarrollo de las plantas.

El manejo de las enmiendas calcáreas debe obedecer a un programa permanente, en el cual es necesario realizar una aplicación inicial con una dosis alta que permita una corrección rápida, y posteriormente, aplicar dosis periódicas de mantención en los años siguientes, con el objeto de controlar los procesos de acidificación, que en suelos derivados de cenizas volcánicas forma parte de un proceso natural de degradación.

En la Figuras 6 y 7 se muestra el efecto de la dosis y fuente calcárea sobre el valor de pH y el porcentaje de saturación de aluminio, que corresponde a valores promedio de los suelos muestreados durante el desarrollo del proyecto. En ellas se observa que el comportamiento de estas enmiendas es diferente, destacándose una mayor capacidad neutralizante en la dolomita

producto de la mayor cantidad de carbonatos que posee por unidad de masa. El análisis de la curva de respuesta, señala que el efecto de las primeras 2 ton/ha es muy significativo, descendiendo rápidamente los valores de saturación de aluminio a cifras cercanas a 10 %, ajustándose a un modelo cuadrático con un r^2 superior a 0,9 y una relación lineal con el pH en e rango de las dosis de enmienda utilizados en este estudio.

El agricultor en general, realiza aplicaciones de 1 a 2 ton/ha, por esta razón, aquellos suelos que se encontraban con suelos muy acidificados, hoy en día presentan valores inferiores al 8 a 10 %,

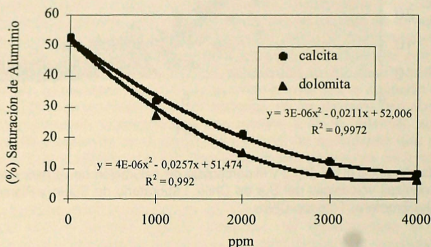


Figura 6. Efecto promedio de las enmiendas calcáreas sobre el porcentaje de saturación de aluminio de los suelos de la Región Sur.

Cuadro 1. Características físicas y químicas de los productos de enmienda

Producto	% ms	Poder neutralizante CaCO ₃	% CaO	% MgO
Dol	99,0	99,5	36,1	14,0
Cal 1	75,0	83,0	46,0	1,3
Cal 2	99,0	90,5	50,4	0,2

Con el objeto de ilustrar mejor esta tendencia el proyecto consideró necesario realizar estudios básicos que sirvan para complementar la información generada en los ensayos desarrollados en campo. El estudio se realizó en cuatro Andisoles de la IX Región. En el Cuadro 1 se presentan las principales características de la dolomita y de dos tipos de calcitas (Cal1 y Cal2) empleadas con fines comparativos para este estudio. El poder neutralizante expresado como porcentaje de CaCO₃, es superior en la dolomita que en las calizas empleadas, como resultado del mayor contenido de carbonato por kilo que este producto posee. Como se

observa en el Cuadro 1, el porcentaje de magnesio en la dolomita, expresado como MgO es de 14%, lo que constituye una muy buena alternativa para la corrección de deficiencias de magnesio en el suelo. Según antecedentes recopilados en el Laboratorio de Análisis del Instituto de Agroindustria de la Universidad de La Frontera, cerca del 32% de los suelos trumaos de la IX Región se encuentran en las categorías de bajo y muy bajo en los niveles de magnesio.

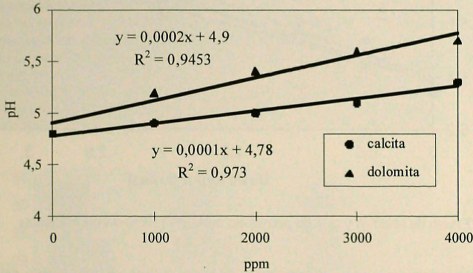


Figura 7. Efecto promedio de las enmiendas calcáreas sobre el pH de aluminio de los suelos de la Región sur.

La Figura 8 muestra el efecto del tipo de enmienda y dosis sobre el pH del suelo, para los Andisoles en estudio. Los productos usados, corresponden a calidad comercial y las dosis empleadas consideran el producto con la humedad natural. Como se observa, en ambos suelos el aumento de pH fue superior cuando se usó dolomita, debido al mayor contenido de grupos carbonatos. Sin embargo, la capacidad neutralizante real de la dolomita para los cuatro suelos estudiados (Cuadro 2), fue superior al incremento esperado según el poder neutralizante. Este resultado se debe probablemente a la presencia de pequeñas cantidades de magnesio como óxido de magnesio, que posee una mayor capacidad de neutralización.

Cuadro 2. Capacidad neutralizante de los productos de enmienda en cuatro Andisoles de la IX Región.

Producto	Serie de Suelo			
	Pemehue	Temuco	Santa Bárbara	Gorbea
Cal 1	0,14	0,14	0,14	0,13
Cal 2	0,18	0,17	0,17	0,17
Dol	0,21	0,21	0,21	0,21

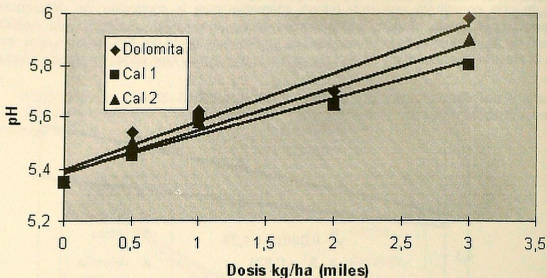


Figura 8. Efecto de la dosis y tipo de enmienda en el pH promedio de Andisoles

Se ha definido la capacidad neutralizante como el factor que da cuenta del cambio de pH por cada 1.000 kg de producto/ha utilizado. Para ilustrar el significado de los factores que se muestran en el Cuadro 2, se recurre al siguiente ejemplo que se muestra en el Cuadro 3.

Por otra parte, la eficiencia de los productos de enmienda es, fundamentalmente, la resultante de dos factores, el poder neutralizante y el grado de fineza del material. Una partícula más fina presenta mayor área de contacto y por lo tanto se disuelve rápidamente. Aunque los carbonatos de magnesio son menos solubles que los carbonatos de calcio, el mayor porcentaje de partículas finas que presentó la dolomita, superó este efecto.

Cuadro 3. Cambio de pH esperado en el suelo Serie Gorbea con una dosis de 2 ton/ha, según el factor neutralizante.

Fuente	pH
Testigo	5,26
Cal 1	5,60
Cal 2	5,52
Dol	5,68

Debido a que los cuatro suelos usados para el estudio son del tipo Andisol, la capacidad tampón de estos suelos fue muy similar, de manera que las variaciones observadas

(Cuadro 2) en la capacidad neutralizante son producidas más por el tipo de producto, que por el tipo de suelo.

En este ensayo, los productos fueron usados en base a materia seca, para lo cual las dosis fueron corregidas según la humedad del producto. En las Figuras 9 y 10 se muestra la respuesta al encalado de los suelos Gorbea y Temuco, que presentan niveles de alto y muy alto en saturación de aluminio, respectivamente. Como se muestra, el porcentaje de saturación de aluminio, disminuyó de acuerdo al aumento de pH provocado por el tipo de enmienda. Tal resultado era de esperar, dado que la dolomita al producir un mayor efecto neutralizante es capaz, a través de los mecanismos químicos como la precipitación, de reducir una mayor cantidad de aluminio de intercambio, que pasa a formar parte de la fase sólida del suelo. Por esta razón, disminuye el porcentaje de saturación de aluminio.

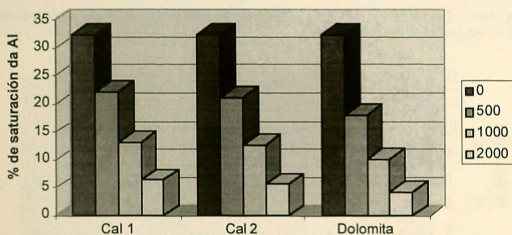


Figura 9. Efecto de la dosis y tipo de enmienda calcárea sobre el porcentaje de saturación de aluminio. Serie Gorbea.

Es interesante destacar que la dosis de enmienda que se debe usar para corregir los efectos de la acidificación, depende del nivel inicial de aluminio presente en el suelo. Como se observa, con una dosis equivalente a 2.000 kg/ha, sólo con dolomita el suelo Gorbea supera la categoría de saturación media. Sin embargo, para el suelo Temuco esta condición se presenta con una dosis inferior.

El efecto residual de la cal sobre las características de los suelos medido en los sitios en que se mantuvieron los ensayos de campo con aplicación de enmiendas, señala que una aplicación que neutraliza el pH a valores superiores a 5,4 es efectiva al menos hasta el tercer año, lo que amortiza el valor de aplicación en por lo menos tres temporadas agrícolas, luego de las cuales sería recomendable volver a realizar una aplicación de 1 ton/ha. Esta recomendación, no considera dosis de cal para neutralizar fertilizantes de reacción ácida.

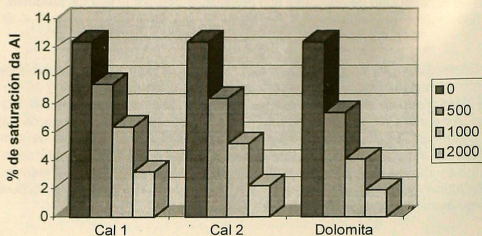


Figura 10. Efecto de la dosis y tipo de enmienda calcárea sobre el porcentaje de saturación de aluminio. Serie Temuco.

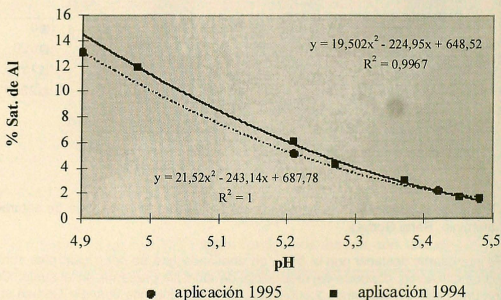


Figura 11. Efecto de la época de aplicación de enmienda sobre el pH y % saturación de Al de Andisoles de la Región Sur.

EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE ENMIENDAS CALCAREAS SOBRE LA PRODUCCION

Es un hecho conocido que el aumento del valor de pH producido por la aplicación de carbonatos de Ca y/o Mg provoca en suelos de carga variable, un aumento de la carga negativa

y con ello un aumento de la capacidad de retención de bases del complejo de intercambio. Esto último, determina en gran medida el nivel de fertilidad del suelo, por esta razón, la aplicación de cal supone un aumento en los rendimientos. Sin embargo, tanto las especies vegetales, como incluso los cultivos presentan distintos grados de tolerancia a las condiciones de acidez y por lo tanto, su respuesta a la aplicación de cal varía en un amplio rango.

Otra de las causas por la que la respuesta a la aplicación de cal no se traduce en un aumento de la producción se debe a que el contenido de Ca en el suelo se eleva considerablemente y se producen desequilibrios importantes con el resto de las bases. En general, si no se usa cal dolomítica la relación Ca/Mg se ve fuertemente alterada. Por otra parte, aunque el suelo presenta una alta selectividad por potasio, altas concentraciones de calcio revierten esta tendencia y el potasio es fácilmente perdido por lixiviación.

La Figura 12 muestra el efecto residual de la aplicación de calcita y dolomita sobre la producción. Estos resultados señalan que el rendimiento aumenta por efecto de la neutralización de la acidez con carbonatos y, además muestra claramente que no se presentan diferencias entre la aplicación de cal del primer año y la aplicación de los años siguientes, confirmando que el efecto de la enmienda calcárea en dosis de corrección se mantiene por tres años.

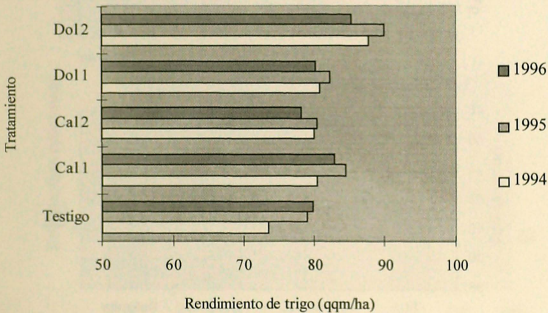


Figura 12. Efecto residual de las enmiendas calcáreas sobre la producción

Para cuantificar el rol de las enmiendas sobre la producción vegetal se evaluó el efecto de la dosis y tipo de enmienda calcárea, sobre las características del suelo y sobre el rendimiento y composición mineral del forraje empleando como planta indicadora, ballica Concord.

La Figura 13 muestra el efecto en la composición mineral de la ballica Concord, producido por las diferentes fuentes calcáreas utilizadas, con una dosis equivalente a 2.000

kg/ha. Los resultados sugieren que existe una directa relación entre la composición del producto de enmienda, su efecto en el suelo y la composición de la ballica.

Así, la relación Ca/Mg para este suelo con dolomita es de 4:1 y con Cal1 y Cal2 es cercana a 10:1. El comportamiento observado en este ensayo para el resto de los suelos estudiados fue muy similar. El balance alcanzado entre el calcio y el magnesio, cuando se usó dolomita, permitió una mejor absorción de potasio en la ballica. Este resultado coincidió con los estudios de simulación de lluvia caída que se realizaron para cuantificar las pérdidas de nutrientes por lixiviación. En este estudio en columnas, se encontró una menor pérdida de potasio por lixiviación, cuando la enmienda se realizó con dolomita.

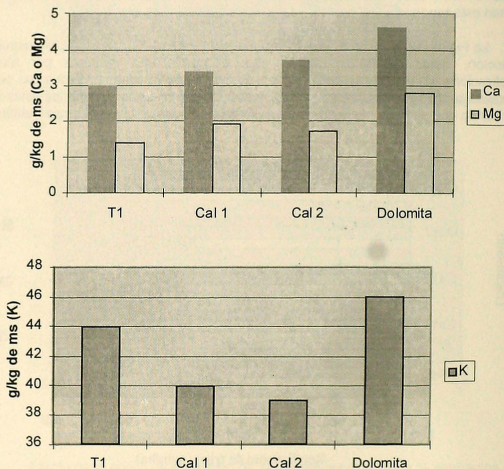


Figura 13. Efecto del tipo de enmienda calcárea en la composición mineral de *Lolium multiflorum* cv. Concord. Suelo Temuco.

La fuerte competencia entre calcio, magnesio y potasio, tanto en el suelo, como en la planta, hace que muchos Laboratorios de Análisis, realicen sus recomendaciones basados más en las relaciones Ca/Mg, Mg/K y K/Ca+Mg, que en los valores individuales. Se considera que una relación Mg/K es adecuada en el suelo cuando el porcentaje de saturación de magnesio es

dos veces superior al porcentaje de saturación de potasio. Esta relación en general para los suelos de la zona sur es menor.

Como se desprende también de la Figura 13 el contenido de magnesio en la ballica alcanzó el 2.8 g/kg (0,28%) cuando se usó dolomita y 1.7 y 1.9 g/kg (0,17 a 0,19 %) con las calizas. Se estima que como valor límite para prevenir la hipomagnesemia, el forraje debe contener un 0,2% de magnesio.

El efecto de la dosis de enmienda en la concentración de calcio y magnesio, muestra claramente que el uso de dolomita mantiene los niveles de magnesio en la planta, presentando una relación Ca:Mg entre 1,2:1 a 1,5:1, que muestra muy poca variación. Sin embargo, cuando se usa caliza, la relación Ca:Mg cambió desde 2,2:1 a 4:1.

En estudios en suelos Andisoles con porcentajes de saturación de Al superiores al 40 % y pH 4.3, el efecto sobre la producción es muy superior. Como se observa en la Figura 14 el rendimiento de materia seca en la ballica fluctúa entre 50 a 130 % dependiendo de la dosis y tipo de enmienda.

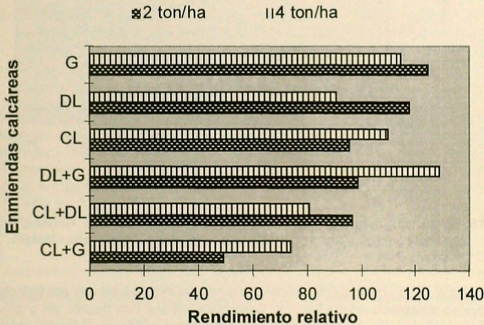


Figura 14. Efecto de la aplicación de enmiendas calcáreas sobre el rendimiento de materia seca de ballica en Andisoles. Serie Barros Arana. (G: yeso, DL: dolomita, CL: calcita)

Es interesante destacar que en la Figura 14 se muestra el efecto de la aplicación de yeso (G) sólo y en mezcla con calcita y dolomita. El incremento en rendimiento de materia seca

con yeso se debe sin duda al aporte de calcio y a la formación de especies químicas como AlHSO_4^{+2} y AlSO_4^{+} que no son tóxicas para las plantas, porque el cambio de pH es prácticamente nulo y el porcentaje de saturación de Al disminuye en menos de 50 %.

En general, los estudios señalan que la mezcla dolomita-yeso es una buena alternativa, debido a que la dolomita corrige la acidez del suelo disminuyendo el porcentaje de saturación de Al y aumenta el pH, con el consecuente aumento de la capacidad de retención de las bases de intercambio, y el yeso dado su mayor solubilidad y movilidad en el perfil del suelo aporta rápidamente el sulfato que enmascara la presencia de Al, favoreciendo la formación del sistema radical. Por otra parte, se realiza un aporte de calcio, magnesio y sulfato, que complementa la fertilización que requieren estos suelos

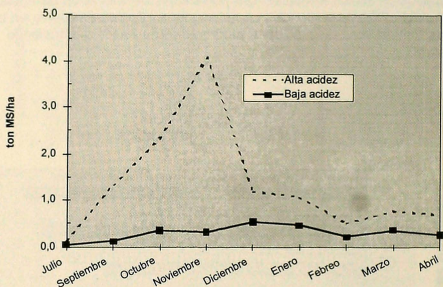


Figure 15. Producción mensual (ton ms/ha) de *Lolium multiflorum* cv. Concord en un suelo Andisol con baja y alta acidez. Serie Barros Arana. Temporada 1994/95

El efecto de la condición de acidez del suelo se muestra en una pradera de ballica de rotación que se estableció en un Andisol, Serie Barros Arana con distinto pH y porcentaje de saturación de Al (Figura 15). En el sitio con alta acidez, la saturación de Al fluctuó desde 17 a 35 % y el pH desde 5.2 a 4.9 en la temporada 1994-95 y en el de baja acidez la saturación de Al fluctuó entre 11.9 a 15.6 % y el pH entre 5.7 a 5.44. La producción total de la pradera fue de 14.2 y 10.1 ton ms/ha en el sitio con baja acidez y alta acidez, respectivamente, pero el impacto es aún mayor cuando se observa la composición botánica, donde sólo 2.7 ton ms/ha fueron de *Lolium multiflorum* en el sitio de alta acidez y 11.4 ton ms/ha en el sitio de baja acidez. El cambio en la producción y calidad del forraje se reflejó en la ganancia de peso vivo de los animales que talajearon ambas pasturas, donde los animales que consumieron el forraje de la pastura

desarrollada en el sitio de alta acidez sólo incrementaron su peso vivo en 0.55 kg/día y los otros 0.90 kg/día.

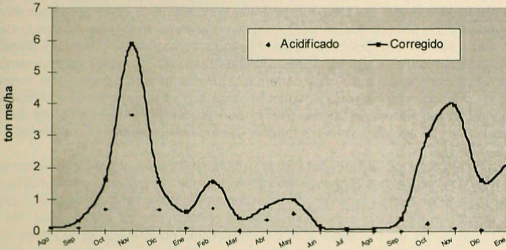


Figura 16. Distribución mensual de la producción (ton ms/ha) de dos pasturas de *Lolium perenne* + *Trifolium repens* establecidas en un suelo corregido con enmiendas calcáreas y un suelo acidificado sin aplicación de enmiendas. Andisol de la Serie Barros Arana. Temporadas 1996/97 y 1997/98

Estudios posteriores en una pradera de ballica perenne +trébol blanco muestran durante dos temporadas consecutivas el efecto de las enmiendas calcáreas sobre la producción de la pastura (Figura 16). Si bien es cierto en el primer año de establecimiento se observa una disminución importante en la producción cuando el suelo no es corregido con enmiendas calcáreas, en el segundo año la pastura prácticamente desaparece y es invadida por especies residentes de bajo valor nutritivo.

Cuadro 4. Producción total de materia seca (ton/ha), proteína (ton/ha) y energía metabolizable /Mcal/ha) de dos pasturas de *Lolium perenne* + *Trifolium repens* en suelos con y sin enmiendas calcáreas. Temporadas 1996/97 y 1997/98.

	ACIDIFICADO		CORREGIDO	
	1996/97	1997/98	1996/97	1997/98
Materia seca	8.12	10.69	14.29	15.02
Proteína	0.98	0.91	2.11	2,25
Energía metabolizable	19680	25291	34797	34052

Mora , Demanet y Stehr (1998). Informe Proyecto FONDECYT 1950/773

La producción total de materia seca de la pradera ballica perenne + trébol blanco y el aporte nutricional del forraje que se presenta en el Cuadro 4, muestran que la producción en el suelo sin enmiendas calcáreas disminuye entre 57 a 71 % en las dos temporadas evaluadas. Aún, mas impactante es la disminución en términos nutricionales que se observa a través de los contenidos de proteína y de energía. La disminución en producción , proteína y energía del forraje por efecto de la acidez del suelo, se debe fundamentalmente al escaso desarrollo radical que se observa en las plantas que se desarrollan en presencia de un alto contenido de iones hidrógeno y aluminio en la solución del suelo. El alto contenido de Al y bajo pH aumentan la carga positiva del suelo disminuyendo la capacidad de retención de bases de intercambio que neutralizan la actividad del Al en solución. Además, el aumento de protones en la solución del suelo inhibe la capacidad de los grupos carboxílicos de la materia orgánica para complejar el Al en solución y este es absorbido por las plantas que al dañar la pared celular de las raíces, inhiben el desarrollo radical y con esto la capacidad de explorar los nutrientes en el suelo.

En base a la información generada de la pastura se muestra el potencial de producción de carne y leche en la Cuadro 5. El modelo de simulación que se presenta permite dimensionar claramente las pérdidas que se originan sobre la producción de leche y carne al no corregir los problemas de acidez del suelo y es absolutamente concluyente en la necesidad de aplicar enmiendas calcáreas en suelos acidificados y los beneficios en términos económicos que trae aparejado

Cuadro 5. Simulación del potencial de producción animal de dos pasturas de *Lolium perenne*+*Trifolium repens* con y sin enmiendas calcáreas.

	ACIDIFICADO		CORREGIDO	
	1996/97	1997/98	1996/97	1997/98
Carga animal (UA/ha)	0.89	1.17	1.57	1.64
Leche (lt 4%MG/ha)				
Aporte proteico	5432	4532	11706	12544
Aporte energético	6495	8257	10339	9689
Carne (kg/ha)				
Aporte proteico	653	606	1406	1500
Aporte energético	536	690	949	928

UA = peso vivo de 500 kg

60% de eficiencia de utilización de la materia seca

Mora , Demanet y Stehr (1998). Informe Proyecto FONDECYT 1950/773

ROL DE LOS FERTILIZANTES NITROGENADOS Y FOSFATADOS EN LOS PROCESOS DE ACIDIFICACION DE LOS SUELOS.

MARÍA DE LA LUZ MORA G.¹, JUAN CARLOS GARCÍA D.², JAIME SANTANDER E.³ Y ROLANDO DEMANET F.²

¹Departamento de Ciencias Químicas, Facultad de Ingeniería, Ciencias y Administración.

²Departamento de Producción Agropecuaria, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales.

³Instituto de Agroindustria. Universidad de La Frontera. Casilla 54-D. Temuco. Chile

La fracción coloidal del suelo en contacto con la solución regula, a través de mecanismos fisicoquímicos de interfase, la disponibilidad de los nutrientes para las plantas. En especial los suelos derivados de cenizas volcánicas que poseen carga variable dependiente del pH, característica que es determinante en su comportamiento y que hace que en definitiva determine el nivel de fertilidad. Es así, que a pH ácido, bajo 5.5 el aumento de carga positiva que se genera disminuye la capacidad de los suelos de retener las bases de intercambio y consecuentemente aumenta el contenido de Al en solución, generando problemas en la nutrición vegetal. Por esta razón, el uso de productos químicos, como los fertilizantes generan diversos tipos de reacción, que alteran el equilibrio y que pueden provocar cambios que redundan en una pérdida de productividad de los suelos.

Debido a la condición ácida que caracteriza a los suelos volcánicos, tales como Andisoles y Ultisoles, que se destinan principalmente a la producción de cereales y producción animal, los fertilizantes de reacción ácida aplicados en forma continuada sobrepasan la capacidad tampón del suelo y el proceso de acidificación se acelera. Es así, como los fertilizantes que incluyen en su composición nitrógeno amoniacal reaccionan en el suelo aumentando la concentración de protones como resultado del proceso de nitrificación, además de la acidificación fisiológica producida por las raíces del cultivo.

La gran variedad de fertilizantes nitrogenados y fosfatados que existen en la actualidad hizo necesario evaluar el impacto de estos componentes químicos en el suelo y su efecto sobre la producción.

Los resultados que se presentan a continuación corresponden, en general, a grandes tendencias estimadas en los distintos sitios de ensayos, durante el período 1994-1997 en la zona sur del país.

FUENTES DE FÓSFORO EN LA PRODUCCIÓN DE CEREALES

En el estudio de las fuentes de fósforo se utilizó como base de investigación el SFT y se evaluaron dos tipos de fuentes fosfatadas. Las primeras incluyen nitrógeno amoniacal, como son FDA y FMA, y las segundas presentan diferente grado de solubilidad, tales como la roca Carolina del Norte (RCN) y la roca parcialmente acidulada superfos (SFOS).

Como parte de la evaluación, se consideró además el empleo de cal de neutralización, utilizando distintas dosis de cal que fueron desde de 2 hasta 6 kg por cada kg de N-NH₄ que posee el fertilizante fosfatado.

Las evaluaciones se realizaron en trigo, avena, raps y lupino. Los resultados que a continuación se detallan considera en primer término el análisis sobre los cultivos en una rotación trigo-avena-trigo realizado tanto en suelos trumaos (Andisoles), como rojos (Ultisoles).

El efecto químico promedio sobre los parámetros de acidez en suelos trumaos (Andisoles) de las distintas fuentes fosfatadas se muestran en el Cuadro 1. Como era de esperar el uso de altas dosis de P aplicados al surco de siembra de los fertilizantes que incluyen N-NH₄ generan una alta concentración de protones en el suelo que se traduce en una disminución de pH al término de la rotación de 0.5 unidades con FMA y 0.7 unidades con FDA.

Cuadro 1. Efecto de las fuentes de P sobre los parámetros de acidez en una rotación trigo-avena-trigo en suelos trumaos. Serie Gorbea.

Fuentes de P	pH			Sat. Al (%)		
	1995	1996	1997	1995	1996	1997
SFT	5,48	5,18	5,41	8,50	10,10	6,00
SFN	5,60	5,18	5,62	7,40	8,60	4,60
SFOS	5,61	5,20	5,66	6,80	10,80	6,30
RCN	5,45	5,10	5,40	8,40	11,20	6,50
FDA	5,30	4,69	4,75	13,60	21,50	32,40
FDA+2	5,20	4,72	4,61	9,50	20,90	31,70
FDA+4	5,21	4,80	4,55	10,90	18,40	19,90
FDA+6	5,31	4,85	5,32	8,70	12,20	7,40
FMA	5,50	4,96	5,07	9,50	16,30	17,90
FMA+2	5,40	4,94	4,99	11,70	15,60	16,90
FMA+4	5,51	4,98	5,23	11,00	15,10	10,90
FMA+6	5,41	5,03	5,28	8,00	12,20	10,10

pH inicial: 5,45

% Saturación Al inicial: 12

El aumento de protones genera a través de los mecanismos de hidrólisis la liberación de Al desde los grupos Al-OH y los complejos humus-Al, existentes en la superficie de los coloides induciendo un aumento del contenido de Al de intercambio en la solución del suelo.

En el mismo Cuadro 1 se presenta la evolución del porcentaje de saturación de Al en el periodo de rotación trigo-avena-trigo. Los fertilizantes de reacción ácida provocaron un aumento en este parámetro de 8,5 a 17,9 cuando se usó FMA y hasta 32,4 cuando se usó FDA. Este comportamiento se ilustra claramente en la Figura 1, donde las rocas fosfóricas y el superfosfato normal (SFN), como era de esperar, debido al aumento del contenido de Ca y a la liberación de OH a través del complejo de intercambio de ligandos por iones fosfato en la superficie de los coloides, reducen el porcentaje de saturación de Al.

Es importante resaltar que el uso reiterado de fuentes fosfatadas acidificantes, año a año, resulta en un efecto acumulativo y muy rápido del porcentaje de saturación de Al. Como se observa en el Cuadro 2, ya en el primer año de aplicación de las fuentes fosfatadas acidificantes ejercieron un efecto negativo sobre los parámetros de acidez del suelo y sobre el rendimiento del cultivo. Este comportamiento se agudiza con la aplicación reiterada de este tipo de fertilizantes disminuyendo drásticamente los rendimientos obtenidos, como se indica en las Figuras 2, 3 y 4 y Cuadro 4.

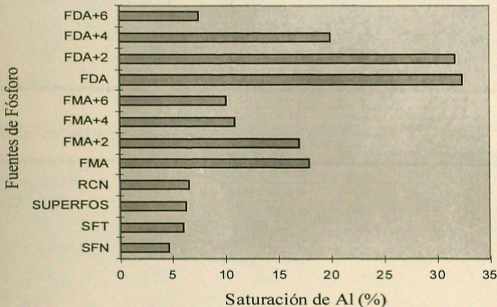


Figura 1. Efecto de la fuente de fósforo sobre el porcentaje de saturación de aluminio en suelos trumaos de la zona sur.

Estos estudios han generado una valiosa información respecto a la relación directa que existe entre el porcentaje de saturación de Al y la pérdida de rendimiento. Durante la primera temporada el efecto del porcentaje de saturación de Al sobre el rendimiento es cercano a 10 qqm de trigo/ha, pero al término del tercer año de rotación la pérdida de rendimiento puede alcanzar valores de hasta 60 qqm de trigo/ha, con el consecuente costo de recuperación del suelo.

Cuadro 2. Efecto de las fuentes de fósforo sobre los parámetros de acidez del suelo. Año 1, Trigo. Serie Gorbea.

Tratamiento	pH	Suma bases	Sat. Al (%)	Rendimiento (qqm/ha)
SFT	5,48	2,57	8,50	58,2
SFN	5,60	2,24	7,40	59,7
Superfos	5,61	2,34	6,80	59,9
RCN	5,45	2,61	5,9	52,0
FDA	5,30	1,93	13,5	50,0
FDA+2	5,20	2,56	10,9	53,3
FDA+4	5,20	2,29	9,50	58,5
FDA+6	5,31	2,62	8,70	62,0
FMA	5,59	2,18	12,0	48,5
FMA+2	5,40	2,33	10,7	50,1
FMA+4	5,51	2,24	9,30	53,0
FMA+6	5,41	2,43	8,00	57,0

Cuadro 3. Efecto de las fuentes de fósforo sobre los parámetros de acidez del suelo en una rotación trigo-avena. Año 2, Avena. Serie Gorbea.

Tratamiento	pH	Suma bases	Sat. Al (%)	Rendimiento (qqm/ha)
SFT	5,18	2,66	10,1	56,2
SFN	5,18	3,2	8,6	55,8
Superfos	5,20	2,55	10,8	55,5
RCN	5,10	2,54	8,7	50,2
FDA	4,69	2,23	21,5	45,3
FDA+2	4,72	2,16	20,9	48,3
FDA+4	4,80	2,26	18,4	49,1
FDA+6	4,85	2,96	12,2	52,9
FMA	4,96	2,15	16,3	50,1
FMA+2	4,94	2,33	15,6	53,0
FMA+4	4,98	2,13	15,1	54,2
FMA+6	5,03	2,66	12,2	54,6

Como se ha descrito en trabajos anteriores la avena es un cultivo que presenta, en general, una mayor tolerancia a las condiciones de acidez del suelo; sin embargo, aunque la disminución provocada en el rendimiento es inferior que con trigo, se presenta siempre la misma tendencia entre rendimiento y saturación de Al, toda vez que se usó el cultivar Nehuen el que, según los tests de tolerancia aparece como el mas sensible.

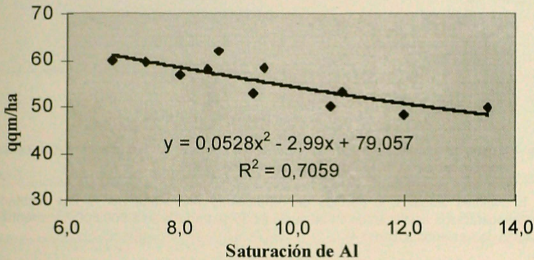


Figura 2. Efecto del contenido de aluminio del suelo sobre la producción de trigo en suelos trumao acidificados. Año 1 de la rotación de cultivo.

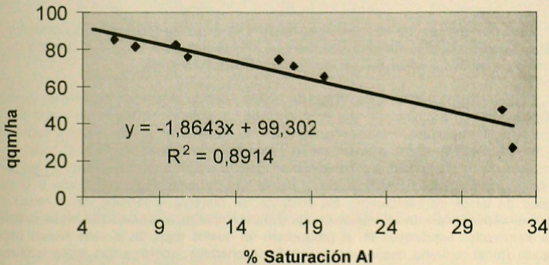


Figura 3. Efecto del contenido de aluminio del suelo sobre la producción de trigo en suelos trumao acidificados. Año 3 de la rotación de cultivo.

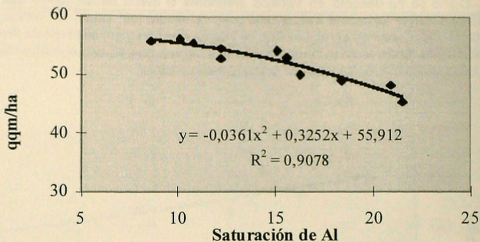


Figura 4. Efecto del contenido de aluminio del suelo sobre la producción de avena en suelos trumaos acidificados. Año 2 de la rotación de cultivo.

En valores actuales, la pérdida de rendimiento provocada por el uso reiterado de fertilizantes fosfatados acidificantes en un suelo ácido se traduce en \$ 500.000/ha al término de una rotación de tres años (Cuadro 4).

El uso de cal de neutralización, resulta una alternativa interesante dado que cuando se utilizan 6 kg de carbonato de calcio por kilo de nitrógeno amoniacal aplicados al surco de siembra, las diferencias de rendimiento entre las fuentes fosfatadas acidificantes y el SFT no son significativas; sin embargo, los parámetros de acidez del suelo son mejores con el SFT. Además, desde el punto de vista económico es una buena alternativa pero no es la mejor opción.

Se debe destacar que las alternativas de 2 y 4 kg de cal/kg N-NH₄ son insuficientes para neutralizar el efecto acidificante de estas fuentes, situación que se traduce al término de una rotación de tres años de cultivo en una importante pérdida económica.

En los Ultisoles (suelos rojos) el tipo de arcillas y óxidos presentan estructuras cristalinas de mayor resistencia a la hidrólisis que en el caso de los alofanos u óxidos de hierro amorfos existentes en los Andisoles. Por esta razón, el efecto acidificante que se observa sobre el pH del suelo no guarda la misma relación con el porcentaje de saturación de Al (Cuadro 5). En general entonces, a pesar de que el contenido de materia orgánica es muy inferior en los suelos rojos, la capacidad tampón resulta superior por el tipo de mineralogía del suelo y el mayor contenido de bases de intercambio. No obstante, se observa al término de la rotación un aumento en el porcentaje de saturación de Al, que sin embargo, a esos niveles no se manifiesta en una disminución significativa en el producción en suelos rojos de la serie Nueva Imperial (Cuadro 6). Por el contrario, desde una perspectiva económica, debido a que estos fertilizantes son de menor costo, como se muestra en el Cuadro 6, al término de la rotación es mas rentable el uso de las fuentes FMA y FDA neutralizadas.

Cuadro 4. Pérdida de ingreso total de los tratamientos respecto al testigo (SFT) en la rotación trigo-avena-trigo, en las temporadas 1994/95, 1995/96, 1996/97. Serie Gorbea.

FUENTE	TRIGO	AVENA (qqm/ha)	TRIGO	PERDIDA (\$) RELATIVA A SFT
SFT	58,27	56,29	84,90	-----
FDA	50,01	45,30	26,40	508.615
FDA + 2	53,21	48,35	47,10	319.555
FDA + 4	58,58	49,19	64,70	146.217
FDA + 6	58,00	52,99	81,60	10.249
FMA	49,52	50,11	70,80	185.842
FMA + 2	50,16	53,08	74,60	141.106
FMA + 4	53,04	54,25	75,50	108.454
FMA + 6	57,08	53,63	82,50	29.238

Cuadro 5. Efecto de las fuentes de P sobre los parámetros de acidez del suelo. Suelo Rojo Arcilloso al cabo de tres temporadas.

Fuentes de P	pH			Sat. Al (%)		
	1995	1996	1997	1995	1996	1997
SFT	5.47	5.46	5.48	6.60	6.10	5.00
SFOS	5.44	5.41	5.42	5.70	6.10	6.30
RCN	5.40	5.43	5.49	6.80	5.00	3.90
FDA	5.33	5.22	5.05	7.30	7.80	8.70
FDA+2	5.45	5.30	5.13	6.40	6.50	6.70
FDA+4	5.50	5.32	5.23	5.60	7.20	8.20
FDA+6	5.46	5.40	5.38	5.60	4.90	5.20
FMA	5.11	5.10	5.08	7.40	7.90	9.70
FMA+2	5.38	5.25	5.15	6.00	8.10	9.10
FMA+4	5.41	5.28	5.34	6.00	5.70	4.60
FMA+6	5.54	5.44	5.46	5.80	5.50	4.30

La evaluación del efecto de las fuentes fosfatadas de reacción ácida en los diferentes sitios de estudio realizado por este proyecto señalan que su uso reiterado no es recomendable en suelos ácidos de la zona sur del país, debido a que aceleran el proceso de degradación del suelo.

Los antecedentes que confirman esta recomendación es que en suelos de transición de la Serie Victoria, con un bajo nivel de saturación de Al inicial (4.1 %) el impacto de la acidez se manifiesta en una disminución del rendimiento en trigo que es del orden de 13 % con FMA y 19 % con FDA en qqm/ha, con un aumento en el nivel de saturación de Al desde 4.1 a 6.2 y 7.6 con FMA y FDA, respectivamente (Cuadro 7).

Cuadro 6. Efecto en el ingreso total de los tratamientos respecto al testigo (SFT) en la rotación trigo-avena-trigo, en las temporadas 1994/95, 1996/97. Suelo rojo-arcilloso. Localidad Nva. Imperial.

FUENTE	TRIGO 1996/97 (qqm/ha)	TRIGO 1994/95 (qqm/ha)	PERDIDA O GANANCIA (\$) RELATIVA A SFT
SFT	61,9	63,2	-----
FDA	60,9	65,8	31.160
FDA + 2	60,3	61,2	(7.320)
FDA + 4	64,3	63,9	42.260
FDA + 6	67,0	66,9	84.440
FMA	60,8	66,3	25.314
FMA + 2	60,4	68,6	39.374
FMA + 4	60,4	64,4	8.284
FMA + 6	60,8	64,4	11.254

Es interesante destacar que en el caso de estudio de la Serie Nueva Imperial se usó trigo OTTO Baer, variedad desarrollada en suelos acidificados, razón por la cual presentan alta tolerancia a las condiciones de acidez de los suelos, tal como lo demuestran los tests de tolerancia a Al. Por el contrario en la Serie Victoria se usó UFRO T-8, variedad de origen europeo con bajo nivel de tolerancia al contenido de aluminio soluble en el suelo. Por esta razón, desde el punto de vista de la producción, el efecto que estos fertilizantes tienen sobre el suelo en este tipo de suelos, es inferior al que ejercen la adaptación de las variedades empleadas.

FUENTES DE FOSFORO EN LA PRODUCCIÓN DE PRADERAS DE ROTACIÓN.

En estudios preliminares realizados en suelos sin limitantes de acidez se ha demostrado que el rendimiento de las ballicas de rotación supera las 14 ton ms/ha/año. Cuando se establece esta especie en suelos con alto índice de acidez la producción disminuye ostensiblemente, alcanzando valores inferiores al 50% del potencial establecido para la zona sur. Las fuentes fosfatadas analizadas en este estudio incluyen en su estructura nitrógeno amoniacal que incrementa el grado de acidez del suelo.

Cuadro 7. Efecto de la fuente de Fósforo sobre el rendimiento de Trigo y porcentaje de saturación de Al en el suelo al término de la temporada. Serie Victoria.

Fuente de P	% Saturación Al	Rendimiento qqm/ha	Rendimiento Relativo (%)
SFT	3.9	67.31	100
SFN	3.6	61.93	92
SFOS	3.1	67.68	101
RCN	3.8	63.72	94
FDA	7.6	54.21	81
FDA+2	6.6	57.19	85
FDA+4	4.1	52.85	79
FDA+6	3.6	48.01	71
FMA	6.2	58.63	87
FMA+2	4.5	59.91	89
FMA+4	4.2	60.77	90
FMA+6	3.6	64.26	95

Al comparar el rendimiento de este tipo de fertilizantes con el SFT se observa una reducción de 10,6 ton ms/ha a 6,94 ton ms/ha cuando se aplica FDA y 7,54 ton ms/ha cuando se aplica FMA. Al emplear cal con el fin de neutralizar el efecto acidificante de estos fertilizantes (cal de neutralización), se incrementa la producción en la medida que disminuye el efecto acidificante del fertilizante llegando a superar, con FMA+6, el rendimiento alcanzado por el SFT. Como consecuencia de lo anterior, el costo de producción de materia seca disminuye en 8% (Cuadro 8).

Una de las etapas más críticas para el desarrollo futuro de las pasturas es el período de establecimiento, en el cual se define la población inicial de plantas y el grado de competencia que éstas tendrán con las especies residentes. Por tanto, es importante que en esta etapa fenológica la pastura presente un rápido crecimiento y desarrollo, lo cual va a estar definido por las características genéticas de la especie y cultivar, condiciones de humedad del suelo y nivel de nutrientes disponibles.

En esta etapa el efecto detrimental de los fertilizantes acidificantes FMA y FDA no neutralizados, es superior al efecto que provocan sobre la producción total del año, dado que a través del tiempo la pastura compensa su baja población aumentando el número de macollos por planta. Por otra parte, el grado de solubilidad de los fertilizantes fosfatados tiene un efecto directo en el desarrollo inicial de la pastura. El menor contenido de fósforo en la solución del suelo, que aportan las fuentes de baja solubilidad, RCN y SFOS, determina una reducción en el rendimiento inicial de la pastura, lo cual es de esperar dada la lenta solubilidad del fósforo y el escaso desarrollo radical de las plantas. El nivel de producción de las fuentes solubles es alcanzado por las fuentes de entrega lenta a partir del segundo y tercer corte, es decir, cuando

la planta posee un desarrollo radical mayor y en la solución del suelo existe una mayor disponibilidad de fósforo (Figura 5)

Cuadro 8. Incidencia de la fuente fosfatada usada al establecimiento y mantención sobre el rendimiento de dos años y costo de producción de materia seca de *Lolium multiflorum* cv. Concord

FUENTE	ton ms/ha	\$/kg ms	Costo relativo (%)
SFT	10.60	35.6	100
FDA	6.94	52.7	148
FDA + 2	8.56	43.8	123
FDA + 4	10.20	37.6	106
FDA + 6	10.32	35.1	99
FMA	7.54	51.4	144
FMA + 2	9.10	43.0	121
FMA + 4	9.50	41.7	117
FMA + 6	11.24	32.9	92

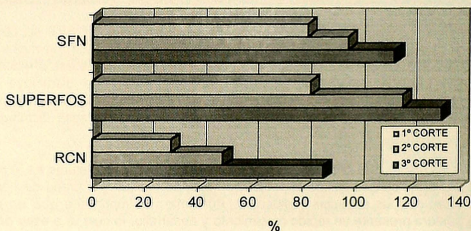


Figura 5. Efecto de las fuentes de fósforo sobre la producción de *Lolium multiflorum*. Rendimiento relativo a SFT.

La baja población inicial de plantas que se manifiesta en la pastura con el uso de las fuentes fosfatadas acidificantes tiene un efecto directo sobre la producción de forraje de la segunda temporada. Las plantas que sobreviven a la condición de acidez del suelo, presentan un bajo desarrollo radical. Esta situación impide que la pastura soporte el stress hídrico del período estival, produciéndose una alta pérdida de plantas en dicho período. Al inicio del crecimiento de otoño de la segunda temporada, las diferencias en el número de macollos entre el SFT y los fertilizantes acidificantes es superior a 100%, situación que determina una reducción de rendimiento mayor a 130% (Cuadro 9). Consecuentemente con lo observado en

el rendimiento, el contenido de P foliar en las plantas es inferior a 0.15 % con las fuentes acidificantes en las primeras etapas de desarrollo y superior a 0.2 con las fuentes no acidificantes. Esto último debido a la escasa capacidad de exploración de las raíces de la pastura, provocada por la toxicidad de aluminio.

Cuadro 9. Incidencia de la fuente fosfatada usada al establecimiento y mantención sobre el rendimiento (ton ms/ha) de *Lolium multiflorum* cv. Concord.

FUENTE	1994/95	1995/96	Promedio
SFT	5.40	5.20	5.30
FDA	4.74	2.20	3.47
FDA + 2	4.91	3.65	4.28
FDA + 4	5.40	4.80	5.10
FDA + 6	5.38	4.94	5.16
FMA	4.60	2.94	3.77
FMA + 2	4.81	4.29	4.55
FMA + 4	5.11	4.39	4.75
FMA + 6	6.32	4.92	5.62

Cuadro 10. Efecto de las fuentes de P sobre los parámetros de acidez del suelo. Serie Pemehue.

Fuentes de P	pH			% Saturación de Al		
	27/10/94	27/04/95	22/11/95	27/10/94	27/04/95	22/11/95
SFT	4.95	5.84	5.72	10.6	11.2	9.5
SFNormal	4.97	5.64	5.50	11.6	11.5	7.9
SFOS	5.22	5.77	5.69	7.2	8.0	8.5
RCN	4.99	5.92	5.49	10.3	9.4	8.8
FDA	5.52	5.69	5.20	29.7	19.0	18.2
FDA+2	4.62	5.76	5.64	22.1	18.8	18.4
FDA+4	4.79	5.70	5.47	15.8	16.6	14.0
FDA+6	4.91	5.84	5.50	9.3	10.8	16.8
FMA	4.68	5.75	5.70	19.4	15.5	16.4
FMA+2	4.73	5.71	5.57	20.0	14.7	15.6
FMA+4	4.90	5.77	5.44	17.1	11.2	15.0
FMA+6	4.89	5.78	5.50	17.0	10.1	14.9

La pérdida de rendimiento de las pasturas establecidas en suelos ácidos con fertilizantes acidificantes es consecuencia de la toxicidad que se produce a nivel rizosférico, en especial en cultivares sensibles como lo es Concord, que impide el desarrollo radical de las plantas y consecuentemente la absorción de nutrientes. Como se ilustra en los Cuadros 10 y 11, los fertilizantes acidificantes provocan un incremento sustancial en los parámetros de acidez del suelo que así como se observa en los cereales se correlaciona directamente con la reducción del rendimiento de la pastura (Figura 6).

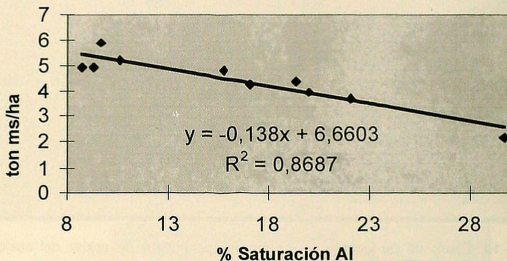


Figura 6. Efecto del contenido de aluminio del suelo sobre la producción de *Lolium multiflorum* en Andisoles acidificados.

Consecuentemente con lo observado en el rendimiento, el contenido de P foliar en las plantas es inferior a 0.15 % con las fuentes acidificantes en las primeras etapas de desarrollo y superior a 0.2 con las fuentes no acidificantes. Esto último debido a la escasa capacidad de exploración de las raíces de la pastura, provocada por la toxicidad de aluminio.

Es interesante destacar los cambios provocados por las fuentes de fósforo de baja solubilidad, RCN y SFOS, que al ser aplicados en suelos ácidos provocan una reducción del porcentaje de saturación de Al, producto del aumento del nivel de calcio y reducción del contenido de Al en el suelo. Este mejoramiento de los parámetros químicos del suelo se traduce en un incremento de rendimiento, que incluso puede superar el alcanzado por el SFT.

FUENTES DE NITRÓGENO EN LA PRODUCCIÓN DE CEREALES

Uno de los principales factores responsables del proceso de acidificación de los suelos es el uso de fertilizantes de reacción ácida. Sin embargo, a diferencia de los fertilizantes fosfatados que deben ser aplicados en el surco de siembra para aumentar la eficiencia, los

fertilizantes nitrogenados son aplicados en cobertera, siendo ésta la razón por la cual el impacto de su acidificación es inferior. Existe además un grupo de fertilizantes nitrogenados que se encuentran neutralizados con cal o dolomita, algunos de los cuales se presentan en la Cuadro 12, cuya reacción en el suelo es mas cercana a la neutralidad. Finalmente, la mezcla física de salitre y urea que comercialmente se denomina Supernitro.

Cuadro 11. Efecto de las fuentes de P sobre los parámetros de acidez del suelo. Serie Santa Bárbara

Fuentes de P	pH			% Saturación de Al		
	28/07/94	10/02/95	05/05/95	28/07/94	10/02/95	05/05/95
SFT	5.33	5.69	5.89	5.2	9.2	9.5
SFNormal	5.35	5.52	5.98	5.0	5.5	7.6
SFOS	5.50	5.61	6.07	5.9	7.8	7.2
RCN	5.57	5.50	6.01	5.6	5.7	8.8
FDA	5.19	5.24	5.94	10.0	24.1	15.4
FDA+2	5.55	5.46	5.87	9.9	18.1	16.6
FDA+4	5.52	5.43	5.93	8.4	15.8	13.8
FDA+6	5.53	5.29	5.83	6.8	16.2	16.6
FMA	5.51	5.20	5.24	9.7	20.1	15.2
FMA+2	5.50	5.59	5.98	7.2	13.5	10.2
FMA+4	5.31	5.57	5.95	7.6	13.1	14.2
FMA+6	5.35	5.50	5.96	3.7	10.7	7.9

Como era de esperar según el manejo de los fertilizantes nitrogenados, donde lo usual en cultivos es aplicar al surco entre 25 y 30 kg/ha de N, sólo para asegurar que exista un nivel adecuado de este nutriente cuando la planta lo empiece a necesitar. El resto del nitrógeno que va normalmente entre 150 y 200 kg/ha se aplica en cobertera en dos parcialidades durante el período de desarrollo del cultivo, aplicándose normalmente de 90 a 100 kg/ha a la macolla. Esta condición de manejo hace que el efecto acidificante en el suelo de los fertilizantes nitrogenados que poseen N-amoniaco sea mas lento en el suelo y no tenga un efecto drástico sobre el desarrollo de la planta. Esto se observa claramente en los Cuadros 12 y 13, para suelos trumaos y rojo arcillosos, respectivamente, donde no existe un gran impacto de las fuentes amoniacales puras sobre los parámetros de acidez del suelo después de tres años de aplicación consecutiva, que se traduce en un rendimiento similar al obtenido por las fuentes nítricas. Consecuentemente, los fertilizantes neutralizados que existen en el mercado presentan valores, tanto en los parámetros de acidez del suelo como en los rendimientos alcanzados en la rotación, similares a las fuentes nítricas.

Es evidente que en los suelos rojo arcillosos el rendimiento obtenido es superior al logrado en suelos Andisoles (trumaos), dado que el mayor contenido de bases de intercambio y

las características edafoclimáticas de este tipo de suelos favorecen la producción de cereales. Por otra parte, el valor del nitrógeno como urea es 1/3 del valor de la fuente nítrica de referencia. La combinación de ambos factores hace que prácticamente todas las fuentes nitrogenadas sean más rentables en la producción de cereales que la fuente nítrica, salvo el Salitre Mg que presenta un delta negativo como consecuencia de la falta de neutralización de su componente amoniacal (Cuadros 14 y 15).

Cuadro 12. Efecto de las fuentes de N sobre los parámetros de acidez del suelo en una rotación trigo-avena-trigo. Andisol.

	pH			Sat. Al (%)		
	1995	1996	1997	1995	1996	1997
Fuentes de N						
Urea	5,49	4,86	5,22	8,40	13,90	9,10
Supernitro	5,17	5,20	5,88	10,90	9,00	4,40
Supernitro Mg	5,24	5,22	5,89	14,70	9,90	4,10
Nitroplus	5,36	5,19	5,54	8,90	6,00	4,60
Nitromag	5,37	5,17	5,41	7,70	8,10	7,30
Nitro cal	5,30	5,21	5,46	7,40	5,70	3,60
Nitrato calcáreo	5,42	5,09	5,34	7,90	9,20	5,10
Salitre Mg	5,31	5,73	6,13	6,50	4,40	1,70
Salitre Na	5,50	5,69	6,10	8,60	6,60	2,20

Cuadro 13. Efecto de las fuentes de N sobre los parámetros de acidez del suelo en una rotación trigo-avena-trigo. Ultisol.

	pH			Sat. Al (%)		
	1995	1996	1997	1995	1996	1997
Fuentes de N						
Urea	5.03	4.66	4.77	13.30	16.60	14.20
Supernitro	5.54	5.00	5.53	6.60	8.70	6.20
Supernitro Mg	5.49	4.95	5.69	4.30	8.90	5.20
Nitroplus	5.21	4.76	5.02	7.30	12.00	9.30
Nitromag	5.32	4.87	4.88	5.60	12.20	12.30
Nitro cal	5.21	5.13	5.20	5.70	5.40	3.60
Nitrato calcáreo	5.05	4.79	4.90	7.60	12.70	12.90
Salitre Mg	5.69	5.65	5.78	5.69	4.80	4.50
Salitre Na	5.54	5.27	6.00	5.54	4.10	1.30

Cuadro 14 Efecto en la producción y en el diferencial de ingreso total en una rotación trigo-avena-trigo de las distintas fuentes nitrogenadas en Andisoles. Serie Gorbea

Fuente	Temporada			Diferencial de ingresos (\$) con respecto al salitre
	1996/97	1995/96	1994/95	
	Trigo	Avena	Trigo	
Nitro Cal	83,5	68,4	55,4	19.106
Nitroplus	82,5	62,1	51,9	76.616
Supernitro	77,8	70,3	48,8	54.766
Nitromag	77,8	62,8	55,0	98.558
Salitre Mg	76,8	71,4	49,2	-149.038
Supernitro Mg	76,6	66,8	52,5	34.186
Nitrato calcáreo	76,3	65,2	53,6	89.383
Salitre Na	75,2	68,3	56,8	----
Urea	72,4	65,0	57,5	165.660

Cuadro 15. Efecto sobre la producción y en el diferencial de ingreso total de las distintas fuentes nitrogenadas en una rotación trigo-avena-trigo en un Ultisol. Serie Nueva Imperial.

Fuente	Temporada			Diferencial de ingresos (\$) con respecto al salitre
	1996/97	1995/96	1994/95	
	Trigo	Avena	Trigo	
Nitro Cal	75,2	41,8	73,4	168.993
Nitroplus	70,3	36	71	181.478
Supernitro	71,5	40,1	61,0	160.753
Nitromag	69,3	40,5	73,7	253.676
Salitre Mg	66,1	39,6	63,2	-70.407
Supernitro Mg	74,8	38,5	68,8	210.501
Nitrato calcáreo	70,7	38,2	73,0	254.511
Salitre Na	68,2	41,1	53,4	----
Urea	72,9	36,6	70,3	329.094

Sin embargo, en suelos trumaos fuertemente acidificados, debido al bajo contenido de bases de intercambio (Suma de bases 1.80 meq/100 g), el rendimiento que se obtiene con Urea neutralizada con 2, 4 y 6 kg $\text{CaCO}_3/\text{kg N-NH}_4$ no supera el rendimiento que se obtiene con la fuente nitríca, aunque en el suelo corregido con cal y fertilizado con urea mas 2 kg $\text{CaCO}_3/\text{kg N-NH}_4$, la diferencia de rendimiento no es significativa con respecto al salitre sódico. De esta manera, los antecedentes anteriores sugieren el uso de urea neutralizada como una buena alternativa; sin embargo, es necesario corregir la situación de acidez del suelo previo al uso de esta tecnología, como lo ilustra la Figura 7, donde se utilizó un cultivar tolerante a las condiciones de acidez.

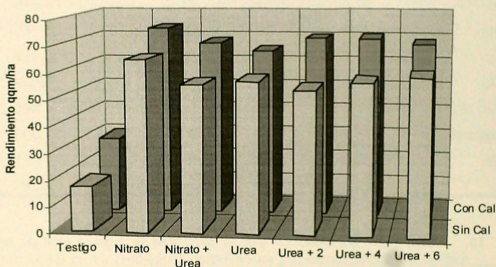


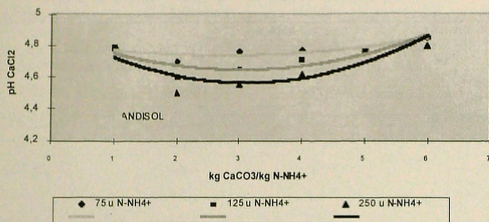
Figura 7. Efecto de las fuentes nitrogenadas y encalado en el rendimiento de trigo cv. Otto Baer. Serie Pemehue

En el Cuadro 16 se muestra el cambio en los parámetros de acidez del suelo serie Pemehue utilizado en el estudio que sustentan claramente la respuesta en el rendimiento de trigo alcanzado, debido al aumento de pH, incremento sustancial de la suma de bases y la disminución del porcentaje de saturación de Al.

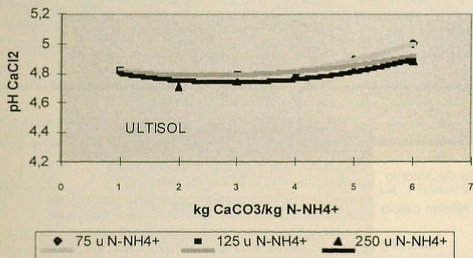
En la Figura 8 se presenta un estudio básico de simulación de los cambios de pH que se generan con el uso de urea y urea neutralizada que permiten demostrar la necesidad de usar dosis de cal de neutralización cercanas a 4 kg cal/kg N-NH_4 para asegurar la mantención del pH del suelo y con ello la producción.

El estudio de las fuentes nitrogenadas con una especie sensible como lo es la cebada indica que en suelos acidificados no es posible emplear las fuentes amoniacales debido a que la acidez genera por estas fuentes inhibe el desarrollo productivo de esta especie. La Figura 9 muestra claramente la pérdida de rendimiento que va hasta un 40% con las fuentes amoniacales puras cuando se compara con la fuente nitríca. Se debe considerar que la acidez fisiológica de esta especie es muy alta en presencia de amoniacales. El cultivar utilizado para realizar este

estudio fue un cultivar sensible : Cherie que fue sembrada en suelos de las series Pemehue, Piedras Negras y Fresia.



Tratamiento	Ecuaciones ajustadas	R ²
75 u N-NH ₄ ⁺	$y = 0,0107x^2 - 0,0593x + 4,82$	0,7325
125 u N-NH ₄ ⁺	$y = 0,0252x^2 - 0,1531x + 4,879$	0,7876
250 u N-NH ₄ ⁺	$y = 0,0355x^2 - 0,2213x + 4,909$	0,6766



Tratamiento	Ecuaciones ajustadas	R ²
75 u N-NH ₄ ⁺	$y = 0,0184x^2 - 0,093x + 4,895$	0,9962
125 u N-NH ₄ ⁺	$y = 0,0098x^2 - 0,0473x + 4,845$	0,8894
250 u N-NH ₄ ⁺	$y = 0,0159x^2 - 0,0921x + 4,873$	0,839

Figura 8. Simulación del cambio de pH producido por el proceso de nitrificación del N-NH₄ a distintas dosis de CaCO₃ de neutralización.

Cuadro 16. Efecto de la enmienda calcárea y la fertilización nitrogenada sobre los parámetros químicos de suelos trumaos. Serie Pemehue.

Tratamientos	pH	Suma de bases	% Saturación de Al
Sin Cal			
Testigo	5.63	1.96	14.57
Nitrico	5.73	2.15	13.70
Nitrico + amoniacal	5.70	2.53	15.50
Amoniacal	5.43	2.23	15.00
Amoniacal + 2	5.53	2.44	4.70
Amoniacal + 4	5.54	2.69	3.95
Amoniacal + 6	5.61	2.72	3.00
Con Cal			
Testigo	5.95	3.59	4.77
Nitrico	5.90	3.65	4.20
Nitrico + amoniacal	5.80	3.72	4.96
Amoniacal	5.54	3.80	5.01
Amoniacal + 2	5.60	5.21	3.79
Amoniacal + 4	5.73	5.26	1.50
Amoniacal + 6	5.79	5.63	0.50

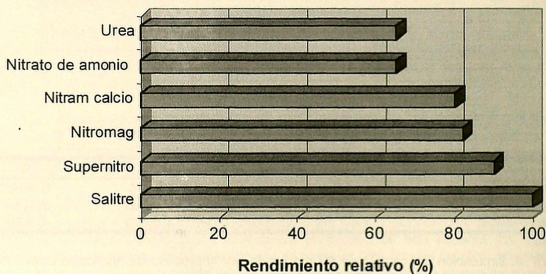


Figura 9. Efecto de fuente nitrogenada sobre la producción de cebada. Promedio de tres suelos.

Con el objeto de explicar el origen de estos resultados, se muestra la variación de pH que experimentan estos suelos cuando se realizan estudios de incubación con las distintas fuentes nitrogenadas (Cuadro 17). En ambos suelos se presenta la misma tendencia en la disminución del pH, sin embargo, en el suelo Pemehue con un menor contenido de bases de intercambio el efecto de la acidificación es muy superior

Cuadro 17. Efecto de la fuente nitrogenada en la variación de pH del suelo.

Suelo	Tratamientos	Variación de pH H ₂ O	Variación de pH CaCl ₂
Piedras Negras	Salitre	0.07	0.06
	Supernitro	0.04	0.03
	Nitromag	-0.17	-0.15
	Nitram calcio	-0.15	-0.13
	Nitrato de amonio	-0.33	-0.26
	Urea	-0.39	-0.31
Pemehue	Salitre	0.00	0.00
	Supernitro	-0.08	-0.04
	Nitromag	-0.20	-0.15
	Nitram calcio	-0.13	-0.09
	Nitrato de amonio	-0.70	-0.63
	Urea	-0.75	-0.67

EFFECTO DE LAS FUENTES NITROGENADAS SOBRE LA PRODUCCIÓN DE PRADERAS DE ROTACIÓN.

El uso de pasturas de rotación en la zona sur ha tenido un fuerte incremento en la última década producto, principalmente, de la intensificación de los sistemas de producción de leche, situación que se ha traducido en un aumento de la demanda de forraje voluminoso de alta calidad. La especie más utilizada es *Lolium multiflorum*, en especial, del tipo bianual que es utilizada para pastoreo o corte durante el periodo invernal y elaboración de ensilaje en primavera. El alto requerimiento de nitrógeno de este tipo de plantas y el incremento del valor de los fertilizantes nitrogenados ha inducido a los agricultores a la utilización de fuentes amoniacales.

Los rendimientos obtenidos en los diferentes ensayos de fuentes nitrogenadas han demostrado una fuerte correlación entre el efecto acidificante y la reducción de la producción (Cuadro 18). Por esta razón, el mayor rendimiento se obtiene con Salitre sódico, fuente neutra, seguido por supernitro con 11,12 ton ms/ha. Existe un efecto compensatorio entre el rendimiento que se obtiene con salitre y el costo de la urea de manera que resulta que el valor del kilo de materia seca es el mismo.

Cuadro 18. Incidencia de la fuente nitrogenada utilizada al establecimiento y mantenimiento sobre el rendimiento de dos años y costo de producción de materia seca de *Lolium multiflorum* cv. Concord. Serie Pemehue.

FUENTE	ton ms/ha	\$/kg ms	Costo relativo (%)
Nitro Cal	10.80	39.1	121
Nitroplus	8.56	47.8	148
Supernitro	11.12	34.9	108
Nitromag	7.96	48.8	152
Supernitro Mg	7.48	53.6	167
Nitrato calcáreo	7.28	53.6	167
Salitre Na	12.66	32.1	100
Urea	10.44	32.1	100

Los estudios en ballicas de rotación se realizaron en suelos Serie Pemehue y Santa Bárbara, que poseen características edafoclimáticas muy diferentes. El rendimiento alcanzado en ambas localidades es bajo producto de la acidificación de los suelos, siendo el porcentaje de saturación inicial de Al de 17.8% en la serie Pemehue y 12.4% en la serie Santa Bárbara, valores que dado la sensibilidad de este cultivar, son altamente tóxicos para el desarrollo de las plantas.

La reacción ácida provocada por fertilizantes amoniacales, como resultado del proceso de nitrificación, aumenta la competencia de especies residentes de mayor tolerancia a las condiciones de acidez, disminuyendo la posibilidad de desarrollo de las plantas de ballica y generando una reducción en el rendimiento y calidad de la pastura. Además, esta situación impide el crecimiento de la pradera en el periodo invernal, objetivo que se persigue en el establecimiento de especies de rotación corta. Por esta razón, el uso de fertilizantes de reacción neutra permite una mejor distribución de la producción de forraje en la temporada.

Cabe destacar que en condiciones de mayor saturación de Al, cercano al 20% en un suelo de la serie Barros Arana, este mismo cultivar fue incapaz de soportar el periodo de déficit hídrico estival y en la segunda temporada de producción el aporte de la ballica al rendimiento total de la pradera solo alcanzó a 27% y la composición botánica fue dominada por las siguientes especies de baja condición: *Holcus lanatus*, *Hypochoeris radicata*, *Anthoxanthum odoratum*, *Plantago lanceolata*, *Poa annua* entre otras.

La tecnología de manejo del nitrógeno en la producción de ballica es absolutamente distinta a la que se emplea en la producción de cereales. En las pasturas el nitrógeno es aplicado en forma parcializada a través del año, durante el periodo otoño, invierno y primavera en dosis de 30 a 40 kg de N/ha en cada aplicación. Como resultado de este manejo el efecto acidificante en el suelo es mas lento y por lo tanto en el primer año de producción no se manifiesta una reducción de importancia en el rendimiento de la pastura (Figura 10 y Cuadro 19).

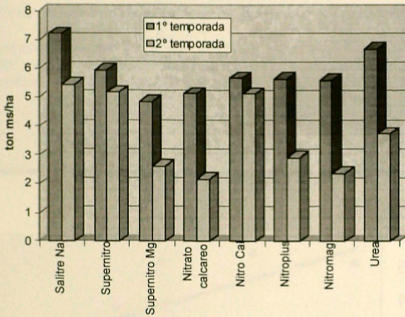


Figura 10. Efecto de fuente nitrogenada sobre el rendimiento de *Lolium multiflorum*. Temporadas 1994/95, 1995/96. Serie Pemehue.

Cuadro 19. Efecto de la fuente de nitrógeno sobre la producción de *Lolium multiflorum* y porcentaje de saturación de aluminio en el suelo al término de la primera temporada. Serie Santa Bárbara.

FUENTE	% Sat. Al	ton ms/ha	Rendimiento relativo (%)
Nitro Cal	8.6	7.43	86
Nitroplus	18.0	7.15	82
Supernitro	16.6	8.67	100
Nitromag	15.8	7.84	90
Supernitro Mg	17.0	8.26	95
Nitrato calcáreo	18.4	7.26	84
Salitre Na	11.4	8.68	100
Urea	25.0	6.96	80

Cuadro 20. Efecto de la fuente de nitrógeno sobre la producción de *Lolium multiflorum* y porcentaje de saturación de aluminio en el suelo al término de la segunda temporada. Serie Pemehue.

FUENTE	% Sat. Al	ton ms/ha	Rendimiento relativo (%)
Nitro Cal	9.3	5.13	94
Nitroplus	22.1	2.90	53
Supernitro	18.8	5.18	95
Nitromag	26.4	2.37	43
Supernitro Mg	17.4	2.62	48
Nitrato calcáreo	25.5	2.16	40
Salitre Na	14.3	5.44	100
Urea	21.0	3.74	69

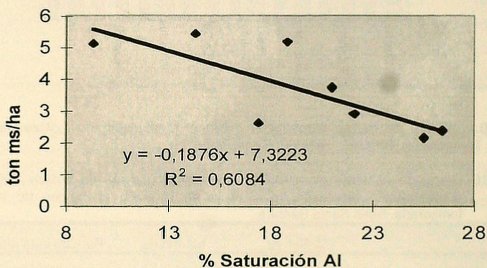


Figura 11. Efecto del contenido de aluminio del suelo sobre la producción de *Lolium multiflorum* en Andisoles acidificados. Serie Pemehue. Segunda temporada.

Por otra parte, como se discutiera en las fuentes fosfatadas, las plantas poseen un mecanismo compensatorio, mediante el cual emiten una mayor cantidad de macollos cuando la población de plantas es baja. No obstante, en el segundo año de producción, el efecto acumulativo en la saturación de Al generada por el aumento lento pero sostenido de protones en el suelo, como resultado de la aplicación de fertilizantes amoniacales, provoca una drástica reducción en la producción. Por esta razón, la correlación entre la producción y el porcentaje de saturación de Al, sólo se presenta en la segunda temporada (Figuras 11 y Cuadro 20).

Los resultados que se han mostrado en este artículo corresponden a la evaluación de tres temporadas agrícolas y que han sido complementados con estudios de Laboratorio, lo que le otorga una amplia validación. Como se infiere al analizar éstos, la conclusión no es única de tal manera que la decisión de usar un fertilizante u otro debe responder a la condición del suelo, al tipo de cultivo y al sistema de aplicación de los fertilizantes. Sin embargo, es también claro que el uso de fertilizantes de reacción ácida en el surco de siembra en suelos que manifiestan altos índices de acidez no es recomendable porque las pérdidas económicas son también altas y la recuperación del suelo es una tarea que demanda tiempo y dinero para los agricultores.

Una de las alternativas modernas para evitar que el tipo de reacción de los fertilizantes sea determinante en los sistemas de producción es usar mezclas que incluyan en su formulación agentes neutralizantes y combinen diferentes fuentes de fertilizantes fosfatados.

EFFECTO DE LA SOLUBILIDAD DE LAS FUENTES DE FÓSFORO SOBRE LA PRODUCCIÓN DE UNA PRADERA PERMANENTE

ROLANDO DEMANET F.¹ Y MARÍA DE LA LUZ MORA G.²

¹ Departamento de Producción Agropecuaria, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales.

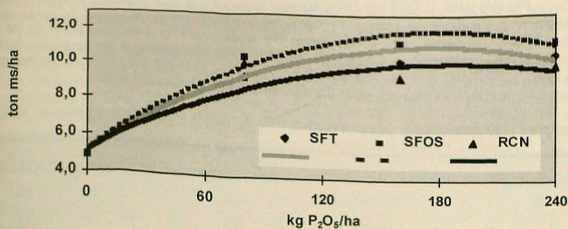
² Departamento de Ciencias Químicas, Facultad de Ingeniería, Ciencias y Administración. Universidad de La Frontera. Casilla 54-D. Temuco. Chile

El desarrollo de la ganadería de la zona sur, en las últimas décadas, ha provocado un requerimiento cada vez mayor de conocimiento sobre el manejo de praderas de alta producción, especialmente, de programas de fertilización, dado la necesidad de lograr el máximo potencial de producción de materia seca y calidad nutricional del forraje. Sin embargo, en la actualidad los ganaderos están enfrentados a una disminución de la relación costo - beneficio, lo que determina la urgente necesidad de conocer el efecto sobre la producción y calidad de la pradera, por parte de las diferentes alternativas de fertilización fosfatada, principal limitante del desarrollo de las pasturas de los suelos volcánicos.

De este modo, resulta de gran interés para el manejo de praderas en suelos ácidos o con riesgo de acidificación, conocer el efecto que ejercen las fuentes de fósforo de diferente grado de solubilidad sobre el contenido de P en el suelo y la producción y calidad del forraje. Con este objetivo se realizaron ensayos en pasturas de ballica perenne + trébol blanco en Andisoles cuyo nivel de P inicial fue cercano a 15 ppm. Se evaluaron las fuentes fosfatadas SFT (Superfosfato triple), SFOS (Super Fos, que corresponde a una roca fosfórica parcialmente acidulada) y RCN (Roca Fosfórica Carolina del Norte), en dosis crecientes de 0 a 240 kg P₂O₅/ha.

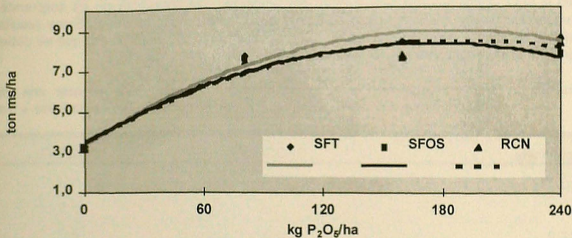
Durante la primera temporada, la producción de materia seca presentó el comportamiento esperado de acuerdo al nivel de disponibilidad de fósforo según el grado de solubilidad de la fuente. Las diferencias registradas en la producción total de la primera temporada, sólo son consecuencia de las variaciones generadas por la solubilidad de las fuentes al establecimiento de la pastura. Así, la mayor producción de materia seca se logró con la fuente soluble de fósforo, alcanzando un diferencial máximo de 24%, respecto al testigo, sin aplicación de fósforo.

A continuación se presenta un análisis de los resultados en función de la eficiencia agronómica relativa al SFT (EAR). La EAR del SFOS y RCN aumenta cuando se calcula para la producción total del año 1, con respecto a la evaluación del primer corte. Este resultado que era de esperar, debido al aumento de la solubilización de P, que se produce a través de las reacciones químicas de equilibrio según el producto de solubilidad de los fosfatos tricálcicos (Kps), y que son función del tiempo, así como también, al mejor uso que las plantas pueden hacer de este elemento en la medida que su sistema radical se desarrolla.



Tratamientos	Ecuaciones ajustadas	R ²
SFT	$y = -0.0002x^2 + 0.0701x + 5.1315$	0.957
SFOS	$y = -0.0002x^2 + 0.0792x + 5.09$	0.9771
RCN	$y = -0.0002x^2 + 0.0578x + 5.1315$	0.9441

Figura 1. Efecto de la fuente y dosis de fósforo sobre la producción de *Lolium perenne* + *Trifolium repens*. Primera temporada.



Tratamientos	Ecuaciones ajustadas	R ²
SFT	$y = -0.0002x^2 + 0.0602x + 3.399$	0,9763
SFOS	$y = -0.0002x^2 + 0,0547x + 3,4735$	0,9307
RCN	$y = -0,0001x^2 + 0,0525x + 3,469$	0,9396

Figura 2. Efecto promedio de 3 temporadas de la fuente y dosis de fósforo sobre la producción (ton ms/ha) de *Lolium perenne* + *Trifolium repens*.

Por otra parte, la EAR del SFOS es muy superior a la que presenta la RCN, como se muestra en el Cuadro 1. Lo anterior, no hace mas que confirmar la necesidad de contar en los primeros estadios de desarrollo de las plantas con niveles de P que fluctúan entre los 20 y 30 ppm de P Olsen. Además, en este análisis se debe tener presente que los Andisoles poseen un índice de retención de P cercano al 95 % y que su nivel de P inicial aunque se clasifica como medio, no es suficiente para mantener 0.2 a 0.4 ppm en la solución del suelo.

Cuadro 1. Eficiencia agronómica relativa al SFT de SFOS y RCN Ballica perenne + Trébol blanco. Primera temporada

Fuente de P	Producción	80 kg P ₂ O ₅	160 kg P ₂ O ₅	240 kg P ₂ O ₅
SFOS	Primer corte	36	68	65
	Total Año 1	69	61	71
RCN	Primer Corte	14	12	34
	Total Año 1	16	23	48

Para completar el análisis es necesario incorporar un nuevo parámetro que mide la razón de equivalencia (RE) entre el uso de SFT y las fuentes evaluadas (SFOS y RCN) y que permite conocer con qué cantidad de fertilizante se puede obtener la misma producción de materia seca que con el SFT.

La RE entre el primer corte y la producción del año, es prácticamente igual, siendo 1.6 para el SFOS y cercana a 3 para la RCN. Sin embargo, esta respuesta no es sorprendente, porque la influencia del primer corte es fundamental en la producción total. Estos resultados señalan claramente que para alcanzar los mismos rendimientos de materia seca que se obtienen con SFT, es necesario aplicar 1.6 veces mas SFOS y casi 3 veces mas RCN.

Cuadro 2. Razón de equivalencia entre las fuentes fosforadas para alcanzar una misma producción total de materia seca/ha. Primera Temporada. Ballica perenne + Trébol blanco

ton ms/ha	SFOS/SFT	RCN/SFT
10.0	1.6	3.3
10.5	1.6	2.8
11.0	1.6	2.7
11.5	1.6	2.6
12.0	1.6	2.5

Sin embargo, las diferencias en producción que se presentan en el primer año son prácticamente nulas cuando se analiza la producción promedio de las 3 temporadas Figura 3. Estos resultados señalan claramente que el aporte de las fuentes de liberación lenta en suelos con un nivel medio de P se comportan eficientemente en el largo plazo. Una de las razones

principales es la mayor actividad fosfatásica y efectividad de las micorizas VA que se presenta como resultado del mayor desarrollo radical que presentan las plantas.

La fertilización fosfatada incrementa el nivel de P en el suelo, pero este aumento es importante sólo cuando se usan fuentes solubles. No obstante, el valor medido depende del método analítico que se usa para determinar la concentración de P, pero que no necesariamente se refleja en la disponibilidad real de este elemento para las plantas. Es así, como el uso de fuentes fosfatadas de liberación controlada, como son el SFOS y RCN en este estudio muestran que el P Olsen aumenta desde 15 a 27 ppm y desde 15 a 18 ppm, con la aplicación desde 80 a 240 kg P_2O_5 /ha, respectivamente, cuando el SFT con las mismas dosis provocó un incremento de 15 a 33 ppm. Estos resultados se correlacionan perfectamente con el grado de solubilidad de las fuentes empleadas y con la formación de productos de baja solubilidad, como son los fosfatos de Fe y Al que se forman cuando se agrega una gran cantidad de P soluble.

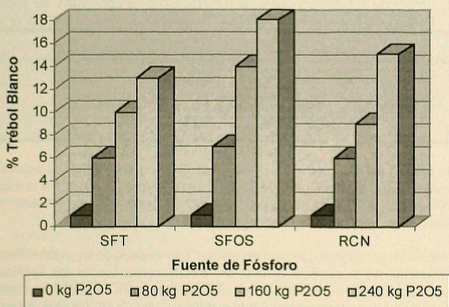


Figura 3. Efecto promedio de 3 temporadas de la fuente y dosis de fósforo sobre la composición botánica (%) de la pastura de *Lolium perenne* + *Trifolium repens*.

Cuadro 3. Efecto de la fuente y dosis de fósforo sobre el contenido de fósforo en el suelo (ppm). *Lolium perenne* + *Trifolium repens*

	0 kg P ₂ O ₅	80 kg P ₂ O ₅	160 kg P ₂ O ₅	240 kg P ₂ O ₅
SFT	15	17	26	33
SFOS	15	17	24	27
RCN	15	15	16	18

Sin embargo, al comparar los valores de P, con los índices de producción de materia seca, se puede concluir que el aporte de P necesario para cumplir con los requerimientos biológicos de las plantas se cumplió con la dosis de 80 kg P₂O₅/ha, con un nivel de absorción foliar de 0.3 %, con la fuente soluble (SFT). Esto indica que el resto fue un consumo de lujo, desde el punto de vista de la producción, aunque desde el punto de vista del aumento del nivel de fertilidad del suelo es positivo.

La mayor diferencia existente entre las fuentes de fósforo utilizadas se verifica en la composición botánica de la pastura. Las fuentes de solubilidad controlada lograron un importante incremento en el aporte de trébol blanco, en especial con la aplicación de dosis altas de fósforo, situación que permitió alcanzar una aporte superior a 15%. La presencia de trébol modificó la calidad del forraje aumentando el contenido de proteína el cual alcanzó valores superiores a 20% (Cuadro 4).

Cuadro 4. Efecto de la fuente y dosis de fósforo sobre el contenido de proteína (%) de la Pastura de *Lolium perenne* + *Trifolium repens*. Ballica en estado vegetativo.

	0 kg P ₂ O ₅	80 kg P ₂ O ₅	160 kg P ₂ O ₅	240 kg P ₂ O ₅
SFT	14,1	16,8	18,1	19,0
SFOS	14,1	17,5	20,5	21,5
RCN	14,1	17,0	17,9	20,2

Este cambio en la composición botánica se debe principalmente al aporte de elementos trazas como Mo presentes en la roca y a la liberación sostenida de fósforo a la solución del suelo como consecuencia de la acidificación de la rizósfera generada por el trébol a través de los exudados radicales.

La RE es un parámetro que permite realizar una evaluación de costos. Para el primer año de establecimiento de la pradera el uso del SFOS como fuente de fertilización fosfatada implicaría un costo superior en \$185 /kg de P₂O₅ y para la RCN \$469/ kg. Sin embargo, es necesario considerar que el mayor costo que significa el uso de las fuentes de entrega lenta en el primer año, representa una inversión a largo plazo, debido a que estos fertilizantes mantendrán un nivel de P disponible en el tiempo que permite asegurar una adecuada producción.

La mayor eficiencia que presenta el SFOS al compararlo con la RCN, es el resultado de una combinación de factores, tales como, la liberación inmediata del fósforo soluble, el efecto sobre el desarrollo de las raíces que permite una mayor exploración de volumen y el componente de liberación controlada de fósforo. Todas estas características permiten además sobrepasar en el largo plazo, la eficiencia del superfosfato triple en el manejo de una pradera permanente.

EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE PURINES SOBRE EL SISTEMA SUELO - PLANTA

ROLANDO DEMANET F.¹, MARÍA AGUILERA S.², MARÍA DE LA LUZ MORA G.³

¹Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales, Universidad de La Frontera. ²Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas, Universidad de Chile. ³Facultad de Ingeniería, Ciencias y Administración, Universidad de La Frontera. Casilla 54-D. Temuco. Chile

Uno de los principales constituyentes del suelo es la materia orgánica que en los suelos del sur de Chile alcanza valores promedios de hasta 20 %. Esta fracción orgánica enriquece el suelo, porque mejora sus características químicas, físicas y biológicas. Su principal componente es el material húmico, que cumple, fundamentalmente, un rol regulador del pH y de los nutrientes en el suelo, aumentando la carga negativa de los coloides. Sin embargo, la eficiencia con que actúa esta fracción orgánica en el suelo es mayor, cuando el material húmico esta constituido por moléculas de menor grado de polimerización. Por esta razón, una buena práctica es estar permanentemente incorporando residuos orgánicos frescos al suelo, como son residuos de plantas y purines. El purín, junto con incrementar el contenido orgánico del suelo, realiza un importante aporte de nutrientes a éste, que en su conjunto generan un aumento del nivel de fertilidad como consecuencia del reciclaje de nutrientes, en especial nitrógeno y potasio.

En la última década los sistemas de producción de leche, en el sur del país han evolucionado hacia un estilo americano con animales de alta producción que se mantienen en gran parte de su período productivo en confinamiento, utilizando en su alimentación, principalmente, ensilaje, heno, concentrados y soiling. Este sistema ha traído como consecuencia, altas tasas de extracción de nutrientes en el suelo y consecuentemente importantes pérdidas, debido a que no se produce el reciclaje natural que se realiza en los sistemas de pastoreo intensivo. Por esta razón, se hace necesario almacenar los purines y posteriormente aplicarlos al suelos, evitando así, una importante fuente de contaminación en esteros y ríos.

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS PURINES

La composición del purín es variable y altamente dependiente del estado fenológico del forraje, del tipo y dosis de concentrado, así como también de la cantidad de sales minerales que se le suministra al rebaño lechero (Cuadro 1).

Por otra parte, el contenido de materia seca dependerá del manejo del pozo purinero y de la pluviometría de la zona. No obstante, la literatura informa valores promedios para el purín de bovino de 6 % materia seca, 25% cenizas, 5% nitrógeno total (> 50% N-NH₄), 1.2% P₂O₅, 6% K₂O, 4.5% CaO y 1.2% MgO.

Cuadro 1. Variación estacional del contenido de nutrientes del purín. Predio lechero de la IX Región.

	OTOÑO	INVIERNO	PRIMAVERA	VERANO
% MATERIA SECA	2.0	1.0	3.0	5.0
% NITROGENO	6.5	8.6	6.1	3.8
% FOSFORO	1.5	1.9	1.2	0.9
% POTASIO	3.1	1.5	4.1	2.6
% CALCIO	2.4	2.3	2.4	1.4
% MAGNESIO	0.8	0.7	0.7	0.6
ALUMINIO (ppm)	2060	2256	2099	2024

Como muestra el Cuadro 1, la variación estacional del contenido de materia seca y de algunos nutrientes es muy marcada en los purines provenientes de los predios lecheros de la zona sur. Los purines presentan una alta fluctuación a través del año en su composición y concentración de nutrientes. En general, los purines aplicados en la zona sur son acumulados en fosas en condiciones aeróbicas con el objeto de estabilizar el material y reducir las pérdidas de nitrógeno por volatilización. Estos, son asperjados a las praderas al inicio de la ocurrencia de las lluvias en otoño hasta el comienzo del período estival. Lo anterior, determina que los purines producidos durante el verano son aplicados en otoño y en el período invernal y los acumulados en invierno son asperjados, en dicho período y el resto en la primavera. Es habitual que los purines de primavera queden acumulados durante el verano, con lo cual aumenta el contenido de materia seca y con ello la concentración de nutrientes. Esta práctica sugiere que la aplicación de Marzo es de mejor calidad desde el punto de vista del contenido de nutrientes, siendo este hecho de gran importancia para el desarrollo de la planta porque coincide con la etapa de inicio del crecimiento de la pradera.

El contenido de nitrógeno fluctúa entre 0.4 a 0.8 g/L, lo que significa un aporte de 88 kgN/ha en los suelos en que se agregó 150 L de purín/ha. Por otra parte, a través de los purines se agrega al suelo 2 a 3 % de carbono y cerca de 3 % de nitrógeno que prácticamente todo se encuentra a la forma $N-NH_4^+$, constituyéndose en una excelente fuente de abono orgánico.

EL PURÍN EN EL SISTEMA SUELO-PLANTA

El purín constituye una herramienta fundamental en el reciclaje de nutrientes para la producción y calidad nutricional del forraje. Por esta razón, se consideró esta temática de estudio en el proyecto FONDEF 2-88, con el objeto de evaluar el impacto del uso de purines en predios lecheros de la zona sur. Los resultados del estudio corresponden a la evaluación de tres temporadas, realizada en un predio lechero del área de precordillera de la IX Región, el que presenta una lechería intensiva donde los animales permanecen durante todo el período de lactancia estabulados. La base de la alimentación es el ensilaje de ballicas perennes y ballicas de rotación sola y en mezcla con trébol rosado, soiling de ballicas bianuales y concentrado elaborados con triticale, avena, maíz y fuentes proteicas variables. El uso de concentrado varía de acuerdo al nivel de producción de las vacas entre 250 y 320 g/litro de leche producida. La producción promedio del rebaño es de 10.500 L de leche/vaca masa.

La pastura evaluada correspondió a una mezcla de ballica perenne + trébol blanco a la cual se aplicó durante el periodo de marzo a noviembre una dosis creciente de 30.000 L/ha hasta 270.000 L/ha de purines asperjados después del corte, parcializado en dosis de 30.000 a 40.000 L/ha, cuya composición se muestra en el Cuadro 2. Para elaborar dicho cálculo se utilizó el valor promedio anual de la composición del purín.

Cuadro 2. Composición promedio anual del purín aplicado a la pradera de Ballica perenne + Trébol Blanco y aporte de nutrientes (kg/ha). Selva Oscura, IX Región.

DOSIS (Lx1000)	NITROGENO	FOSFORO	POTASIO	CALCIO	MAGNESIO
30	47	9	22	16	6
60	94	18	44	32	12
90	141	27	66	48	18
120	188	36	88	64	24
150	235	45	110	80	30
180	282	54	132	96	36
210	329	63	154	112	42
240	376	72	176	128	48
270	423	81	198	144	54

EFFECTO DE LOS PURINES SOBRE LA COMPOSICIÓN MINERAL DEL SUELO

Dada la composición del purín, los mayores cambios que se producen en el suelo, luego de tres temporadas de aplicación de éstos, se logran en el contenido de bases, nitrógeno y fósforo. Dentro de las bases, el elemento mas importante es el potasio, cuyo aumento en el suelo, modifica la relación K/Ca + Mg, que favorece, principalmente, el desarrollo de gramíneas, especies que se caracterizan por presentar una fuerte respuesta productiva al incremento de este elemento en el suelo. Además, se genera un aumento de hasta un 42% en el nivel de magnesio y 19% en el contenido de calcio del suelo (Cuadro 3).

Cuadro 3. Efecto de la aplicación de purines sobre las características químicas del suelo. Andisol de la serie Santa Bárbara.

DOSIS (Lx1000)	pH	P	K	Ca	Mg	Al	SUMA BASES
0	5.8	19	86	6.7	1.4	0.14	8.50
60	5.9	22	97	7.9	1.7	0.12	10.1
120	5.9	23	183	8.0	1.7	0.10	11.5
240	5.8	25	246	8.0	2.0	0.11	10.9

P y K : ppm; Ca, Mg, Al, Suma Bases: meq/100g

Por otra parte, el fósforo cuya baja disponibilidad en Andisoles, constituye una de las principales limitantes para la expresión del potencial productivo de las praderas, con la aplicación de purines aumenta su nivel en el suelo, alcanzando incrementos superiores a 30%.

EFFECTO DE LOS PURINES SOBRE LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE.

La aplicación de purines provoca un importante incremento en la producción de la pradera, alcanzando niveles promedios de tres temporadas de evaluación superiores a 8,5 ton ms/ha con dosis de 240.000 L/ha, lo que significa un incremento de 73% del rendimiento, respecto a la pastura sin aplicación de purines (Cuadro 4 y Figura 1). Este aumento es consecuencia del incremento sustancial del contenido de potasio y nitrógeno en el suelo.

Cuadro 4. Efecto de la dosis de purín sobre la productividad (ton ms/ha) de la pastura Ballica perenne + Trébol Blanco. Temporadas 1993/94, 1994/95 y 1995/96.

Dosis de Purín Lx1000	93/94	94/95	95/96	Promedio	Rendimiento Relativo (%)
0	6.92	4.49	4.04	5.15	100
30	7.65	5.90	5.47	6.34	123
60	8.56	5.97	5.95	6.83	133
90	8.73	6.33	6.37	7.14	139
120	9.00	6.81	6.70	7.50	146
150	9.04	7.48	6.75	7.76	151
180	9.12	7.66	8.64	8.47	164
210	9.04	8.38	7.38	8.40	163
240	10.41	8.52	7.76	8.90	173
270	9.16	8.23	7.72	8.37	163

Sin embargo, la aplicación permanente de purines a la pradera provoca un cambio en la composición botánica, disminuyendo paulatinamente el aporte de trébol blanco, lo que se refleja en la reducción de 10% a 2% de la primera a la tercera temporada de evaluación (Figura 2, 3 y 4). Esta disminución se debe al acelerado crecimiento de las plantas que poseen una mayor capacidad de captar nitrógeno y potasio del suelo, en especial, ballicas de comportamiento anual y bianual y especies residentes, tales como, *Rumex crispus* y *Achillea millefolium* y que por competencia impiden el desarrollo de especies de crecimiento rastrero, principalmente, *Trifolium repens*.

De acuerdo a lo anterior, el uso de purines como fertilizante orgánico es conveniente en praderas permanentes pero en dosis que no sobrepasen los 90.000 L/ha (base 3% ms), con el objeto de no modificar la composición botánica y que permita un mayor desarrollo de trébol

blanco. Sin embargo, la aplicación de altas dosis de purines es de gran eficiencia para pasturas de ballica de rotación corta con altos requerimientos de nitrógeno y potasio

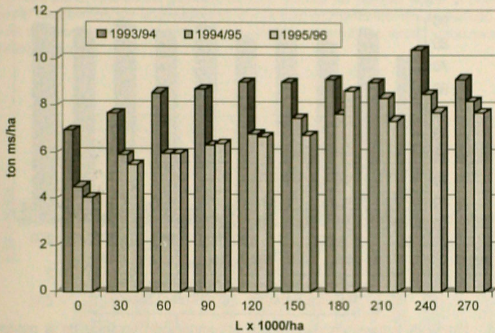


Figura 1. Efecto de la dosis de purín sobre producción (ton ms/ha) de la pradera *Lolium perenne* + *Trifolium repens*. Temporadas 1993/94, 1994/95 y 1995/96.

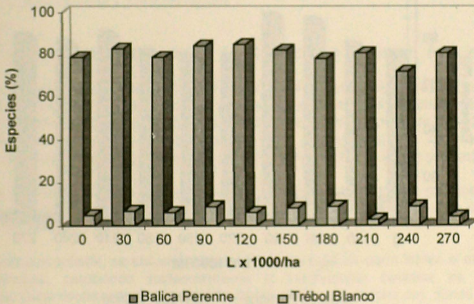


Figura 2. Efecto de la dosis de purín sobre la composición botánica de la pradera *Lolium perenne* + *Trifolium repens*. Primera temporada 1993/94

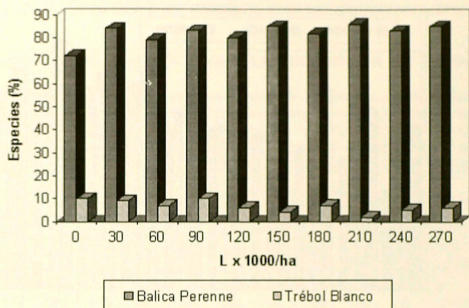


Figura 3. Efecto de la dosis de purín sobre la composición botánica de la pradera *Lolium perenne* + *Trifolium repens*. Segunda temporada 1994/95

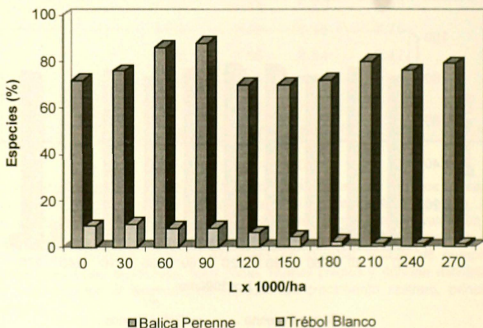


Figura 4. Efecto de la dosis de purín sobre la composición botánica de la pradera *Lolium perenne* + *Trifolium repens*. Tercera temporada 1995/96

Por otra parte, una de las grandes ventajas del uso de purines sobre la pradera es el cambio en la distribución de la producción de forraje, aumentando en el periodo invernal, situación de alta trascendencia en sistemas ganaderos que requieren forraje verde para corte en dicho periodo (Figura 5).

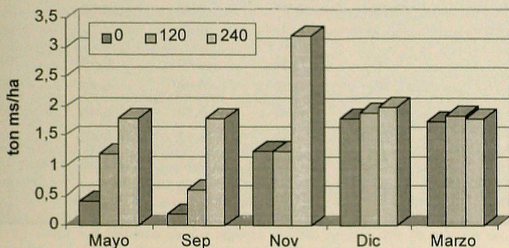


Figura 5. Efecto de la dosis de Purín (L x 1000/ha), sobre la distribución de la producción de *Lolium perenne* + *Trifolium repens*

EFFECTO DE LOS PURINES SOBRE EL CONTENIDO MINERAL DEL FORRAJE.

La aplicación de purines, permite un aumento del contenido de bases del suelo y de la producción de forraje, sin embargo provoca fuertes desbalances en el contenido de mineral de las plantas (Cuadro 5). Con altos niveles de utilización aumenta el contenido de potasio foliar, provocando una disminución considerable de calcio y magnesio, que hace aumentar la incidencia de hipomagnesemia, especialmente, en rebaños lecheros de alta producción.

De acuerdo a los resultados de la composición foliar de la pastura, la aplicación de dosis superiores a 90.000 L de purín/ha provoca un consumo de lujo de K que no incide en un mayor contenido de nitrógeno proteico.

Unido a lo anterior, se encuentra que dosis superiores de purín limitan el desarrollo de las leguminosas, cambiando sustancialmente la composición botánica de la pastura permanente. Cabe destacar que en la mayoría de los predios de la zona sur, donde se realizan altas aplicaciones de purín se ha incrementado la presencia de romaza y mil en rama, especies invasoras de baja condición, cuyo control es difícil de realizar a través de prácticas de manejo de pastoreo o aplicaciones de herbicidas.

Cuadro 5. Efecto de la aplicación de purines, sobre el contenido mineral (%), de una pradera de Ballica perenne + Trébol blanco. Selva oscura. IX Región. Septiembre 1995.

DOSIS (lx1000)	NITROGENO	FOSFORO	POTASIO	CALCIO	MAGNESIO
0	2.99	0.31	1.97	0.63	0.22
30	3.09	0.31	2.72	0.52	0.20
60	3.11	0.31	2.73	0.49	0.19
90	3.12	0.32	2.98	0.48	0.19
120	3.30	0.32	3.08	0.43	0.19
150	3.38	0.32	3.17	0.40	0.19
180	3.39	0.32	3.19	0.40	0.19
210	3.43	0.33	3.21	0.36	0.17
240	3.66	0.33	3.49	0.36	0.17
270	3.47	0.32	3.34	0.39	0.17

En resumen, considerando los resultados obtenidos en esta investigación se recomienda realizar aplicaciones de purín en forma parcializada a través del año, cuya dosis no debe superar los 90.000 L/ha (3 % base ms) en pasturas de ballica perenne + trébol blanco. Por otra parte, la alta exigencia de nitrógeno y potasio que poseen las pasturas de ballica de rotación corta sería recomendable en estas especies forrajeras aumentar la dosis de aplicación a niveles cercanos a 150.000 L de purín/ha (3% base ms), lo cual generaría un incremento en el rendimiento y un cambio en la distribución estacional de la producción, aumentando el crecimiento significativamente en el periodo invernal.

EFFECTO DEL ENCALADO Y SU RELACION CON LOS NUTRIENTES SOBRE LA PRODUCCION DE PASTURAS EN SUELOS ACIDOS

ROLANDO DEMANET F¹, BERTA SCHNETTLER M¹ y
MARIA DE LA LUZ MORA G²

¹Departamento de Producción Agropecuaria, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales.

²Departamento de Ciencias Químicas, Facultad de Ingeniería, Ciencias y Administración, Universidad de La Frontera. Casilla 54-D. Temuco. Chile.

RELACION CALCIO/FÓSFORO

La alta capacidad de fijación de fósforo de los suelos de la zona sur del país radica fundamentalmente en la reactividad superficial de los coloides del suelo, constituidos principalmente por aluminosilicatos amorfos a rayos X, como son el alofán y la imogolita. La causa que origina la necesidad de usar enmiendas calcáreas es para corregir los problemas de acidificación en el suelo y así aumentar la disponibilidad de P para las plantas; sin embargo la literatura es confusa al respecto ya que algunos autores señalan que se produce un aumento de P, otros que disminuye y algunos no han observado cambios aparentes.

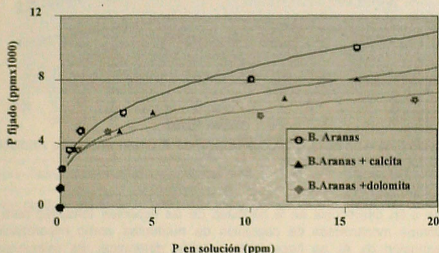


Figura 1 Efecto de las enmiendas calcáreas sobre la capacidad de adsorción de P en Andisoles acidificados de la Serie Barros Arana.

Nuestros estudios sugieren que las enmiendas calcálicas en Andisoles reducen (Figura 1) la capacidad de adsorción de P y el efecto es mayor cuando se usa dolomita, debido al menor contenido de calcio y por lo tanto la menor proporción de fosfatos de calcio. Este mecanismo se observa con mayor claridad en la Figura 2, en que la aplicación de 2 a 4 ton/ha con altos niveles

de fosfato reduce la disponibilidad de P, en cambio niveles menores de P presentan una interacción positiva con 2 ton/ha, aumentando cerca de 5 ppm el nivel de P Olsen en el suelo. Estos resultados se originan debido a varios mecanismos que ocurren simultáneamente en el suelo como son procesos de adsorción--precipitación y mineralización de P orgánico y que impiden generalizar, diciendo "El uso de enmiendas calcáreas aumenta la disponibilidad de P para las plantas".

Los cambios producidos por las enmiendas calcáreas sobre la disponibilidad de P se pueden categorizar en químicos, los que se ilustran con las Figuras 1 y 2, y biológicos que dicen relación con la capacidad de las plantas para utilizar el P. El mayor efecto de la enmienda calcárea sobre la planta es la disminución de la toxicidad por Al, que incide en el desarrollo radical aumentando la capacidad de absorción de P a través de raicillas y pelos radicales.

El aumento de pH que se logra a través de la aplicación de cal aumenta la carga negativa en los coloides y con ello la barrera energética bajando el potencial electrostático en el plano de adsorción específica para el P.

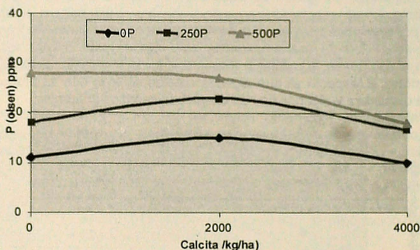


Figura 2. Efecto promedio de la cal sobre el nivel de P Olsen en cuatro Andisoles de la zona sur del país.

Debido a las diferencias en la habilidad de las especies forrajeras para absorber P a través de distintos mecanismos de captación de nutrientes como micorrización, exudados radicales y exclusión de Al, se hace indispensable determinar las relaciones entre cal y fertilizantes fosfatados en diferentes ensayos de campo, considerando en la interpretación de los resultados la limitante que se produce para separar factores como la deficiencia de Ca o la toxicidad de Al.

A continuación se muestra una serie de resultados de campo que permiten estimar los requerimientos de cal y P para las distintas especies forrajeras comúnmente empleadas en la zona sur del país.

RELACIONES CA/P EN ALFALFA.

En cualquier nivel de acidificación del suelo, las necesidades de enmienda en alfalfa son mayores al resto de las especies forrajeras, dado que ésta requiere un pH superior a 6 y altos niveles de P y Ca para un buen desarrollo.

Los ensayos de campo realizados por un periodo de tres temporadas agrícolas permiten señalar que los requerimientos mínimos de cal para el establecimiento y producción de alfalfa en Andisoles acidificados es de 4 ton/ha y presenta su máxima producción con 180 kg P_2O_5 /ha. Sin embargo, como se observa en la Figura 3 y 4, con la dosis de 6 ton cal/ha y niveles superiores a 240 kg P_2O_5 /ha las tres temporadas resultan igualmente productivas. Además, la tendencia general (Figura 4) muestra claramente que el rendimiento de alfalfa fue limitado por la dosis de P. Estos resultados son mas evidentes cuando se analiza cada temporada por separado

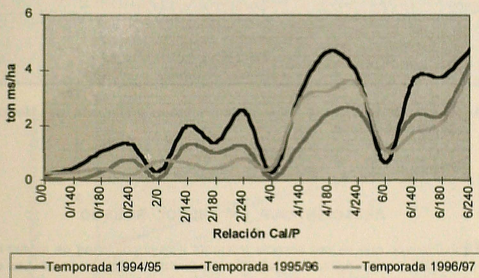
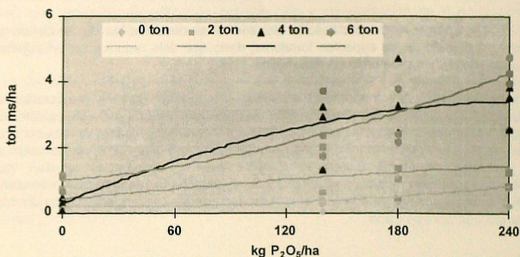


Figura 3. Efecto de la dosis de cal y fósforo sobre la producción de *Medicago sativa*.

Es interesante destacar el alto nivel de fertilización que se requiere para establecer alfalfa en suelos acidificados de la zona sur, que generalmente provienen de praderas naturalizadas que no han sido fertilizadas en muchos años. En la actualidad el costo de establecimiento de alfalfa en suelos sin serias limitantes de nutrientes y pH cercano a 6.0 fluctúa entre \$ 280.000 y \$ 320.000/ha, pero en un suelo con altos índices de acidez se debe considerar cerca de \$ 80.000 adicionales como resultado de la fertilización fosfatada extra y la aplicación de enmiendas calcáreas.



Tratamientos	Ecuaciones ajustadas	R2
0 ton	$y = 2E-05x^2 - 0.0011x + 0.1984$	0.356
2 ton	$y = -5E-06x^2 + 0.0055x + 0.3979$	0.3326
4 ton	$y = -5E-05x^2 + 0.024x + 0.262$	0.7482
6 ton	$y = 4E-05x^2 + 0.0049x + 0.9758$	0.7897

Figura 4. Efecto de la dosis de cal y fósforo sobre la producción de *Medicago sativa*. Tendencia general.

RELACIÓN CA/P EN TRÉBOL ROSADO

El trébol rosado que es una especie tolerante a las condiciones de acidez del suelo, y adaptada a los suelos ácidos del sur del país, sólo requiere de un mínimo de cal. Los ensayos de campo indican que una dosis 1 ton cal y 180 kg de P₂O₅ son necesarios para alcanzar el máximo rendimiento (Figuras 5 y 6). Aunque, en la primera temporada se presenta respuesta a la enmienda calcárea, no se observaron diferencias significativas con la dosis de cal. Sin embargo, es interesante destacar que en la última temporada, como consecuencia de la mejor condición de fertilidad en el suelo con la dosis máxima de cal la producción se mantiene en un buen nivel. Además, con 4 ton/ha de cal y 240 kg/ha de P₂O₅ el rendimiento de materia seca incrementa en casi 2 ton/ha (Figura 7 y 8). Es importante destacar entonces, que al establecer trébol rosado en un suelo corregido con alta dosis de enmienda calcárea y fósforo aplicado al surco de siembra, en dosis de 240 kg P₂O₅/ha, la pastura logra una producción sostenida en el tiempo, alcanzando en la tercera temporada un alto rendimiento, situación poco habitual en las pasturas de trébol establecidas de la zona sur del país.

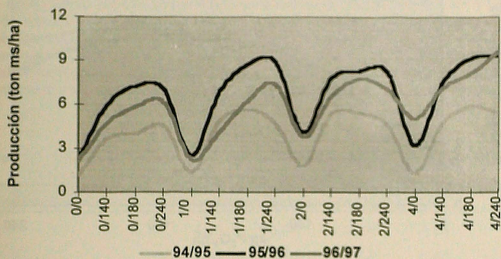


Figura 5. Efecto de la dosis de cal y fósforo sobre la producción de *Trifolium pratense*. Temporadas 94/95, 95/96 y 96/97.

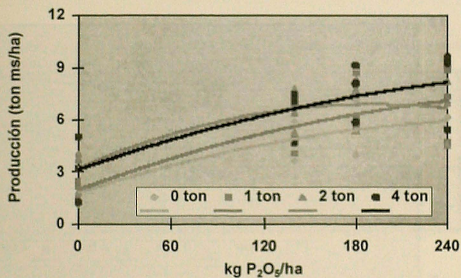


Figura 6. Tendencia general de la producción de *Trifolium pratense* establecido bajo diferentes relaciones de Ca/P en un Andisol acidificado. periodo 1994-1997.

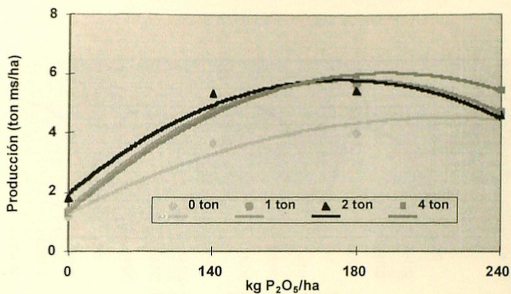


Figura 7. Efecto de la dosis de Cal y P sobre la producción de *Trifolium pratense*. Primera temporada (94/95)

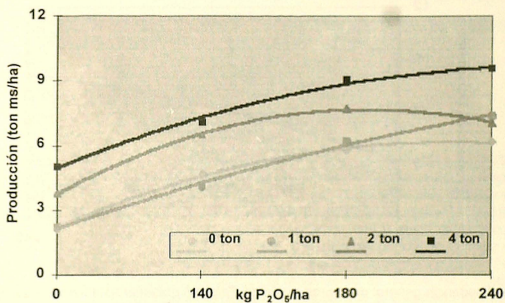


Figura 8. Efecto de la dosis de Cal y P sobre la producción de *Trifolium pratense*. Tercera temporada (96/97)

RELACIONES CA/P EN BALLICA DE ROTACIÓN

En suelos de la Serie Barros Arana se determinaron las relaciones Ca/P y Ca+Mg/P en ballica de rotación cv. Concord. La relación Ca/P mas eficiente fue alrededor de 10 (base miliequivalentes), la que corresponde a 2 ton de enmienda y 280 kg P_2O_5 /ha, siendo coincidente en especie pura y producción total de la pastura. La misma relación se obtiene con la aplicación de dolomita, pero el rendimiento alcanzado es superior en 3 ton ms/ha, resultado que confirma la necesidad de mantener relaciones equilibradas entre los nutrientes (Cuadros 1 y 2).

Cuadro 1. Efecto de las dosis de Cal y P sobre el rendimiento de *Lolium multiflorum* cv. Concord. Serie Barros Arana.

Dosis de P kg P_2O_5 /ha	0 ton Cal	1 ton Cal	2 ton Cal	4 Ton Cal	Promedio
0	4.40	6.78	6.79	7.20	6.29
140	7.50	8.74	8.12	9.45	8.45
200	8.80	9.21	9.70	10.17	9.47
280	9.11	9.16	10.49	10.56	9.96
Promedio	7.45	8.60	8.78	9.35	

Cuadro 2. Efecto de las dosis de Dolomita y P sobre el rendimiento de *Lolium multiflorum* cv. Concord. Serie Barros Arana

Dosis de P (kg P_2O_5 /ha)	0 ton Cal	1 ton Cal	2 ton Cal	4 Ton Cal	Promedio
0	6.79	6.82	7.67	8.19	6.77
140	8.94	10.46	10.48	11.49	9.98
200	10.25	10.59	10.57	11.69	10.41
280	10.35	10.69	13.76	13.44	11.75
Promedio	9.08	9.64	10.62	11.20	

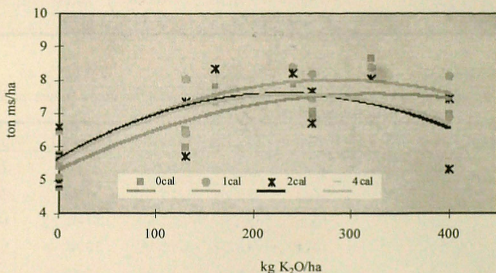
Las relaciones teóricas empleadas son diferentes para las distintas especies forrajeras, debido a los diferentes requerimientos que estas presentan. Esto determina que el comportamiento productivo de estas especies sea distinto bajo una condición de suelo acidificado. Así, ballica y trébol rosado, dado su mayor tolerancia, lograron una producción y un establecimiento muy superior a la alfalfa.

RELACIONES CA/K EN PRADERAS

El aumento de acidificación de los suelos derivados de cenizas volcánicas en la zona sur, se debe sin duda a la pérdida de bases, lo que hace que el K agregado como fertilizante sea más fácilmente lixiviable, debido a que es un catión que forma uniones débiles con la superficie de los coloides, sólo por atracción de carga. No obstante, el uso de enmiendas calcáreas para corregir los problemas de acidez, muchas veces resulta en un aumento de Ca a niveles que es capaz de desplazar K de los sitios de intercambio. Por esta razón, y debido a las altas tasas de extracción de este elemento que poseen las especies forrajeras es que se estima de interés evaluar las relaciones Ca/K, en relación al rendimiento y el contenido foliar de estas especies.

Relaciones Ca/K en ballicas de rotación.

En los Andisoles acidificados estudiados, los mejores rendimientos se obtienen con 1 ton de enmienda calcárea/ha y 260 kg K₂O/ha, que corresponde a una relación Ca/K y Ca+Mg/K de 3.6 (Figura 9). Si bien al aplicar potasio sin enmienda existe un incremento real del rendimiento de 2 a 3 ton ms/ha, esta condición es inestable, dado que si no es corregido el pH en el suelo, en la siguiente temporada la ballica presentará una fuerte pérdida de plantas y un bajo desarrollo, lo cual limita la persistencia de este tipo de pasturas.



Tratamientos	Ecuaciones ajustadas	R ²
0 Cal	$y = -2E-05x^2 + 0,0141x + 5,3133$	0,7047
1 Cal	$y = -3E-05x^2 + 0,0168x + 5,6232$	0,7282
2 Cal	$y = -4E-05x^2 + 0,0169x + 5,6417$	0,4479
4 Cal	$y = -3E-05x^2 + 0,0166x + 5,5753$	0,4666

Figura 9. Efecto de la dosis de Cal y K aplicado en el establecimiento sobre el rendimiento de *Lolium multiflorum* en suelos ácidos de la zona sur.

El efecto de la cal sobre la producción de ballicas de rotación es baja, debido a la mayor tolerancia registrada por esta especie a las condiciones de acidez del suelo, sin embargo, el rendimiento tiene un significativo incremento con la aplicación de potasio dado los altos requerimientos de este nutriente, el que es fundamental para el desarrollo de las plantas gramíneas. En los ensayos desarrollados en el transcurso del proyecto se ha demostrado la incidencia de la aplicación de potasio sobre la persistencia de las pasturas de gramíneas. En praderas mixtas gramínea-leguminosa la aplicación de altas dosis de potasio en el establecimiento y mantención provoca un incremento en el aporte de las gramíneas en desmedro de las leguminosas como resultado de la mayor agresividad de las ballicas, que genera una mayor competencia y consecuentemente un mayor sombreado de las leguminosas. Esta modificación de la composición botánica de las pasturas mixtas se ilustra claramente con la aplicación de purines fertilizante orgánico con alto alto contenido de potasio.

Como se muestra en el Cuadro 3 el costo por kg de materia seca es menor cuando se usan altas dosis de potasio sin aplicación de enmiendas calcílicas. La mejor relación costo beneficio se cumple con 1 ton cal y 240 kg K₂O/ha, y como se observa en la Figura 10.

Cuadro 3. Efecto de la dosis de Cal y K aplicado en el establecimiento sobre el costo de producción de materia seca de *Lolium multiflorum* (\$/kg ms).

	0 cal	1 cal	2 cal	4 cal
0	28,2	32,9	29,5	39,2
160	24,0	27,6	26,3	34,5
240	24,5	25,0	27,4	28,4
320	23,1	25,8	28,8	30,9

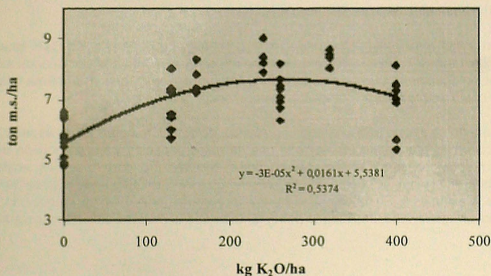


Figura 10. Tendencia general del efecto de la dosis de K en el establecimiento de *Lolium multiflorum* en suelos con diferentes niveles de enmienda calcárea.

RELACIONES CA/K EN TRÉBOL ROSADO

Al igual que en ballicas de rotación, la respuesta de trébol rosado a la aplicación de cal es baja, confirmando los resultados de los ensayos de cal/P, indicando que esta especie, y especialmente el cultivar utilizado es muy poco sensible a las condiciones de acidez del suelo y es altamente exigente a la dosis de potasio.

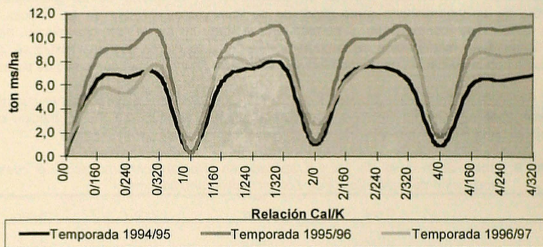
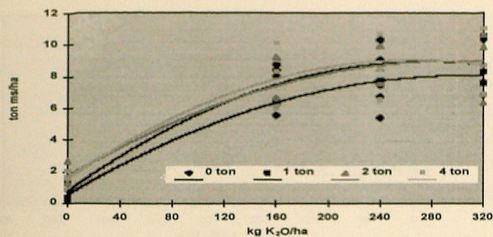


Figura 11. Efecto de la dosis de cal y Potasio sobre la producción de *Trifolium pratense*.

El potasio aumenta la persistencia de esta especie permitiendo que la producción se mantenga en un buen nivel hasta la tercera temporada (Figuras 11 y 12). No obstante, un análisis de la producción por temporada como se muestra en las Figuras 13,14 y 15 sugieren un efecto complementario en la persistencia de la pastura con 4 ton cal.

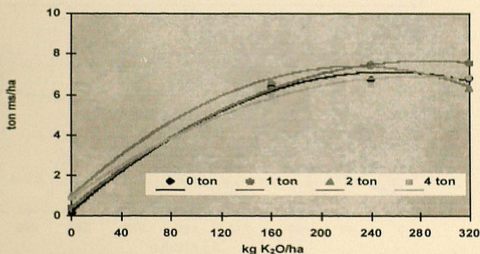
En trébol rosado el mayor rendimiento se obtuvo con una relación Ca/K igual a 5 que corresponde 1 ton de cal/ha y 240 kg de K_2O /ha en los suelos trumaos acidificados estudiados. La evaluación económica que se presenta en el Cuadro 4, señala que esta misma relación es la de menor costo de producción por kilo de materia seca.

Quando se asocia trébol rosado con ballicas de rotación, como es de esperar, debido a la diferencia en los requerimientos de cada una de estas especies y a la proporción de ballica y trébol las respuestas son distintas. Así en áreas de clima frío con Andisoles acidificados la relación Ca/K en el establecimiento de esta asociación es 20, sin embargo en áreas de clima más benigno la relación es 5. En ambas condiciones las pasturas presentan un predominio de ballica dado la mayor agresividad, impidiendo por competitividad el desarrollo de trébol rosado.



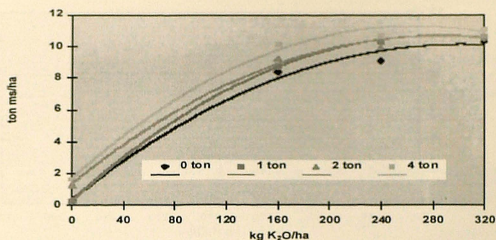
Tratamientos	Ecuaciones ajustadas	R ²
0 ton	$y = -8E-05x^2 + 0.0491x + 0.5208$	0.8439
1 ton	$y = -0.0001x^2 + 0.0594x + 0.7309$	0.9035
2 ton	$y = -8E-05x^2 + 0.0489x + 1.6576$	0.8373
4 ton	$y = -0.0001x^2 + 0.0563x + 1.5482$	0.8013

Figura 12. Efecto de la dosis de cal y potasio sobre la producción de *Trifolium pratense*. Tendencia general.



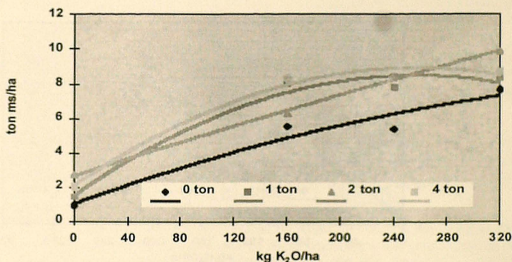
Tratamientos	Ecuaciones ajustadas	R ²
0 ton	$y = -0.0001x^2 + 0.0543x + 0.1945$	0.9931
1 ton	$y = -9E-05x^2 + 0.0507x + 0.3925$	1
2 ton	$y = -0.0001x^2 + 0.0559x + 0.968$	0.998
4 ton	$y = -8E-05x^2 + 0.0433x + 0.8758$	0.9941

Figura 13. Efecto de la dosis de cal y potasio sobre la producción de *Trifolium pratense*. Primera temporada (94/95).



Tratamientos	Ecuaciones ajustadas	R ²
0 ton	$y = -0.0001x^2 + 0.0645x + 0.3559$	0.9898
1 ton	$y = -0.0001x^2 + 0.0729x + 0.2939$	0.9997
2 ton	$y = -0.0001x^2 + 0.0656x + 1.3401$	0.9931
4 ton	$y = -0.0001x^2 + 0.0721x + 1.6909$	0.9933

Figura 14. Efecto de la dosis de cal y potasio sobre la producción de *Trifolium pratense*. Segunda temporada (95/96).



Tratamientos	Ecuaciones ajustadas	R ²
0 ton	$y = -3E-05x^2 + 0.0286x + 1.0119$	0.9431
1 ton	$y = -0.0001x^2 + 0.0546x + 1.5064$	0.9751
2 ton	$y = -8E-06x^2 + 0.0251x + 2.6647$	0.9976
4 ton	$y = -0.0001x^2 + 0.0535x + 2.0778$	0.9883

Figura 15. Efecto de la dosis de cal y potasio sobre la producción de *Trifolium pratense*. Tercera temporada (96/97).

Cuadro 4. Efecto de la dosis de Cal y K aplicado en el establecimiento sobre el costo de producción de materia seca de trébol rosado (\$/kg ms).

	0 cal	1 cal	2 cal	4 cal
0	318,0	235,0	77,1	87,3
160	12,0	13,2	13,8	16,1
240	11,8	11,7	13,1	15,7
320	11,4	12,0	14,0	15,5

Relaciones Ca/K en Alfalfa

Es conocido que la alfalfa presenta altos requerimientos de Ca, sin embargo, altas dosis de K aplicado a un suelo fuertemente deficitario en este elemento como es el suelo de la localidad de Panguipulli, disminuye la necesidad de enmienda calcárea. Como se observa, en la Figura 16 la respuesta productiva a la enmienda es similar entre 2 y 6 ton de cal/ha, sin embargo, los requerimientos de potasio son muy altos, alcanzando los mayores rendimiento entre 240-320 kg de K_2O /ha.

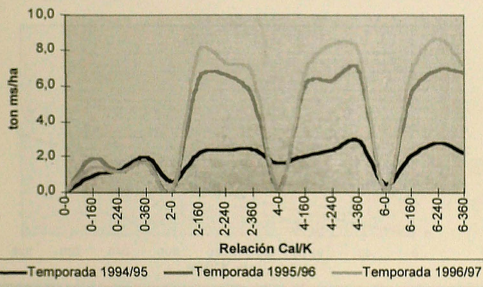
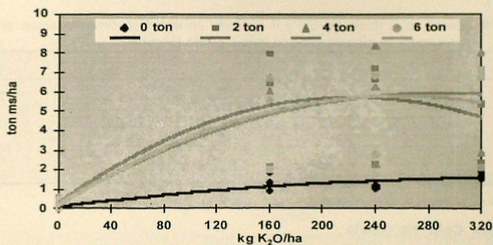


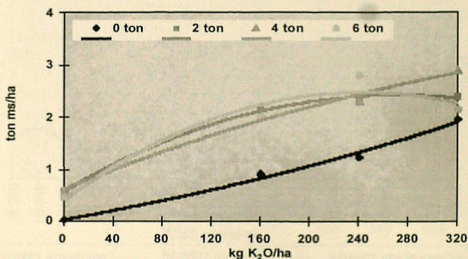
Figura 16: Efecto de la dosis de cal y Potasio sobre la producción de *Medicago sativa*.

La tendencia general sin embargo, señala que la mayor producción se obtiene con 240 kg de K_2O /ha y 4 ton /ha de cal (Figura 17). Estos resultados sugieren la necesidad de aplicar altas dosis de potasio con el objeto de alcanzar niveles de producción mayores, ya que en la actualidad las deficiencias de este nutriente en los suelos de la zona sur es evidente.



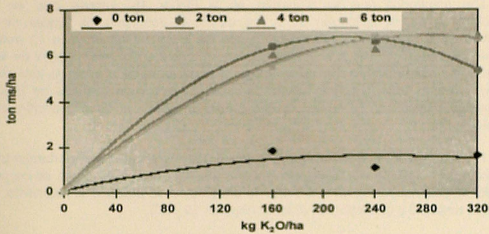
Tratamientos	Ecuaciones ajustadas	R ²
0 ton	$y = -1E-05x^2 + 0.0083x + 0.1195$	0.7953
2 ton	$y = -0.0001x^2 + 0.0488x + 0.297$	0.5688
4 ton	$y = -6E-05x^2 + 0.0362x + 0.6407$	0.5372
6ton	$y = -8E-05x^2 + 0.0438x + 0.1638$	0.5769

Figura 17. Efecto de la dosis de cal y potasio sobre la producción de *Medicago sativa*. Tendencia general.



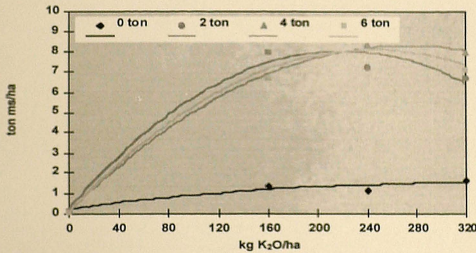
Tratamientos	Ecuaciones ajustadas	R ²
0 ton	$y = 5E-06x^2 + 0.0042x + 0.0337$	0.9892
2 ton	$y = -3E-05x^2 + 0.0137x + 0.5886$	0.9964
4 ton	$y = 1E-05x^2 + 0.0009x + 1.6163$	0.9951
6 ton	$y = -4E-05x^2 + 0.0171x + 0.4217$	0.9451

Figura 18. Efecto de la dosis de cal y potasio sobre de producción de *Medicago sativa*. Primera temporada (94/95).



Tratamientos	Ecuaciones ajustadas	R ²
0 ton	$y = -3E-05x^2 + 0.0128x + 0.0995$	0.749
2 ton	$y = -0.0001x^2 + 0.0616x + 0.0927$	0.9994
4 ton	$y = -9E-05x^2 + 0.0477x + 0.2381$	0.9875
6 ton	$y = -9E-05x^2 + 0.0484x + 0.0433$	0.999

Figura 19. Efecto de la dosis de cal y potasio sobre la de producción de *Medicago sativa*. Segunda temporada (95/96)



Tratamientos	Ecuaciones ajustadas	R ²
0 ton	$y = -1E-05x^2 + 0.0078x + 0.2253$	0.8826
2 ton	$y = -0.0002x^2 + 0.071x + 0.2095$	0.9778
4 ton	$y = -0.0001x^2 + 0.0602x + 0.0678$	0.9988
6 ton	$y = -0.0001x^2 + 0.0659x + 0.0263$	0.9862

Figura 20. Efecto de la dosis de cal y potasio sobre la producción de *Medicago sativa*. Tercera temporada (96/97).

Los resultados que se muestran en la Figura 18, indican que en el año de establecimiento con la aplicación de 2 ton cal/ha, la condición de acidez se corrige. El incremento de la dosis de enmienda por sobre las 2 ton de cal provoca un aumento en el contenido de bases del suelo, situación que no se refleja en el rendimiento de la alfalfa. Sin embargo, este efecto se debe a que al aplicar altas dosis de cal al suelo la tasa de disolución disminuye y por lo tanto, la disponibilidad de calcio en las primeras etapas de desarrollo de la planta es baja y la pastura no es capaz de expresar su potencial de producción en la primera temporada.

En el segundo y tercer año de producción se mantiene el comportamiento productivo de la alfalfa que se ajusta a la tendencia general analizada. Aunque, como es de esperar en el desarrollo de esta especie en el tercer año de producción se produce un aumento de 2 ton de ms/ha, con respecto a la temporada anterior (Figuras 19 y 20).