

UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA DE AGRONOMÍA

**Balance de nutrientes y cambio de la disponibilidad de
nutrientes en el suelo con manejos de praderas de lechería.
Un caso de estudio en la provincia de Osorno.**

Tesis presentada como parte de
los requisitos para optar al
grado de Licenciado en
Agronomía

Carlos Ignacio Brintrup Bonvallet

VALDIVIA - CHILE

2006

PROFESOR PATROCINANTE

Dante Pinochet T.

Ing. Agr., M. Sc., Ph. D.

PROFESORES INFORMANTES

Roberto Mac Donald H.

Ing. Agr., M. Sc.

Oscar Balocchi L.

Ing. Agr., M.Sc., Ph.D.

INSTITUTO DE INGENIERÍA AGRARIA Y SUELOS

AGRADECIMIENTOS

- En forma muy especial a mi mamá, por su amor, paciencia e incondicional apoyo. Gracias por saber guiarme por la línea, que desde mi infancia trazaron con mi papá, él desde su descanso eterno, mira con orgullo estos resultados.
- A mis hermanos, Jaime y Javi, quienes han sabido estar en todo momento a mi lado, siempre pendientes de mí, brindado cada uno a su manera, su hermanable amor.
- A Daniel, por sus sabios consejos, paciencia y comprensión. Gracias por cumplir el rol de padre en todos estos años y por hacerme sentir como tu hijo.
- A la Caro, por su gran amor, apoyo, paciencia y comprensión. Gracias por dejar amarte y por acompañarme desde el principio en este gran desafío de ser profesional.
- A mi Leca, por su constante apoyo y comprensión. Siempre has sabido ver el lado bueno de las cosas y expresarlo de manera simple y cariñosa.
- A toda mi familia, tíos(as), primos(as), cuñada, sobrinos, y en forma especial a los Urzúa-Bonvallet. Gracias por creer en mí.
- A mi profesor guía, Dante Pinochet, por su ayuda y sabia docencia. Gracias por confiar en mí.
- A todos mis amigos y amigas: a los del colegio, a los de la Compañía, a los de Puerto Montt, a los de Puerto Varas, a los de la Universidad y a los de la pensión; a todos ellos, gracias por los buenos momentos y por permitir que la vida sea más grata.

ÍNDICE DE MATERIAS

Capítulo		Página
1	INTRODUCCIÓN	1
2	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
2.1	Balance de Nutrientes	3
2.1.1	Cuantificación del balance de nutrientes	6
2.2	El análisis de suelo como herramienta de medición de la disponibilidad de nutrientes	7
2.3	Variación de la disponibilidad de nutrientes en el tiempo	8
2.4	Concentración de los nutrientes en pradera	9
2.5	Reciclaje de nutrientes	12
2.5.1	Reciclaje de nutrientes a través de excretas animales	12
2.5.2	Reciclaje de nutrientes a través de descomposición vegetal	16
2.6	Concentración de nutrientes en productos animales	17
2.6.1	Concentración de nutrientes en Leche	17
2.6.2	Concentración de nutrientes en el tejido animal	18
2.7	Aplicación de purines	20
2.8	Crecimiento de praderas y pastoreo	21
2.8.1	Modelo PRADSIM	22
2.8.2	Eficiencia de utilización de la pradera	26
3	MATERIAL Y MÉTODO	27
3.1	Ubicación y descripción del predio	27

Capítulo	Página	
3.2	Antecedentes climáticos	27
3.3	Antecedentes edáficos del predio	30
3.4	Antecedentes recogidos en el predio	34
3.4.1	Caracterización del suelo	34
3.4.2	Análisis de purines	36
3.5	Estimación del crecimiento de praderas	36
3.6	Información base del predio para el cálculo del balance	38
3.6.1	Dosis de fertilizantes y enmiendas aplicadas en el predio	39
3.6.2	Análisis químico de suelo	39
3.6.3	Manejo del predio	39
3.6.3.1	Pastoreo	39
3.6.3.2	Lechería	39
3.6.3.3	Cría de terneros y terneras	41
3.6.3.4	Vaquillas	41
3.6.3.5	Patio de alimentación	42
3.6.3.6	Manejo de purines	43
3.6.4	Selección y distribución de potreros	43
3.7	Análisis estadístico	44
4	PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	46
4.1	Producción de materia seca y consumo animal	46
4.2	Ingreso de nutrientes al sistema lechero analizado	49
4.2.1	Aplicación de fertilizantes y enmiendas	49
4.2.2	Aplicación de purines	53
4.2.3	Alimentación suplementaria	53
4.3	Consumo total de nutrientes del plantel lechero	54
4.4	Egreso de nutrientes del sistema lechero analizado	55
4.4.1	Exportación en leche	55

Capítulo		Página
4.4.2	Exportación en carne	57
4.4.3	Pérdidas por transferencias	59
4.5	Reciclaje animal	60
4.6	Balance de nutrientes del sistema lechero analizado	61
4.7	Disponibilidad de nutrientes en el sistema lechero analizado	69
4.7.1	Fósforo	69
4.7.2	Potasio	71
4.7.3	Calcio	73
4.7.4	Magnesio	74
4.7.5	Azufre	76
4.7.6	Sodio	78
4.7.7	Fierro	79
4.7.8	Cobre	81
4.7.9	Zinc	83
4.7.10	Manganeso	84
4.7.11	Boro	86
4.8	Balance de Nitrógeno en el sistema lechero analizado	88
4.9	Restricciones del estudio	91
5	CONCLUSIONES	93
6	RESUMEN	95
	SUMARY	97
7	BIBLIOGRAFÍA	99
8	ANEXOS	103

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Rangos de concentración típica de 16 nutrientes presentes en ballicas perennes	10
2	Concentración de 15 nutrientes presentes en especies de leguminosas	11
3	Concentraciones promedio de nutrientes (% o mg kg ⁻¹ en MS) en fecas de rebaños vacunos lecheros de tres países	13
4	Concentraciones promedio de nutrientes en orina de rebaños vacunos de dos países	13
5	Valores típicos de algunas características de las excretas de bovinos y ovinos depositadas en la pradera	15
6	Concentración típica (g o mg l ⁻¹) de nutrientes en leche de vacas lecheras	18
7	Concentración típica de nutrientes en el tejido corporal de rumiantes (% o mg kg ⁻¹ en peso vivo)	19
8	Análisis químico en purines de lecherías de la décima región	21
9	Productividad anual (ton MS/ha) de las praderas permanentes en los agrosistemas de la X Región	23
10	Clasificación de los agroecosistemas de acuerdo a la productividad anual estimada con un 80% de probabilidad de ocurrencia.	24

Cuadro		Página
11	Clasificación de los agroecosistemas de acuerdo a la productividad estimada con un 80% de probabilidad de ocurrencia para la época de primavera – verano	24
12	Precipitaciones (mm) registradas en La Unión	28
13	Temperaturas (°C) registradas en La Unión (Enero-Abril)	29
14	Temperaturas (°C) registradas en La Unión (Mayo-Agosto)	29
15	Temperaturas (°C) registradas en La Unión (Sept.-Dic.)	30
16	Análisis químico en profundidad del perfil de suelo	35
17	Análisis físico en profundidad del perfil de suelo	35
18	Análisis químico de purines del predio	36
19	Tasa de crecimiento en praderas del agroecosistema de San Pablo (productividad media)	37
20	Medición de producción de MS por el método con jaulas de exclusión	38
21	Producción de leche a nivel predial y plantel lechero	40
22	Carne exportada de acuerdo al manejo y rotación del plantel lechero	41
23	Consumo de alimento promedio por vaca lactante (kg MS/vaca/día) (estimación promedio del productor)	42
24	Superficie de los potreros en estudio y su distribución en lotes	44
25	Consumo promedio de materia seca en la alimentación de plantel lechero (estimación del productor)	48
26	Concentración promedio de nutrientes en la pradera, producción promedio de nutrientes en materia seca producida, materia seca consumida y no consumida por el plantel lechero (80 % eficiencia de utilización)	48

Cuadro		Página
27	Concentración de nutrientes en fertilizantes y enmiendas utilizados en el predio	50
28	Nutrientes ingresados (kg/ha/año) por fertilización en lote 1	51
29	Nutrientes ingresados (kg/ha/año) por fertilización en lote 2	51
30	Nutrientes ingresados (kg/ha/año) por fertilización en lote 3	52
31	Nutrientes ingresados (kg/ha/año) por fertilización en lote 4	52
32	Concentración promedio de nutrientes en alimentos suplementarios	53
33	Nutrientes ingresados (kg y g/ha/año) por alimentos suplementarios y aplicación de purines	54
34	Consumo de nutrientes desde pradera, desde alimentos suplementarios y consumo total de nutrientes	55
35	Producción predial promedio de leche y carne	56
36	Ejemplo del cálculo de exportación de S en leche	57
37	Concentración promedio y exportación promedio anual de nutrientes en leche	57
38	Ejemplo del cálculo de exportación de S en carne	58
39	Concentración promedio y exportación promedio anual de nutrientes en carne	58
40	Ejemplo del cálculo de S transferido del sistema lechero	59
41	Consumo animal total, exportación en productos, transferencia y reciclaje animal de nutrientes	60
42	Ejemplo del cálculo de P reciclado del sistema lechero	61
43	Resumen de nutrientes ingresados y egresados en Lote 1. Valores en kg/ha/año para macronutrientes y g/ha/año para micronutrientes	62

Cuadro		Página
44	Resumen de nutrientes ingresados y egresados en Lote 2. Valores en kg/ha/año para macronutrientes y g/ha/año para micronutrientes	63
45	Resumen de nutrientes ingresados y egresados en Lote 3. Valores en kg/ha/año para macronutrientes y g/ha/año para micronutrientes	64
46	Resumen de nutrientes ingresados y egresados en Lote 4. Valores en kg/ha/año para macronutrientes y g/ha/año para micronutrientes	65
47	Ejemplo del cálculo del balance para S en el lote 4, año 1999	66
48	Balance final de nutrientes en Lote 1. Valores en kg/ha/año para macronutrientes y g/ha/año para micronutrientes	67
49	Balance final de nutrientes en Lote 2. Valores en kg/ha/año para macronutrientes y g/ha/año para micronutrientes	67
50	Balance final de nutrientes en Lote 3. Valores en kg/ha/año para macronutrientes y g/ha/año para micronutrientes	68
51	Balance final de nutrientes en Lote 4. Valores en kg/ha/año para macronutrientes y g/ha/año para micronutrientes	68
52	Pendientes de las rectas de variación de la disponibilidad de P en el sistema y balance final de P	70
53	Pendientes de las rectas de variación de la disponibilidad de P en el sistema y balance final de P	72
54	Pendientes de las rectas de variación de la disponibilidad de Ca en el sistema y balance final de Ca	74
55	Pendientes de las rectas de variación de la disponibilidad de Mg en el sistema y balance final de Mg	75

Cuadro		Página
56	Pendientes de las rectas de variación de la disponibilidad de S en el sistema y balance final de S	77
57	Pendientes de las rectas de variación de la disponibilidad de Na en el sistema y balance final de Na	79
58	Pendientes de las rectas de variación de la disponibilidad de Fe en el sistema y balance final de Fe	80
59	Pendientes de las rectas de variación de la disponibilidad de Cu en el sistema y balance final de Cu	82
60	Pendientes de las rectas de variación de la disponibilidad de Zn en el sistema y balance final de Zn	84
61	Pendientes de las rectas de variación de la disponibilidad de Mn en el sistema y balance final de Mn	86
62	Pendientes de las rectas de variación de la disponibilidad de B en el sistema y balance final de B	87
63	Ingresos y egresos de N (kg N/ha/año)	89
64	Eficiencia de N agregado	89
65	Balance de N (kg N/ha/año) sin eficiencia y con 65% de eficiencia de N agregado	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Balance de nutrientes en suelo-cultivo	5
2	Curva de crecimiento agroecosistema de San Pablo	37
3	Plano general de distribución de potreros del predio	45
4	Variación de la disponibilidad de P en el sistema	70
5	Variación de la disponibilidad de K en el sistema	71
6	Variación de la disponibilidad de Ca en el sistema	73
7	Variación de la disponibilidad de Mg en el sistema	75
8	Variación de la disponibilidad de S en el sistema	77
9	Variación de la disponibilidad de Na en el sistema	78
10	Variación de la disponibilidad de Fe en el sistema	80
11	Variación de la disponibilidad de Cu en el sistema	82
12	Variación de la disponibilidad de Zn en el sistema	83
13	Variación de la disponibilidad de Mn en el sistema	85
14	Variación de la disponibilidad de B en el sistema	87

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo		Página
1	Resultados analíticos de los análisis de suelo del potrero 2	106
2	Resultados analíticos de los análisis de suelo del potrero 4	106
3	Resultados analíticos de los análisis de suelo del potrero 6	107
4	Resultados analíticos de los análisis de suelo del potrero 8	107
5	Resultados analíticos de los análisis de suelo del potrero 10	108
6	Resultados analíticos de los análisis de suelo del potrero 12	108
7	Resultados analíticos de los análisis de suelo del potrero 13	109
8	Resultados analíticos de los análisis de suelo del potrero 17	109
9	Resultados analíticos de los análisis de suelo del potrero 19A	110
10	Resultados analíticos de los análisis de suelo del potrero 19B	110
11	Resultados analíticos de los análisis de suelo del potrero 23	111
12	Resultados analíticos de los análisis de suelo del potrero 25	111
13	Nutrientes ingresados (kg/ha/año) por aplicación de fertilizantes y/o enmiendas en el potrero 2	112
14	Nutrientes ingresados (kg/ha/año) por aplicación de fertilizantes y/o enmiendas en el potrero 4	112
15	Nutrientes ingresados (kg/ha/año) por aplicación de fertilizantes y/o enmiendas en el potrero 6	113
16	Nutrientes ingresados (kg/ha/año) por aplicación de fertilizantes y/o enmiendas en el potrero 8	113
17	Nutrientes ingresados (kg/ha/año) por aplicación de fertilizantes y/o enmiendas en el potrero 10	114

Anexo		Página
18	Nutrientes ingresados (kg/ha/año) por aplicación de fertilizantes y/o enmiendas en el potrero 12	114
19	Nutrientes ingresados (kg/ha/año) por aplicación de fertilizantes y/o enmiendas en el potrero 13	115
20	Nutrientes ingresados (kg/ha/año) por aplicación de fertilizantes y/o enmiendas en el potrero 17	115
21	Nutrientes ingresados (kg/ha/año) por aplicación de fertilizantes y/o enmiendas en el potrero 19A	116
22	Nutrientes ingresados (kg/ha/año) por aplicación de fertilizantes y/o enmiendas en el potrero 19B	116
23	Nutrientes ingresados (kg/ha/año) por aplicación de fertilizantes y/o enmiendas en el potrero 25	117
24	Constitución nutricional de las sales minerales utilizadas en alimentación suplementaria del rebaño lechero	117
25	Figura del balance de nutrientes y su aproximación general a la fertilización de agroecosistemas	118

1. INTRODUCCIÓN

En los sistemas productivos ganaderos la pradera es el recurso más utilizado para la alimentación animal, basándose fundamentalmente en una adecuada producción de forrajes, con especies de elevado valor nutritivo y acordes con las condiciones edafoclimáticas del sistema. Para obtener altos rendimientos productivos es necesario mantener el sistema suelo con una alta fertilidad, por sobre los requerimientos productivos de la pradera, considerando criterios de eficiencia y sustentabilidad bajo el contexto agrícola y ganadero.

El manejo adecuado de la nutrición y fertilización de las praderas está ligado directamente con el balance de los nutrientes. Este debe considerar las entradas y salidas de nutrientes, el reciclaje interno de ellos y la acumulación o desacumulación en el suelo, de forma de mantener el nivel de fertilidad de suelo deseado en un estado estacionario.

Para determinar balances de nutrientes a nivel de potrero, es necesario considerar la disponibilidad de nutrientes a través de un análisis de suelo, que permita cuantificar la cantidad de nutrientes presentes en forma disponible en un determinado sistema, no como una herramienta de diagnóstico, sino como una herramienta de control y manejo de la fertilidad del suelo.

En las últimas décadas se ha establecido la fertilización de praderas como una herramienta de manejo de la productividad de praderas en la zona sur de Chile. Sin embargo, escasos estudios se han realizado sobre los efectos en la disponibilidad de nutrientes que esta práctica está produciendo, particularmente sobre la acumulación y/o desacumulación de los nutrientes

disponibles que se produce debido a la extracción, reposición y el reciclaje de los nutrientes en los sistemas productivos de lechería que se manejan en la zona.

El objetivo general de esta tesis es evaluar una metodología de análisis de información en sistemas lecheros en base a balances de nutrientes, el establecimiento de un estado estacionario y el manejo de la fertilización como una herramienta de mantención de la fertilidad de suelo.

Los objetivos específicos de este estudio son:

- Utilizando la información recopilada en terreno y en las bases de datos y archivos del predio en estudio, analizar, por lote de potreros, los análisis químicos de suelo y las aplicaciones de fertilizantes y enmiendas realizadas bajo un historial de 12 años de manejo agronómico.
- Determinar balances de nutrientes del sistema lechero en cada lote de potreros considerando los aportes, las extracciones, y el reciclaje realizado en el sistema suelo, evaluando si existe acumulación o desacumulación en el tiempo.
- Evaluar las variaciones en la disponibilidad de nutrientes a través de los años de acuerdo a los resultados analíticos de los análisis químicos de suelo realizados y al manejo de la fertilización en cada uno de los lotes de potreros en estudio.
- Determinar la relación existente entre el balance de nutrientes calculado en el sistema lechero y la disponibilidad de nutrientes en el suelo dada por los análisis químicos de suelo realizados.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Balance de Nutrientes

El concepto más general de balance de nutrientes se establece como la diferencia entre la cantidad de nutrientes que entran y que salen de un sistema definido en el espacio y en el tiempo. Esta definición permite estimar balances nutricionales a nivel de un predio agrícola a partir de los nutrientes que egresan en los granos y forrajes cosechados, en los productos animales y en los residuos de cultivos que son transferidos a otros lugares y la cantidad de nutrientes que ingresan desde fuentes naturales (atmósfera y afluentes) y desde fuentes manejadas por el agricultor como la fertilización y la alimentación suplementaria (JANSSEN, 1999; WHITEHEAD, 2000).

El adecuado uso de balances requiere del correcto cálculo de las entradas o aportes de nutrientes (tales como fertilizantes minerales, estiércoles, deposición atmosférica, fijación biológica del nitrógeno y sedimentación) y de las salidas o extracciones de nutrientes (en las cosechas recogidas, residuos de cosechas, pastoreo animal, lixiviación, pérdidas gaseosas y erosión) y dependen del objetivo con que se realizan. De esta forma se ha utilizado para preparar programas y planes de manejo de nutrientes, especialmente cuando se requiere evaluar la probable contaminación difusa producida por el manejo agrícola (FERTILIZER GLOSSARY, 2005). Una evaluación completa del balance de nutrientes de un predio es una herramienta que se utiliza para determinar potencialmente el exceso de nutrientes y, desde el punto de vista medio ambiental, este balance puede formar la base, para disminuir la contaminación por exceso de aplicación de fertilizantes (EPA, 2005).

La extensión del concepto de balance hacia el manejo de la fertilidad del suelo, requiere incluir el concepto de estado estacionario. Este concepto es muy antiguo y ha sido usado desde los inicios de las nociones de fertilidad de suelo, en las teorías de análisis de sistemas establecidas a mediados del siglo XIX (DE WIT, 1974). El estado estacionario corresponde al estado de acumulación de nutrientes en el suelo en forma disponible para ser absorbidos por un cultivo, tal que por sobre su valor el sistema presenta más nutrientes en forma disponible que lo necesario y bajo este nivel tiene menos nutrientes disponibles que lo necesario. De esta forma, se le asigna al suelo un valor de reservorio de nutriente en forma disponible para el cultivo que debe ser manejado en forma tal de que se mantenga el nivel requerido, para que el cultivo alcance el rendimiento potencial del agroecosistema (DE WIT, 1974). Es importante entonces, considerar el balance de nutrientes, ya que los balances negativos reducen la disponibilidad de nutrientes en los suelos afectando los rendimientos de los cultivos y la fertilidad de los suelos y los balances positivos producen contaminación difusa desde los sistemas agrícolas y bajas eficiencias en el uso de nutrientes aumentando los costos de producción (GARCÍA, 2003).

Otro concepto importante de diferenciar en el estudio de balance de nutrientes corresponde a la escala de trabajo. En el caso de un análisis de balance de nutrientes, con objetivos de evaluar la contaminación difusa, se realizan principalmente balances a nivel de predio o en inglés "farm gate". Sin embargo, con objetivos de manejo de fertilidad de suelo, debe considerarse un balance a nivel de potrero, ya que la pérdida o ganancia de fertilidad del suelo afectará el nivel productivo del cultivo que crece en un determinado potrero (JANSSEN, 1999).

GARCÍA (2003), además señala que el concepto de balances de nutrientes se amplía en el tiempo cuando se considera una rotación determinada que incluye más de un cultivo o un ciclo agrícola. Dados los

beneficios que resultan de la rotación de cultivos, es de importancia considerar un ciclo de rotación, y no simplemente un cultivo al definir los balances de nutrientes. Además, la dinámica de los nutrientes en el sistema suelo-planta implica transformaciones que en muchas ocasiones exceden el período de crecimiento de un cultivo, por ejemplo en la residualidad de fósforo (P).

La siguiente figura muestra un esquema genérico del balance de nutrientes en el sistema suelo cultivo.

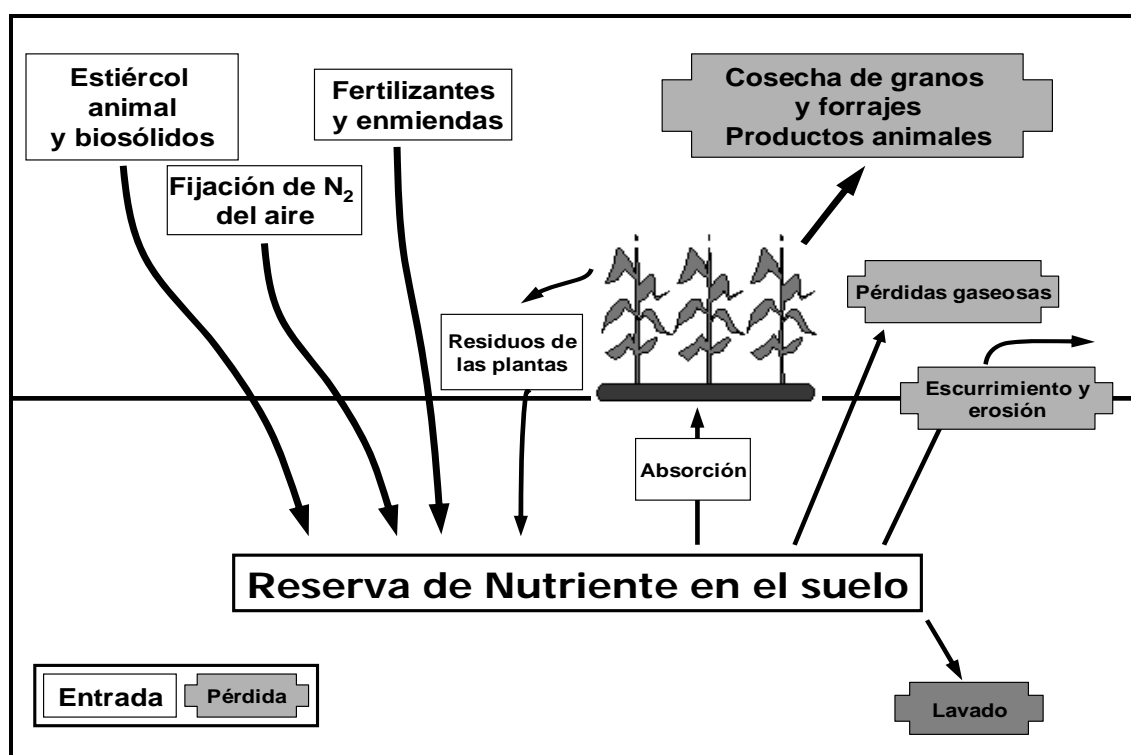


FIGURA 1 Balance de nutrientes en Suelo-Cultivo.

FUENTE: GARCÍA (2003).

Investigaciones han demostrado los efectos residuales de las fertilizaciones y la importancia del balance de nutrientes, fundamentalmente con nutrientes de menor movilidad en suelo como P y K, e incluso, en algunos casos, con nutrientes de mayor movilidad como N y S. Los efectos residuales

de las fertilizaciones se observan tanto en los rendimientos en grano y forraje como también en la disponibilidad del elemento en el suelo. Un ejemplo relevante de la posibilidad del manejo de nutrientes en una secuencia de cultivos, y no solamente en el cultivo inmediato, lo constituye la fertilización del doble cultivo trigo-soja (Albrecht *et al.*, 2000; Cordone *et al.*, 1999. Citado por GARCÍA, 2003).

2.1.1 Cuantificación del balance de nutrientes. En la cuantificación del balance de nutrientes, se deben considerar todas las entradas y salidas de ellos hacia o desde el sistema suelo. Así, y mediante la diferencia aritmética de los ingresos y egresos, es posible calcular el balance de nutrientes (JANSSEN, 1999).

Para cuantificar los ingresos, es necesario estimar la cantidad y concentración de los nutrientes que entran en el sistema, ya sea como fertilizantes, enmiendas, abonos orgánicos, alimentos suplementarios, deposiciones atmosféricas y/o fijación de nitrógeno del aire. En cambio, para cuantificar los egresos se debe estimar la cantidad y concentración de nutrientes que salen desde el sistema, a través de las mediciones de las concentraciones promedio en los granos y forrajes cosechados, en los productos y transferencias animales, en los residuos de cultivos transferidos y en las pérdidas propias de los sistemas agrícolas y ganaderos, como lixiviación, volatilización, erosión y arrastre superficial (GARCÍA, 2003; JANSSEN, 1999).

Finalmente, para cuantificar correctamente un balance de nutrientes, con objetivos de fertilidad de suelo, además de las entradas y salidas de nutrientes, se debe considerar el reciclaje de ellos dentro del sistema, ya que, de acuerdo a lo señalado por GARCÍA (2003), el aporte de nutrientes de los residuos de cultivos y praderas realizados en el mismo potrero o lugar de un predio, se

considera como un reciclaje de nutrientes, dentro del mismo sistema suelo, y por lo tanto no se incluye en la cuantificación de los ingresos.

2.2 El análisis de suelo como herramienta de medición de la disponibilidad de nutrientes

Los métodos de análisis de suelo son cualquier medición química, física o biológica realizada a una muestra representativa de un suelo que determine, cuantitativamente la disponibilidad de nutrientes para ser absorbida por un cultivo en una temporada específica. Los métodos más usuales son los análisis químicos, dada su facilidad de realización, rapidez y reproducibilidad para evaluar el nivel de nutrientes disponibles para la planta, la salinidad, y los elementos tóxicos del suelo. Bajo el concepto de análisis de suelo, también se han incluido las interpretaciones, evaluaciones y recomendaciones de fertilizantes y enmiendas basadas en los resultados de análisis químicos y en otras diversas consideraciones (PECK y SOLTANPOUR, 1990). El principal objetivo, con que en la actualidad se ha usado el análisis de suelo, es establecer las dosis de fertilización para las distintas unidades de muestreo (RODRÍGUEZ *et al.*, 2001). Más recientemente, este concepto de análisis de suelo, se ha extendido para establecer los planes de fertilización y seguir la evolución de la fertilidad de un suelo específico (FERTILIZER GLOSSARY, 2004).

De esta manera, la decisión de añadir nutrientes a un suelo debe estar respaldada por los resultados de un análisis de suelo, que permita intervenir con un diagnóstico fundamentado. Experimentalmente, se han calibrado los análisis de suelo con la respuesta al nivel de fertilidad del suelo para los distintos cultivos. De esta forma, se han obtenido los niveles de deficiencia críticos y de toxicidad, en cada uno de los nutrientes. En general, los valores críticos y tóxicos son válidos para distintas condiciones de suelo y para diferentes cultivos (RODRÍGUEZ *et al.*, 2001; BULLOCK, 2000).

La fertilidad del suelo no es constante en el espacio y el tiempo. Así, cuando se realiza un análisis de suelo, además de la fertilidad global, otros factores, como la profundidad y el momento de muestreo, tienen un gran efecto sobre el resultado de la evaluación (BULLOCK, 2000). Para lograr un análisis de suelo efectivo, RODRÍGUEZ *et al.* (2001) señalan que se requiere de un adecuado muestreo de los suelos y de un análisis químico realizado por un Laboratorio de Suelos acreditado. Además, para obtener una muestra representativa del potrero, se debe dividir el área en unidades de muestreo homogéneas, no superiores a 10 has. Cada muestra debe estar compuesta de 5 a 10 submuestras y la profundidad de muestreo debe ser de 20 cm (0-20 cm de profundidad), tanto en el caso de cultivos como de praderas.

Una vez que se conocen los resultados de los análisis químicos del suelo de las distintas unidades de muestreo del predio, se debe establecer un programa de fertilización anual con el fin de corregir las eventuales deficiencias y alcanzar los niveles críticos de los distintos nutrientes para cada uno de los cultivos de la rotación (RODRÍGUEZ *et al.*, 2001).

2.3 Variación de la disponibilidad de nutrientes en el tiempo

La disponibilidad es el resultado de los procesos internos del suelo que hacen lábil al nutriente y nos indica la cantidad potencial de nutrientes que están en condiciones para ser absorbidos por el cultivo. No todo lo disponible es absorbido, sólo una porción, que depende principalmente de la eficiencia de absorción del cultivo y del tipo de suelo, ingresará a la planta (PINOCHET, 2001). Así, al aplicar fertilizantes o al ingresar algún nutriente al sistema, de la porción no absorbida por la planta, una parte queda en el suelo y la otra es perdida (KARLOVSKY, 1981).

Según KARLOVSKY (1981), todos los nutrientes están disponibles de alguna manera. Los nutrientes no absorbidos que quedan en el suelo se

acumulan y permanecen en una forma que les permite estar disponible en los cultivos sucesivos, ya sea a corto, mediano o largo plazo. Así, los nutrientes aunque pasen a fases no lábiles, alguna vez estarán disponibles, por lo que es importante considerarlos en el tiempo.

Lo anterior concuerda con lo citado por SUMMER (2000), quién señala que los nutrientes en el suelo se hallan en distintas formas que varían en nivel de disponibilidad. Muchos de ellos se encuentran en la solución del suelo (inmediatamente disponibles pero en pequeñas cantidades), en forma intercambiable (fase lábil: rápidamente disponible en grandes cantidades), o dentro de la estructura cristalina de las arcillas (fase no lábil: lenta a muy lentamente disponible en grandes cantidades).

De esta forma, la disponibilidad de los nutrientes variará de acuerdo al manejo de los diferentes pooles o fracciones de disponibilidad presentes en el suelo (KARLOVSKY, 1981). El tipo de suelo, la forma, época de aplicación y las características del fertilizante aplicado hará más o menos disponibles los nutrientes en el sistema suelo a través del tiempo (PINOCHET, 2001).

2.4 Concentración de los nutrientes en pradera

La concentración típica de los nutrientes en praderas de *Lolium perenne*. (Ballica perenne), el rango de variación y los promedios ponderados de los nutrientes estudiados por HERNÁNDEZ (2002) y WHITEHEAD (2000) se muestran en el Cuadro 1.

Los macronutrientes se expresan en concentraciones porcentuales (%), dada su mayor presencia por unidad de forraje, en tanto, los micronutrientes en concentraciones expresadas en partes por millón (ppm) o su equivalente (mg kg^{-1}) (HAVLIN *et al.*, 1999).

CUADRO 1 Rangos de concentración típica de 16 nutrientes presentes en ballicas perennes.

Nutriente	Datos según Hernández		Datos según Whitehead	
	Rango	Promedio Ponderado	Rango	Promedio Ponderado
N (%)	1,8 - 3,43	2,73	2,0 - 3,5	2,1
P (%)	0,16 - 0,31	0,25	0,2 - 0,6	0,32
K (%)	2,25 - 3,86	3,14	1,5 - 3,5	2,3
Ca (%)	0,44 - 0,53	0,50	0,4 - 0,8	0,67
Mg (%)	0,17 - 0,19	0,18	0,1 - 0,3	0,17
S (%)	0,14 - 0,31	0,24	0,2 - 0,5	0,35 ^a
Na (%)	-	-	0,05 - 0,4	0,23 ^a
Cl (%)	-	-	0,2 - 2,5	1,35 ^a
Fe (ppm)	142,0 - 468,5	265	100 - 200	101
Cu (ppm)	6,0 - 15,5	9,67	3,0 - 15	5
Zn (ppm)	19,5 - 35,0	25,75	15 - 60	20
Mn (ppm)	57,0 - 76,5	65,75	30 - 300	41
B (ppm)	3,0 - 8,5	5,33	2,0 - 8,0	0,7
Co (ppm)	-	-	0.03 - 0.2	0.12 ^a
Al (ppm)	184,5 - 344,5	235,92	-	-
Mo(ppm)	-	-	0,1 - 4,0	0,47 ^a

^a Promedios no ponderados entre rangos de concentración.

El Cuadro 1 muestra que la variación de los nutrientes es amplia, pero dentro de rangos similares. Sin embargo, hay pocos estudios que hayan establecido los patrones definitivos del comportamiento estacional de los distintos nutrientes. La variación expresada en los rangos, se debe a las concentraciones medidas durante el año, estando fuertemente influenciados por la madurez vegetal, influencias climáticas y factores estacionales que afectan al cultivo (VAN KEULEN y WOLF, 1986). La utilización de los promedios ponderados, permite realizar con un cierto grado de certeza la estimación de la extracción generada en el consumo animal y estimar a partir de ella las variaciones del reciclaje, y la exportación realizada en los sistemas ganaderos (HERNÁNDEZ, 2002).

En especies de leguminosas, la concentración típica de los nutrientes difiere un poco con respecto a las gramíneas. En el Cuadro 2 se señalan las

concentraciones de los nutrientes estudiados por WHITEHEAD y JONES (1969) y JAHN *et al.* (1999) en 3 especies de leguminosas.

CUADRO 2 Concentración de 15 nutrientes presentes en especies de leguminosas.

Nutriente	Alfalfa ¹	Trébol blanco ¹	Trébol rosado ¹	Alfalfa ²
N (%)	2,94	4,42	3,40	-
P (%)	0,26	0,38	0,27	0,23
K (%)	1,65	2,26	2,07	2,10
Ca (%)	1,82	2,10	1,84	1,4
Mg (%)	0,15	0,18	0,21	0,24
S (%)	0,27	0,29	0,21	-
Na (%)	0,06	0,12	0,04	0,07
Cl (%)	0,60	0,76	0,53	-
Fe (ppm)	108	117	85	302,7
Cu (ppm)	7	7,3	7,4	11,1
Zn (ppm)	24	25	24	34,2
Mn (ppm)	42	49	44	30
B (ppm)	38	31	27	-
Co (ppm)	0,16	0,19	0,21	-
Mo(ppm)	0,18	0,64	0,44	-

FUENTE: ¹WHITEHEAD y JONES (1969); ²JAHN *et al.* (1999).

Los valores señalados por WHITEHEAD y JONES (1969) provienen del estudio de 3 especies de leguminosas establecidas en parcelas adyacentes, y corresponden al promedio de 8 etapas de madurez sucesiva, por lo que son un buen indicador para estimar las cantidades de nutrientes consumida por el ganado.

Los valores señalados por JAHN *et al.* (1999) provienen del promedio mensual entre las concentraciones medidas en Alfalfa, al inicio y al final del pastoreo de un ganado bovino, durante 5 meses de producción (noviembre a marzo). Estos valores reflejan, con cierta convicción, el comportamiento de las alfalfas al ser pastoreadas y cortadas en terreno, pudiéndose utilizar como referencia en la cuantificación de los nutrientes absorbidos por el cultivo (JAHN *et al.*, 1999).

En el Cuadro 2, se aprecia que existe variación en las concentraciones de los nutrientes, principalmente por tratarse de diferentes especies de leguminosas con características fisiológicas disímiles (WHITEHEAD, 2000), pero en el caso comparativo entre alfalfas, tanto WHITEHEAD (2000) como JAHN *et al.* (1999), concuerdan que las variaciones se deben a las influencias climáticas y factores estacionales que afectan a este cultivo, así como también, a las épocas de corte y medición de cada uno de los estudios.

2.5 Reciclaje de nutrientes

El reciclaje de nutrientes del suelo en los sistemas ganaderos y lecheros está constituido por dos componentes: el reciclaje proveniente de excretas animales y el reciclaje a través de la descomposición vegetal. Ambos reciclajes son importantes ya que los animales retornan en sus excretas grandes proporciones de los elementos (nutrientes) que han consumido y extraído del sistema, y las plantas retornan cantidades considerables de los nutrientes a través de la descomposición del material vegetal muerto (UNDERWOOD y SUTTLE, 1999; WHITEHEAD, 2001).

2.5.1 Reciclaje de nutrientes a través de excretas animales. La presencia de las animales en pastoreo incrementa la tasa a la cual los nutrientes son reciclados, ya que los animales utilizan para su metabolismo, ganancia de peso y/o producción de leche sólo una pequeña proporción de los nutrientes consumidos y por consiguiente los nutrientes no utilizados son retornados al suelo en las fecas y en las orinas (WHITEHEAD, 2000).

CUADRO 3 Concentraciones promedio de nutrientes (% o mg kg⁻¹ en MS) en fecas de rebaños vacunos lecheros de tres países.

Nutriente	USA	Alemania	Nueva Zelanda
N (%)	2,92	2,35	-
P (%)	1,20	0,9	0,7
K (%)	0,84	0,73	0,8
Ca (%)	1,28	1,96	2,4
Mg (%)	0,63	0,6	0,8
S (%)	-	0,36	-
Na (%)	0,22	-	0,36
Cl (%)	0,61	-	-
Fe (mg kg⁻¹)	1600	2030	-
Cu (mg kg⁻¹)	50	40	-
Zn (mg kg⁻¹)	200	130	-
Mn (mg kg⁻¹)	200	150	-
B (mg kg⁻¹)	-	15	-

FUENTE: WHITEHEAD (2000).

CUADRO 4 Concentraciones promedio de nutrientes en orina de rebaños vacunos de dos países.

	USA¹	Nueva Zelanda²
Sólidos totales (g l⁻¹)	60,7	-
N (g l⁻¹)	10,80	7,7
P (g l⁻¹)	0,19	0,34
K (g l⁻¹)	7,47	9,5
Ca (g l⁻¹)	0,16	0,73
Mg (g l⁻¹)	0,52	0,12
S (g l⁻¹)	-	0,73
Na (g l⁻¹)	1,11	0,22
Cl (g l⁻¹)	2,38	-
Fe (mg l⁻¹)	5,49	-
Cu (mg l⁻¹)	0,61	-
Zn (mg l⁻¹)	1,83	-
Mn (mg l⁻¹)	0,18	-

FUENTE: WHITEHEAD (2000).

¹Concentración medida en rebaños lecheros de 6 predios.

²Concentración medida en rebaño de carne pastoreando praderas ballica-trébol.

Como se aprecia en los Cuadros 3 y 4, las concentraciones de nutrientes, en las fecas y orinas, muestran una variación de acuerdo a la retención de estos por parte del organismo animal. Esta retención es más alta en caso de vacas lactantes y vacunos en crecimiento, y más baja en caso de vacas no lactantes y vacunos ya maduros, pero no afecta el reciclaje de los nutrientes en el sistema, ya que por tratarse de valores promedios, se considera la totalidad del rebaño, independiente de su estado fisiológico. Así una mayor retención, mostrará concentraciones más bajas y una menor retención valores más altos en las excretas (WHITEHEAD, 2000).

Considerando lo anterior, el reciclaje de nutrientes en las praderas, producido por la presencia del pastoreo animal, esta influenciado por la densidad de la pradera, por la proporción de tiempo y carga de pastoreo, por la concentración de nutrientes en el forraje y alimentos consumidos, y por la eficiencia de absorción de estos nutrientes por el animal (WHITEHEAD, 2000).

El rebaño lechero usualmente es trasladado de la pradera a la sala de ordeña dos veces al día, depositando sus excretas en caminos y construcciones, produciendo así, un reciclaje incompleto de nutrientes. Estudios señalan que a menudo, entre el 10 – 35% de las excretas son depositadas en la sala de ordeña, en los patios de alimentación y/o en los caminos o callejones, y el porcentaje restante, 90 – 65%, es depositado en la pradera (Nguyen y Goh, 1994. Citados por WHITEHEAD, 2000).

Es importante señalar también, que a los rebaños lecheros de alta producción, habitualmente se les proporciona alimentos suplementarios, adicional al pastoreo, por lo que en este caso, existe un aporte extra de nutrientes al suelo al momentos de las deposiciones, el cual debe ser cuantificado como ingreso (WHITEHEAD, 2000).

En el Cuadro 5 se muestran los valores comunes característicos de las excretas animales de un sistema de pastoreo, útiles para estimar el reciclaje en praderas y sus respectivas transferencias.

CUADRO 5 Valores típicos de algunas características de las excretas de bovinos y ovinos depositadas en la pradera.

Característica	Vacunos	Ovejas
Orinas por día	8 -12	15 – 20
Volumen por orinada (L)	1,6 – 2,8	0,10 – 0,18
Volumen de orina diario (L)	12 – 34	1,7 – 3,6
Área cubierta por la orina (m ²)	0,16 – 0,50	0,03 – 0,05
Área afectada por la orina (m ²)	0-5 – 2,5	0,06 – 0,15
Fecas por día	11 – 16	7 – 26
Peso por feca (g)	250 – 380	6 – 34
Peso de fecas diario (kg)	2,7 – 5,9	0,2 – 0,6
Área cubierta por feca (m ²)	0,05 – 0,09	0,007 – 0,025
Área afectada por fecas (m ²)	0,25 – 0,54	0,015 – 0,075

FUENTE: WHITEHEAD (2000).

El comportamiento del ganado influye directamente en el reciclaje y en la cantidad de material que es reciclado. Sin embargo, esta influencia es relativa y variable, ya que como se puede apreciar en el Cuadro 5, las orinas y fecas, sólo afectan un área determinada de la pradera. Esto concuerda con un estudio de pastoreo rotativo, donde los puntos con orina ocuparon 16,7% de la pradera, mientras que los puntos con fecas ocuparon 18,8%, tomados en un tiempo de 504 días (DALRYMPLE, 1994).

Para fines de balance de nutrientes con objetivos de fertilidad en praderas, el reciclaje a partir de excretas animales considera que, descontando las pérdidas de nutrientes por transferencia y los nutrientes exportados en producto, todos los nutrientes ingresados al sistema suelo estarán disponibles, en forma completa, en el largo plazo (todo vuelve a ser disponible para ser absorbido por la pradera) (KARLOVSKY, 1981), por lo cual, este reciclaje, no es

considerado como ingreso ni egreso en la cuantificación de los nutrientes. Así, sólo los nutrientes exportados en producto animal, las pérdidas por transferencia, más las pérdidas de los nutrientes acumulados en el suelo (pérdidas gaseosas, lixiviación y escurrimiento superficial) son consideradas relevantes en los egresos del balance de nutrientes (WHITEHEAD, 2000).

2.5.2 Reciclaje de nutrientes a través de descomposición vegetal. Los tallos, las hojas, y las raíces de las plantas, en los sistemas de praderas y en los cultivos en general, tienen un ciclo de vida que puede ir desde semanas y meses, hasta uno, dos o más años. Al cumplirse este ciclo o cuando el material vegetal es cortado, una proporción considerable, más toda la raíz, retorna al suelo a través de la muerte y posterior descomposición del material vegetal. Así, los nutrientes provenientes de este material que no es cosechado por el animal o conservado, son reciclados, volviendo al lugar donde fueron tomados, proporcionando nuevamente una fuente importante de energía para el crecimiento de nuevas plantas (WHITEHEAD, 2000), fuente de nutrientes que, según lo señalado por KARLOVSKY (1981), se consideran disponibles para ser absorbidos por la praderas, en el largo plazo.

La descomposición del material vegetal depende principalmente de la actividad microbial del suelo, siendo más rápida en condiciones de humedad, calor y cuando el pH del suelo está entre los rangos 5 a 7. La descomposición también aumenta por la actividad de la fauna del suelo, en donde los gusanos de tierra, lombrices e insectos transfieren el material vegetal, por debajo de la superficie del suelo, incorporándolo de manera más rápida y eficiente para que los microorganismos puedan degradarlo. Además, las lombrices e insectos consumen el material vegetal, lo digieren en parte y excretan, haciéndolos más susceptibles a la descomposición de los microorganismos (WHITEHEAD, 2000).

Finalmente, de acuerdo a lo señalado por GARCÍA (2003), el aporte de nutrientes a partir de la degradación de residuos de cultivos y praderas, entra en equilibrio con los nutrientes extraídos por estos mismos cultivos y praderas, y por lo tanto no se incluyen en la cuantificación de los ingresos y egresos. La mayor velocidad del reciclaje, denominada tasa de reciclaje, es afectada por la actividad de los organismos presentes en el suelo. De esta forma una alta actividad microbial y de mesoorganismos en el suelo asegura una velocidad de reciclaje mayor, pero no afecta la cantidad de nutrientes reciclada (HAYNES y WILLIAMS, 1993).

2.6 Concentración de nutrientes en productos animales

Los animales utilizan para su metabolismo un porcentaje de los nutrientes que consumen en su dieta cotidiana a través del pastoreo y alimentos sustitutos. Estos nutrientes son transformados y utilizados como energía para ganancia de peso, producción de leche, carne y/o lana. De esta forma, la cantidad de nutrientes que el animal consume en su dieta, y por ende la concentración de estos en los productos animales, por lo general, esta relacionada con la concentración de nutrientes presentes en la pradera y en los alimentos suplementados, aunque a veces, por un problema de absorción (eficiencia) en el sistema digestivo del animal, puede presentarse alguna deficiencia no habitual (WHITEHEAD, 2000).

2.6.1 Concentración de nutrientes en Leche. La concentración típica de los nutrientes en la leche de vacas lecheras, el rango de variación y el promedio de los nutrientes, según recopilaciones realizadas por WHITEHEAD (2000), quién cita información de más de 11 estudios, se muestran en el Cuadro 6.

Según ANRIQUE *et al.* (1995) la composición de productos lácteos por lo general, considera un 12% de MS en la leche entera del rebaño lechero. Este porcentaje es útil, ya que para el cálculo de balances nutricionales, el producto

exportado, en este caso leche, debe expresarse como kg de producto lácteo en un determinado período (kg/vaca/año)¹.

CUADRO 6 Concentración típica (g o mg L⁻¹) de nutrientes en leche de vacas lecheras.

Nutriente	Rango	Promedio
N (g l⁻¹)	5,3 – 5,6	5,45
P (g l⁻¹)	0,9 – 1,0	0,95
K (g l⁻¹)	1,0 – 2,0	1,5
Ca (g l⁻¹)	0,9 – 1,4	1,15
Mg (g l⁻¹)	0,1 – 0,20	0,15
S (g l⁻¹)	0,30	0,3
Na (g l⁻¹)	0,3 – 0,7	0,5
Cl (g l⁻¹)	0,8 – 1,4	1,1
Fe (mg l⁻¹)	0,2 – 0,6	0,4
Cu (mg l⁻¹)	0,03 – 0,25	0,14
Zn (mg l⁻¹)	3,0 – 5,0	4,0
Mn (mg l⁻¹)	0,01 – 0,05	0,03
B (mg l⁻¹)	0,3 – 1,0	0,65
Co (mg l⁻¹)	0,0003 – 0,001	0,00065
Mo (mg l⁻¹)	0,015 – 0,15	0,0825
I (mg l⁻¹)	0,005 – 0,4	0,2025
Se (mg l⁻¹)	0,01 – 0,03	0,02

FUENTE: Adaptado de WHITEHEAD (2000).

En algunos nutrientes se aprecia un rango considerable de variación en la concentración, debido a factores que influyen temporalmente sobre esta, como la etapa de lactancia, nutrición (dieta suplementada) y posibles enfermedades durante el ciclo de vida del animal (RENNER *et al.*, 1989).

2.6.2 Concentración de nutrientes en el tejido animal. El tejido corporal de animales rumiantes presenta una concentración típica de nutrientes medida en

¹ LATRILLE, L. (2005). Universidad Austral de Chile. Valdivia. Comunicación personal.

% o mg kg⁻¹ de peso vivo, para macronutrientes y micronutrientes respectivamente. Esta concentración varía en el tiempo por la retención de los nutrientes en el organismo, eficiencia de absorción y la concentración de nutrientes presentes en la pradera y en los alimentos suplementarios consumidos por el rebaño (WHITEHEAD, 2000).

En el Cuadro 7 se detallan las concentraciones y rangos de nutrientes habituales en el tejido corporal animal, excluyendo los nutrientes involucrados en la digestión, según estudios realizados por 3 autores citados por WHITEHEAD (2000).

CUADRO 7 Concentración típica de nutrientes en el tejido corporal de rumiantes (% o mg kg⁻¹ en peso vivo).

Nutriente	McDonald <i>et al.</i> , 1995.	Millar, 1979; Millar <i>et al.</i> , 1991.	Agricultural Research Council, 1980.
N (%)	2,8	-	2,7
P (%)	1,0	0,7	0,8
K (%)	0,2	0,17	0,2
Ca (%)	1,5	1,2	1,4
Mg (%)	0,04	0,05	0,045
S (%)	0,15	0,15	-
Na (%)	0,16	0,14	0,15
Cl (%)	0,11	0,1	0,1
Fe (mg kg⁻¹)	20 – 80	50	30
Cu (mg kg⁻¹)	1 – 5	5	1,2
Zn (mg kg⁻¹)	10 - 50	20 – 30	24
Mn (mg kg⁻¹)	0,2 – 0,5	0,3	-
Co (mg kg⁻¹)	0,02 – 0,1	< 0,06	-
Mo (mg kg⁻¹)	0,1 – 4,0	0,03	-
I (mg kg⁻¹)	0,3 – 0,6	0,3	-
Se (mg kg⁻¹)	0,1 – 2,0	0,2 – 0,5	-

FUENTE: WHITEHEAD (2000).

Los nutrientes que se encuentran en mayor concentración en el tejido corporal de los animales rumiantes son N, Ca y P. Con respecto a lo anterior,

WHITEHEAD (2000) estimó, de acuerdo a un estudio realizado en engorda de bovinos para carne, sometidos a pastoreo, con carga de 5.5 animales/ha por aproximadamente 6 meses, que los vacunos mostraron una ganancia total de 1000 kg de peso vivo por ha, removiendo alrededor de 27 kg de N, 8 kg de P y 14 kg de Ca desde el sistema estudiado (WHITEHEAD, 2000).

2.7 Aplicación de purines

Los purines son un subproducto de la actividad ganadera definido como la mezcla de fecas, orinas y agua que proviene de patios, establos y salas de ordeña, almacenados en tanques o pozos purineros, y utilizados habitualmente para ser aplicados sobre los campos como fertilizante y abono (DUMONT, 2000; SALAZAR *et al.*, 2003). Por ello, su ingreso debe ser cuantificado adicionalmente en los balances, ya que constituyen una fuente de entrada de nutrientes que no necesariamente proviene desde el mismo potrero o lugar, al cual se devuelven como aplicación de abonos orgánicos o fertilización (GARCÍA, 2003).

Estos residuos contienen una gran cantidad de sólidos disueltos y en suspensión. Sin embargo, el purín de vacuno, el más importante en el sur de Chile, es un abono relativamente desequilibrado y de composición considerablemente variable, por lo general bajo en fósforo, elevado en potasio y nitrógeno. Asimismo, presentan en muchos casos, contenidos importantes de azufre y magnesio (DUMONT, 2000).

Los nutrientes contenidos en los purines, juegan un doble rol, ya que por un lado son una fuente importante para el crecimiento de las plantas, pero, al mismo tiempo, son potenciales contaminantes del aire y agua. Estudios señalan que un manejo inadecuado de los efluentes puede causar serios problemas de contaminación, como ha sido informado en otros países, donde los predios

lecheros han sido asociados a problemas de contaminación directa y difusa (DUMONT, 2000; SALAZAR *et al.*, 2003).

El contenido de nutrientes del análisis químico, según estudios realizados en lecherías de la décima región, se detalla en el siguiente Cuadro.

CUADRO 8 Análisis químico en purines de lecherías de la décima región.

Análisis	Promedio X ^a región Sep-2001 ⁽¹⁾	Ancud Sep-1998 ⁽²⁾	Osorno Jul-2005 ⁽³⁾
MO (%)	-	76,2	-
MS (%)	3,5	5,0	3,9
pH	-	7,29	-
N _{total} (Kg/ton)	1,59	1,92	0,74
P ₂ O ₅ (Kg/ton)	0,60	0,76	0,65
K ₂ O (Kg/ton)	1,08	0,96	2,45
MgO (Kg/ton)	-	0,35	-
Ca (Kg/ton)	-	-	-
Na (Kg/ton)	-	0,36	-

FUENTE: ⁽¹⁾ DUMONT (2000); ⁽²⁾ SALAZAR *et al.* (2003) y ⁽³⁾ Laboratorio de Suelos (IIAS) UACH.

En definitiva, los purines presentan un potencial contaminante, pero con un manejo adecuado, por los nutrientes que son capaces de aportar, pueden ser beneficiosos para la nutrición y fertilidad de praderas y cultivos (DUMONT, 2000).

2.8 Crecimiento de praderas y pastoreo

Las praderas son el elemento fundamental y la base de la producción lechera y ganadera en Chile y el mundo. La producción total de las praderas se expresa, por lo general, en toneladas de materia seca en una hectárea al año (t MS/ha/año) y su crecimiento depende principalmente de factores como: especies cultivadas, tipo de suelo, fertilidad, clima, manejo agronómico (conservación), y manejo del pastoreo (SCOBIE, 1985; PINOCHET, 2002).

La estimación o cálculo de disponibilidad y crecimiento de la pradera puede realizarse por varios métodos, los más comunes son: estimación visual, altura no disturbada (bastón graduado), pasture probe (bastón electrónico), altura comprimida (plato) de la pradera, jaula de exclusión y método del cuadrante (considerado el más exacto) (BALOCCHI, 2002). También existen modelos matemáticos que simulan el crecimiento de las praderas en base a restricciones, como es el caso del PRADSIM.

2.8.1 Modelo PRADSIM. Es un modelo matemático de simulación de crecimiento de las praderas naturales y naturalizadas diseñado para describir los principales agroecosistemas de las regiones IX y X. Este modelo, llamado PRADSIM, fue usado para simular el crecimiento mensual y la productividad anual que alcanzarían las praderas, asumiendo sólo una restricción hídrica del sistema, de temperatura y radiación. Además simula el crecimiento potencial de la pradera bajo condiciones de secano, suponiendo que otros factores de producción tales como fertilidad de suelo, control de plagas y enfermedades, control de malezas y otros, se manejan en forma adecuada para alcanzar el óptimo de productividad (PINOCHET, 1999).

El modelo fue contrastado con datos reales obtenidos de experimentos controlados de crecimiento de praderas permanentes. A pesar de que las primeras evaluaciones resultan alentadoras en su capacidad predictiva, es necesario considerar que los resultados deben ser tomados aún con cautela hasta que el modelo esté completamente validado para las diferentes condiciones de los agrosistemas de las regiones IX y X. Sin embargo a pesar de ello, permite al menos en términos comparativos, predecir el rendimiento potencial de las praderas naturales y naturalizadas en los agrosistemas antes mencionados (PINOCHET, 1999).

En el Cuadro 9, se muestra la productividad (en ton MS/ha/año) simulada a través del modelo PRADSIM en los distintos agrosistemas de la X Región.

CUADRO 9 Productividad anual (ton MS/ha) de las praderas permanentes en los agrosistemas de la X Región.

Agrosistemas	Media	Máx.	Mín.	Probabilidad de			Años N
				0.8	0.6	0.4	
Lapahue – Ancud	12.3	12.6	12.3	12.3	12.3	12.4	46
Castro	14.3	14.6	12.7	14.1	14.4	14.5	33
Fresia – Casma	13.4	14.8	11.7	12.4	12.8	13.8	16
La Unión	10.1	13.0	6.4	8.7	9.9	10.6	44
Lago Ranco	13.7	14.6	10.9	13.2	13.7	14.1	37
Pirehuico	13.7	15.2	9.5	13.3	13.5	14.6	22
Precordillera	12.9	13.6	10.9	12.2	12.9	13.2	32
Puerto Montt	14.2	14.4	13.3	14.0	13.3	14.3	53
Remehue	12.4	14.5	9.5	11.2	11.9	13.0	50
Reumén – Paillaco	13.6	15.0	10.5	13.0	13.6	14.0	24
San José de la Mariquina	10.8	12.5	8.8	9.3	10.8	11.0	23
San Pablo	11.0	13.4	6.7	10.0	10.8	11.4	46
Valdivia	12.0	13.4	9.7	11.2	11.9	12.1	91
Vivanco	11.7	12.3	9.8	11.4	11.8	12.0	34

Máx: Productividad máxima

Mín: Productividad mínima

En este cuadro se detallan los valores de la productividad media (promedio de todos los años evaluados), el valor máximo y mínimo de la secuencia de años simulados y los valores de productividad con 80%, 60% y 40% de probabilidad de que se produzca un rendimiento de MS de esa magnitud o mayor (PINOCHET, 1999).

Para caracterizar la productividad de los agroecosistemas de X Región, PINOCHET (1999) usó los valores correspondientes al 80% de probabilidad, valor que es común en la caracterización de los agrosistemas de diversas partes del mundo.

La clasificación utilizada para los distintos agroecosistemas de la X Región de acuerdo a la productividad de las praderas permanentes se puede observar en el Cuadro 10.

CUADRO 10 Clasificación de los agroecosistemas de acuerdo a la productividad anual estimada con un 80% de probabilidad de ocurrencia.

Productividad ton MS/ha/año (80% de probabilidad)	AGROECOSISTEMAS
8.0 – 9.0	La Unión – Trumao – Quilacahuín
9.0 – 10.0	San José de la Mariquina
10.0 – 11.0	San Pablo
11.0 – 12.0	Vivanco; Remehue – Osorno
12.0 – 13.0	Valdivia; Lapahue – Ancud; Fresia – Casma; Precordillera Andina; Reumen – Paillaco.
13.0 – 14.0	Ribera de los lagos Ranco y Pirehuico; Puerto Montt – Calbuco.
> 14.0	Castro

CUADRO 11 Clasificación de los agroecosistemas de acuerdo a la productividad estimada con un 80% de probabilidad de ocurrencia para la época de primavera – verano.

Productividad ton MS/ha/año (80% de probabilidad)	AGROECOSISTEMAS
5.0 – 6.0	San José de la Mariquina; La Unión – Trumao – Quilacahuín
6.0 – 7.0	San Pablo; Remehue – Osorno; Fresia – Casma
7.0 – 8.0	Valdivia; Reumen – Paillaco; Precordillera Andina; Vivanco
8.0 – 9.0	Ribera de los lagos Ranco y Pirehuico; Vivanco; Lapahue – Ancud
> 9.0	Puerto Montt – Calbuco; Castro

En el Cuadro 11 se muestra la productividad de las praderas permanentes en primavera – verano de los distintos agroecosistemas considerados en el estudio. En este cuadro es posible apreciar la variación de

productividad de los agroecosistemas de acuerdo al estrés hídrico durante la temporada primavera – verano (PINOCHET, 1999).

Para calcular lo anterior, el modelo PRADSIM simula la tasa de producción de materia seca diaria de una pradera para las condiciones agroclimáticas de la zona sur de Chile. Este cálculo está basado principalmente en una metodología de balance, que considera las entradas de energía y materia, su transformación en el sistema agrícola y las pérdidas producidas en el sistema (PINOCHET, 1999).

PINOCHET (1999), señala que PRADSIM como modelo, se basa en que la tasa de producción de una pradera es función de la cantidad de energía solar que intercepte la biomasa fotosintetizante y de la eficiencia de conversión de esa energía en materia seca. A su vez, la interceptación de la radiación fotosintéticamente activa es función de la arquitectura vegetal y de la densidad de plantas. Cualquier limitación proveniente del clima (como temperatura, precipitación o evapotranspiración) o del suelo (agua disponible, fertilidad) modifica la capacidad de interceptar la radiación, a través de una disminución de la capacidad fotosintetizante de la pradera (disminución en el índice de área foliar o de la eficiencia fotosintética). Para simular estas interrelaciones, se introducen funciones entre la biomasa producida, el índice de área foliar y la cobertura que definen la interceptación de la radiación solar.

Finalmente, la tasa de producción real se obtiene al integrar las restricciones impuestas a la tasa de producción potencial por los factores limitantes considerados, principalmente la temperatura del agroecosistema y la humedad (agua disponible) del suelo. No se incluye en el modelo una restricción de fertilidad del suelo, considerándose que todos los nutrientes se encuentra en niveles óptimos de disponibilidad (PINOCHET, 1999).

2.8.2 Eficiencia de utilización de la pradera. La relación que existe entre la materia seca producida por la pradera y la consumida por el pastoreo animal y/o conservación de forrajes, se le denomina eficiencia de utilización. Como no todo lo producido es utilizado por los animales, una proporción de pasto queda en el la pradera, la cual puede ser utilizada posteriormente en otro pastoreo y/o corte, o descomponerse y reciclarse (SCOBIE, 1985; BALOCCHI, 2002).

El pasto pisado o en donde caen orinas y fecas, no es consumido por el animal en varios pastoreos, a lo que se le suman, todos los lugares de difícil acceso para pastorear (orillas de cerco, trancas y entre arbustos) y todas las especies forrajeras que el animal segrega. De esta manera, el uso de buenas praderas y un buen manejo del pastoreo disminuyen estas pérdidas, aumentando la materia seca consumida. Así, mientras mayor sea la materia seca consumida, mayor es la eficiencia de utilización de la pradera, la que por lo general en el sur de nuestro país, fluctúa entre un 50 y 80% (BALOCCHI, 2002).

3. MATERIAL Y MÉTODO

3.1 Ubicación y descripción del predio

El Predio “Las Vegas”, de propiedad de Don Enrique Oelckers Aubel, se ubica en la Décima Región, en la Provincia de Osorno, comuna de San Pablo y a unos 6 km de la localidad de Trumao.

Presenta una superficie total de 302 ha, de las cuales 175 ha son propias y 127 ha son de arriendo, en las cuales se realiza el manejo del predio en dos sistemas productivos, el sistema lechero y el ganadero. El sistema lechero es manejado en las 175 ha propias, en donde la totalidad de las praderas son de secano predominadas por gramíneas del tipo ballicas perennes. A su vez, el sistema ganadero es manejado en las 127 ha de arriendo, en donde aparte de las praderas de secano predominadas por ballicas perennes, existen praderas establecidas con alfalfa, para pastoreo (sólo del sistema ganadero) y soiling (sistema lechero).

Para fines del estudio, sólo se considerará el sistema lechero de 175 há.

3.2 Antecedentes climáticos

El Predio se ubica en el área agroclimática más seca y calurosa de la Décima Región, en la Zona Quilacahuín, también denominada Zona N° 6, que incluye el microclima La Unión, Trumao y Quilacahuín, caracterizado por tener veranos con promedios de 18,4°C (MONTALDO *et al.*, 1982).

La Zona se caracteriza por presentar una menor caída pluviométrica en relación a las otras Zonas de la Región, precipitan unos 1100 mm. anuales (ver

Cuadro 12), presentando un verano marcadamente seco que afecta negativamente el crecimiento de las praderas y que se extiende entre diciembre y marzo (MONTALDO *et al.*, 1982). Pese a la mala distribución de las lluvias, existen ventajas comparativas en el período de otoño e invierno para el crecimiento y desarrollo de las praderas, puesto que la baja ocurrencia de heladas posibilita un crecimiento mayor que el alcanzado por las praderas del valle central de la Décima Región.

Los registros mensuales de precipitaciones desde el año 1987 al 2003 se muestran en el Cuadro 12.

CUADRO 12 Precipitaciones (mm) registradas en La Unión.

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
1987	4,5	27,5	59,2	95,5	90,0	87,5	376,0	133,5	88,0	134,0	37,5	35,5	1.168,7
1988	30,6	2,0	40,0	59,0	42,7	156,0	113,0	134,5	54,0	52,0	12,5	50,5	746,8
1989	30,5	18,5	53,5	46,5	37,5	107,0	190,5	137,5	77,0	65,0	48,5	117,5	929,5
1990	44,5	40,0	52,0	116,5	205,0	92,0	163,0	153,0	168,0	44,6	45,0	26,5	1.150,1
1991	17,5	25,0	30,5	62,0	203,5	136,7	166,0	161,0	104,8	58,5	74,0	118,0	1.157,5
1992	14,5	27,3	113,5	110,3	198,0	270,0	102,0	105,9	87,0	86,8	28,0	87,5	1.230,8
1993	22,3	14,5	167,5	230,0	228,3	235,8	178,3	78,0	63,0	99,0	61,5	31,0	1.409,2
1994	14,5	14,5	31,8	136,7	147,0	233,0	149,0	102,5	83,5	121,0	68,3	67,0	1.168,8
1995	40,8	6,0	36,0	106,5	54,0	198,0	173,0	243,0	31,5	77,5	27,5	0,0	993,8
1996	30,5	44,0	72,0	93,0	130,0	76,5	67,5	180,0	47,0	52,0	99,0	71,0	962,5
1997	67,5	37,5	13,5	133,5	127,5	287,5	217,5	125,5	117,5	125,0	63,8	31,5	1.347,8
1998	22,0	69,0	32,0	85,0	106,5	162,5	92,0	126,0	62,0	21,0	24,5	40,0	842,5
1999	24,5	24,8	63,3	22,5	126,3	224,5	91,0	171,0	101,5	21,0	48,0	31,5	949,9
2000	28,5	125,0	39,0	109,0	68,0	460,5	152,5	70,5	91,5	48,0	54,5	23,0	1.270,0
2001	97,5	20,5	72,0	47,5	218,0	186,0	293,0	154,5	51,5	53,0	69,0	16,0	1.278,5
2002	7,0	16,0	84,5	94,5	249,5	134,5	123,0	254,5	103,0	214,0	67,0	34,0	1.381,5
2003	14,5	27,0	40,0	55,0	51,0	304,0	145,0	77,5	189,0	103,0	75,0	54,5	1.135,5
\bar{x}	30,1	31,7	58,8	94,3	134,3	197,2	164,3	141,7	89,4	80,9	53,2	49,1	1.124,9

FUENTE: Estación meteorológica Planta COLUN, La Unión.

De la misma manera, en los Cuadros 13, 14 y 15 se detallan respectivamente por trimestre las temperaturas registradas mensualmente desde 1987 al 2003.

CUADRO 13 Temperaturas (°C) registradas en La Unión (Enero-Abril).

Mes	Enero			Febrero			Marzo			Abril		
	Año	Min	Max	Media	Min	Max	Media	Min	Max	Media	Min	Max
1987	9,88	24,29	17,09	9,80	25,30	17,55	9,66	23,77	16,72	6,78	16,13	11,46
1988	9,60	22,74	16,17	10,53	25,90	18,22	8,06	20,80	14,43	7,10	17,82	12,46
1989	10,02	23,55	16,79	10,13	23,58	16,86	8,03	19,77	13,90	6,30	15,60	10,95
1990	9,87	21,48	15,68	10,12	23,21	16,67	8,06	19,92	13,99	6,73	15,09	10,91
1991	10,80	21,12	15,96	8,89	22,83	15,86	8,17	19,95	14,06	7,48	15,57	11,53
1992	11,16	23,97	17,57	7,60	21,43	14,52	10,68	19,94	15,31	5,98	15,25	10,62
1993	8,98	21,63	15,31	9,98	23,98	16,98	8,91	20,52	14,72	7,35	15,60	11,48
1994	8,34	24,79	16,57	7,54	22,91	15,23	7,52	23,86	15,69	3,07	15,93	9,50
1995	8,70	21,49	15,10	8,30	23,52	15,91	6,45	20,22	13,34	7,27	16,66	11,97
1996	7,41	22,15	14,78	8,55	21,87	15,21	8,20	19,94	14,07	4,24	14,90	9,57
1997	10,46	22,46	16,46	6,72	20,69	13,71	7,86	22,42	15,14	8,14	17,53	12,84
1998	8,92	22,12	15,52	10,97	25,77	18,37	7,99	20,50	14,25	6,25	17,78	12,02
1999	9,42	26,20	17,81	8,93	23,40	16,17	8,25	19,41	13,83	4,90	16,80	10,85
2000	8,87	21,91	15,39	9,65	21,28	15,47	6,76	18,29	12,53	7,26	15,54	11,40
2001	9,03	21,60	15,32	8,84	22,04	15,44	7,32	18,89	13,11	5,31	15,48	10,40
2002	9,26	23,94	16,60	9,29	14,78	12,04	7,33	18,92	13,13	5,38	15,76	10,57
2003	10,10	21,53	15,82	8,11	21,08	14,60	8,72	22,65	15,69	4,46	17,09	10,78
\bar{x}	9,46	22,76	16,11	9,06	22,56	15,81	8,12	20,57	14,35	6,12	16,15	11,13

FUENTE: Estación meteorológica Planta COLUN, La Unión.

CUADRO 14 Temperaturas (°C) registradas en La Unión (Mayo-Agosto).

Mes	Mayo			Junio			Julio			Agosto		
	Año	Min	Max	Media	Min	Max	Media	Min	Max	Media	Min	Max
1987	4,53	18,00	11,27	5,36	12,25	8,81	6,85	11,60	9,23	4,29	12,73	8,51
1988	4,00	14,50	9,25	2,40	11,55	6,98	1,40	9,60	5,50	4,50	11,20	7,85
1989	3,20	12,10	7,65	5,40	11,80	8,60	3,80	10,80	7,30	4,40	11,40	7,90
1990	5,09	12,60	8,85	3,43	11,38	7,41	2,90	10,80	6,85	5,00	12,70	8,85
1991	6,24	12,42	9,33	2,50	10,57	6,54	2,59	10,22	6,41	1,86	10,99	6,43
1992	4,51	11,24	7,88	3,53	9,45	6,49	1,58	9,87	5,73	3,50	11,45	7,48
1993	6,11	11,96	9,04	4,73	11,22	7,98	2,97	9,98	6,48	2,45	11,77	7,11
1994	5,30	13,61	9,46	4,49	12,27	8,38	2,75	11,48	7,12	1,36	11,64	6,50
1995	5,33	13,58	9,46	3,67	11,13	7,40	0,97	8,21	4,59	2,54	9,91	6,23
1996	5,09	13,21	9,15	0,57	8,57	4,57	2,95	11,41	7,18	5,64	11,66	8,65
1997	6,59	14,34	10,47	5,66	11,17	8,42	5,06	11,21	8,14	3,50	11,99	7,75
1998	8,27	15,40	11,84	4,73	11,37	8,05	3,35	11,10	7,23	3,85	12,07	7,96
1999	4,65	13,46	9,06	2,50	9,68	6,09	1,38	10,10	5,74	4,56	12,95	8,76
2000	6,34	13,07	9,71	5,27	11,08	8,18	2,34	9,89	6,12	4,33	12,23	8,28
2001	5,35	12,88	9,12	5,11	10,47	7,79	3,84	10,98	7,41	3,75	12,79	8,27
2002	6,95	13,49	10,22	2,78	11,05	6,92	3,75	10,45	7,10	6,11	12,16	9,14
2003	4,83	13,34	9,09	5,50	12,19	8,85	3,17	10,81	6,99	3,72	12,94	8,33
\bar{x}	5,43	13,48	9,46	3,98	11,01	7,50	3,04	10,50	6,77	3,84	11,92	7,88

FUENTE: Estación meteorológica Planta COLUN, La Unión.

CUADRO 15 Temperaturas (°C) registradas en La Unión (Sept.-dic.).

Mes	Septiembre			Octubre			Noviembre			Diciembre		
Año	Min	Max	Media	Min	Max	Media	Min	Max	Media	Min	Max	Media
1987	5,38	13,50	9,44	7,18	16,68	11,93	9,12	20,31	14,72	9,42	21,76	15,59
1988	4,40	14,30	9,35	4,70	15,20	9,95	7,80	18,80	13,30	9,33	19,87	14,60
1989	4,98	14,00	9,49	6,48	16,10	11,29	8,28	18,93	13,61	11,40	19,06	15,23
1990	4,85	13,65	9,25	6,71	15,20	10,96	7,50	17,30	12,40	9,00	19,95	14,48
1991	6,37	13,25	9,81	4,45	16,00	10,23	8,22	18,83	13,53	7,84	17,52	12,68
1992	4,17	13,28	8,73	5,06	13,90	9,48	8,10	19,33	13,72	8,63	19,53	14,08
1993	3,13	13,43	8,28	2,74	17,04	9,89	5,87	17,78	11,83	7,44	20,95	14,20
1994	4,04	13,73	8,89	5,92	16,95	11,44	7,44	18,65	13,05	8,67	21,41	15,04
1995	3,50	13,23	8,37	5,45	15,62	10,54	7,10	18,05	12,58	9,30	24,85	17,08
1996	4,22	14,80	9,51	6,30	15,56	10,93	6,90	18,01	12,46	9,15	20,62	14,89
1997	4,50	13,62	9,06	5,77	14,15	9,96	8,52	17,29	12,91	9,77	20,75	15,26
1998	2,30	13,51	7,91	4,37	17,16	10,77	5,65	17,84	11,75	8,75	21,87	15,31
1999	5,71	13,23	9,47	5,98	18,28	12,13	8,21	20,05	14,13	9,06	21,06	15,06
2000	4,55	12,68	8,62	5,96	16,32	11,14	6,01	17,61	11,81	8,55	20,10	14,33
2001	4,31	15,41	9,86	6,09	17,54	11,82	6,19	18,46	12,33	10,71	23,57	17,14
2002	5,46	13,15	9,31	6,36	14,80	10,58	7,99	17,18	12,59	9,35	20,68	15,02
2003	5,34	13,57	9,46	5,99	15,75	10,87	8,95	18,85	13,90	8,42	18,41	13,42
\bar{x}	4,54	13,67	9,10	5,62	16,01	10,82	7,52	18,43	12,97	9,11	20,70	14,90

FUENTE: Estación metereológica Planta COLUN, La Unión.

3.3 Antecedentes edáficos del predio

Los suelos del predio corresponden a la Serie La Unión, suelo de transición de lomajes, moderadamente profundos, que corresponden a cenizas volcánicas muy antiguas que descansan sobre restos de conglomerados altamente intemperizados (SIERRA, 1992).

Según IREN-CORFO (1964) estos suelos se encuentran en las Provincias de Valdivia y Osorno, adosados a las formaciones precordilleranas de la costa. En al comuna de La Unión, esta serie ocupan una superficie de 3.077 ha (IREN *et al*, 1978). Corresponde a cenizas volcánicas muy antiguas depositadas sobre conglomerados multicolores o sobre toba volcánica. Se presentan en una topografía de pendientes complejas ligera a moderadamente

onduladas, en las que dominan pendientes del orden del 3 a 8% y 15 a 30% (IREN *et al.*, 1978).

Los suelos de esta serie son profundos y presentan colores pardo oscuro en superficie a pardo rojizo oscuro en profundidad; texturas moderadamente finas en superficie a finas en profundidad; bien estructurados, bloques subangulares en todo el perfil; ligeramente duros a duros, ligeramente firmes a firmes, plásticos y adhesivos. El arraigamiento es bueno hasta los 65 cm. y regular en profundidad (IREN *et al.*, 1978).

Según IREN *et al* (1978), la velocidad de infiltración es baja, siendo también bajos los valores de las constantes hídricas y el agua aprovechable, las que disminuyen aún más en profundidad. Son suelos moderadamente ácidos en todo el perfil y poseen un contenido medio de materia orgánica en superficie. Los niveles de capacidad de intercambio catiónico y bases de intercambio son medio. También presentan niveles medio de aluminio, fierro y capacidad de fijación de fósforo junto a valores extremadamente deficientes de fósforo aprovechable y nitrógeno (IREN *et al.*, 1978).

Su entorno se caracteriza por formaciones vegetales naturales tipo Laurel, Roble, Lingue, Avellano y Espino del Monte (IREN-CORFO, 1964).

El perfil típico de la serie La Unión según IREN-CORFO (1964) se describe de la siguiente manera:

- 0 – 16 cm. Pardo oscuro húmedo, 7,5 YR 3/2; franco; estructura granular y media; friable; ligeramente plástico, ligeramente adhesivo; raíces finas y medias abundantes; materia orgánica; limite inferior claro lineal.
- 16 – 55 cm. Pardo rojizo oscuro en húmedo, 5 YR 3/2 – 3/3; franco arcillo

limosa; estructura de bloques subangulares medios muy débiles; friable; ligeramente plástico y adhesivo; raíces comunes; límite inferior claro lineal gradual.

55 – 90 cm. Pardo oscuro en húmedo, 7,5 YR 4/4; arcillo limosa; plástico y y más. adhesivo; friable; estructura de bloques angulares medios, moderados; raíces comunes; restos de tobas volcánicas y concreciones.

A diferencia de lo descrito por IREN-CORFO (1964), IREN *et al* (1978) señala la siguiente distribución de perfil:

0 – 13 cm. Pardo muy oscuro (10 YR 2/2); arcillosa poco densa; bloques subangulares finos y fuertes; ligeramente duro, friable; plástico y adhesivo; raíces finas y medias muy abundantes; limite claro lineal; 9 a 13 cm. de espesor.

13 – 32 cm. Pardo muy oscuro (10 YR 2,5/2); arcillosa poco densa; bloques subangulares finos y medios fuertes; ligeramente duro, ligeramente firme, plástico y adhesivo; raíces finas y medias abundantes; límite claro lineal; 12 a 26 cm. de espesor.

32 – 64 cm. Pardo rojizo oscuro (5 YR 3/3 a 2/2); arcillosa poco densa; bloques subangulares medios moderados; serosidades de arcilla escasas; duro, firme, muy plástico y adhesivo; raíces finas y medias abundantes; límite claro lineal; 27 a 36 cm. De espesor.

64 – 85 cm. Pardo oscuro y pardo rojizo oscuro (7,5 YR 4/4 y 5 YR 3/3); arcillo limosa; bloques subangulares medios moderados; duro, firme, plástico y ligeramente adhesivo; raíces finas y medias escasas; límite claro lineal; 10 a 25 cm. de espesor.

85 – 92 cm. Corresponde al material original sin la intensa meteorización de los horizontes inferiores, pero se observa material arcilloso que eluvió. Pardo oscuro a pardo intenso (7,5 YR 4/4 a 5/6); arcillo

arenosa; subangular media moderada; ligeramente duro, firme, ligeramente plástico y ligeramente adhesivo; raíces finas escasas.

92 - + cm. Substrato de limo y arcilla de origen marino.

IREN *et al* (1978) muestra una variación del perfil, principalmente del color y la textura, de acuerdo a la siguiente descripción.

- 0 – 13 cm. El color puede variar a pardo oscuro (7,5 YR 3/2) y la textura puede ser franco arcillo arenosa.
- 13 – 32 cm. El color puede variar a pardo oscuro (7,5 YR 3/2) y la textura a arcillo limosa.
- 32 – 64 cm. El color puede ser pardo rojizo oscuro (5 YR 2/2) o pardo oscuro (7,5 YR 3/2 o 4/4) y la textura presenta poca variación.
- 64 – 85 cm. El color puede ser pardo oscuro (7,5 YR 4/4).
- 95 – 92 cm. El color puede ser pardo oscuro o pardo rojizo oscuro (7,5 YR 2/2 a 5 YR 3/3) y la textura puede variar a arcillo limosa o arcillosa densa.
- 92 - + cm. No presenta variaciones de importancia. Los suelos más planos son más profundos y de colores pardos. Los de mayor pendiente y erosionados no presentan el horizonte superficial y los colores son más pardos.

Estos suelos se pueden asociar sobre todo en las áreas de contacto entre las diferentes terrazas con los suelos series Cudico y Fresia (IREN *et al.*, 1978). En el área precordillerana de la Costa, IREN-CORFO (1964) señala que se encuentra asociado a la Serie Cudico.

3.4 Antecedentes recogidos en terreno

Con el motivo de recopilar algunos antecedentes e información adicional no disponible en el predio, se efectuaron muestreos y análisis útiles para el estudio. Los análisis se realizaron en el laboratorio del Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos de la Universidad Austral de Chile.

3.4.1 Caracterización del suelo. A fin de realizar una caracterización del suelo, en el mes de mayo de 2004, se realizó una calicata en uno de los potreros sujetos a análisis.

La descripción de perfil obtenida del potrero 2 se muestra a continuación:

- | | |
|------------------------|---|
| 0 – 17 cm. | Pardo oscuro húmedo, 7,5 YR 3/2; franco; bloques subangulares finos y fuertes; friable, ligeramente plástico, adhesivo; raíces muy finas, finas y medias muy abundantes; materia orgánica; limite inferior claro lineal. |
| 17 – 30 cm. | Pardo rojizo oscuro en húmedo, 7,5 YR 3/3; franco arcillo limosa; estructura de bloques subangulares medios muy débiles; friable, ligeramente plástico y adhesivo; raíces finas, muy finas y medias abundantes; límite inferior claro lineal gradual. |
| 30 – 62 cm. | Pardo rojizo oscuro en húmedo, 5 YR 3/3; arcillo limosa; plástico, adhesivo y friable; estructura de bloques subangulares medios moderados; raíces finas, medias y gruesas escasas. Limite Claro lineal. |
| 62 – 100 cm.
y más. | Pardo oscuro a pardo intenso (7,5 YR 4/4 a 5/6); arcillo arenosa; bloques subangulares medios moderados; firme, plástico y muy adhesivo; raíces finas y medias escasas; restos de tobas volcánicas y concreciones. |

Además, en cada uno de los horizontes anteriormente descritos, se tomó una muestra de suelo, a la cual se le realizaron análisis químicos, cuyos resultados se detallan en el Cuadro 16.

CUADRO 16 Análisis químico en profundidad del perfil de suelo.

Profundidad (cm)	pH H ₂ O	pH CaCl ₂	P – Olsen (ppm)	S (ppm)	Al ex. (ppm)	M.O (%)
0 – 17	6,07	5,35	9,48	11,72	153,85	7,2
17 – 30	5,80	5,05	5,29	34,22	192,19	2,5
30 – 62	5,83	5,09	5,68	29,82	209,98	1,3
62 – 100	5,82	5,09	8,29	27,11	251,80	1,0

Al ex: Aluminio extractable. M.O: Materia orgánica.

De la misma manera, las muestras fueron sometidas a análisis físicos, para determinar densidad aparente, densidad real, capacidad de campo y punto de marchites permanente. Los valores se detallan en Cuadro 17.

CUADRO 17 Análisis físico en profundidad del perfil de suelo.

Profundidad (cm)	Dr (gr/cm ³)	Da (gr/cm ³)	C de C (%)	PMP (%)
0 – 17	2,45	1,03	44,24	27,77
17 – 30	2,52	1,00	50,83	40,76
30 – 62	2,54	1,02	55,11	45,06
62 – 100	2,60	0,96	58,95	49,93

Dr: Densidad real; Da: Densidad aparente; C de C: Capacidad de campo; PMP: Punto de marchites permanente.

La información antes mencionada es muy útil para la descripción del perfil del suelo en estudio. De acuerdo a lo anterior se logra apreciar que este suelo, si bien está clasificado como Serie La Unión, desde el punto de vista físico y edafológico presenta características que lo asemejan más a un Suelo Serie Cudico².

² MAC DONALD, R. (2004). Universidad Austral de Chile. Valdivia. Comunicación personal.

3.4.2 Análisis de purines. Para cuantificar los ingresos al sistema por aplicación de purines, se realizó un análisis químico, en agosto de 2005, a partir de una muestra obtenida del acumulador de purines del patio de alimentación.

CUADRO 18 Análisis químico de purines del predio.

Análisis	Porcentual	kg/ - g/t	Análisis
MO (%)	74,5	74,5	MO (%)
MS (%)	7,31	7,31	MS (%)
pH	8,12	8,12	pH
N (%)	2,40	1,75	N _{total} (kg/t)
P (%)	0,18	0,29	P ₂ O ₅ (kg/t)
K (%)	3,19	2,82	K ₂ O (kg/t)
Mg (%)	0,40	0,49	MgO (kg/t)
Ca (%)	2,05	1,50	Ca (kg/t)
Na (%)	0,24	0,18	Na (kg/t)
S (%)	0,38	0,28	S (kg/t)
Cl (%)	0,72	0,53	Cl (kg/t)
Fe (ppm)	800,57	585,22	Fe (g/t)
Cu (ppm)	22,83	16,69	Cu (g/t)
Zn (ppm)	82,89	60,59	Zn (g/t)
Mn (ppm)	87,81	64,19	Mn (g/t)
B (ppm)	15,0	10,97	B (g/t)

En el Cuadro 18 se pueden observar los resultados del análisis químico realizado al purín del predio y su equivalente en kg de nutriente por tonelada de purín aplicado a los potreros sometidos a este manejo.

3.5 Estimación del crecimiento de praderas

Para estimar el potencial de crecimiento y la productividad anual de las praderas sometidas a estudio en este trabajo, se utilizaron los resultados obtenidos por PINOCHET (1999) con el programa simulador de crecimiento PRADSIM, específicamente en el agroecosistema de San Pablo, por ser el más representativo del predio en estudio (Ver Cuadro 19).

CUADRO 19 Tasa de crecimiento en praderas del agroecosistema de San Pablo (productividad media).

Mes	EN	FB	MZ	AB	MY	JN	JL	AG	ST	OC	NV	DC	kg MS/ha/año
(kg MS/día)	22,8	10,2	13,0	19,1	25,7	9,5	10,2	24,6	45,8	67,1	72,1	47,4	11.022
(kg MS/mes)	684,0	306,1	390,1	573,6	769,7	284,3	305,8	737,3	1372,7	2012,1	2163,5	1422,6	

En la siguiente Figura se grafica la curva de crecimiento de las praderas en el agroecosistema mencionado, según PRADSIM.

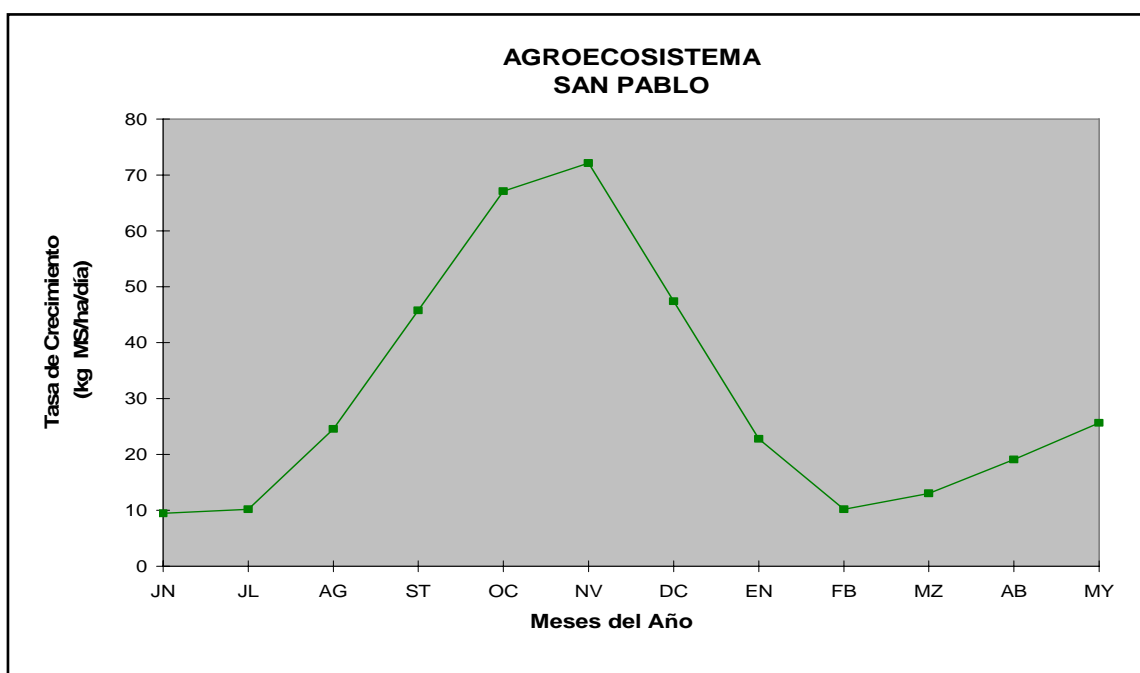


FIGURA 2 Curva de crecimiento agroecosistema de San Pablo.

Los resultados obtenidos por PRADSIM se compararon con los resultados reales obtenidos en el predio, a partir de mediciones realizadas en jaulas de exclusión, a fin de estimar con mayor exactitud el crecimiento real de las praderas en estudio.

Las mediciones se hicieron en el potrero 15 del predio, entre mayo del 2004 y mayo del 2005. Se utilizaron jaulas de exclusión con dimensiones de 0,5 x 2,0 m (1m²).

Los resultados de las mediciones efectuadas con los detalles de cada uno de los cortes y sus fechas, se muestran en el Cuadro 20.

CUADRO 20 Medición de producción de MS por el método con jaulas de exclusión.

Fecha	Días acumulados	Días Corte	Promedio diario kg/día	Acumulado kg/MS/ha/año
04/05/2004	0	0	-	-
21/06/2004	48	48	27,5	1.320
31/08/2004	119	71	25,9	3.159
18/10/2004	167	48	66,0	6.327
03/11/2004	182	15	143,9	8.485
18/11/2004	196	14	87,7	9.713
19/01/2005	257	61	52,8	12.934
07/03/2005	304	47	6,6	13.244
05/05/2005	365	61	1,8	13.354

3.6 Información base del predio para el cálculo del balance

La información, en su mayoría, fue recopilada de las bases de datos y los cuadernos de anotaciones de la administración del predio. La información utilizada cuenta con registros desde 1988 hasta la fecha. De estos registros, se obtuvieron las dosis aplicadas de fertilizantes y enmiendas, los análisis químicos de suelo y los principales aspectos de manejo agrícola, lechero y ganadero, como pastoreo, carga animal, producción lechera, conservación de forraje, y aplicación de purines. Una vez obtenida esta información, se procedió a ordenarla y traspasarla a planillas electrónicas, para su posterior utilización y análisis.

3.6.1 Dosis de fertilizantes y enmiendas aplicadas en el predio. Las dosis aplicadas desde 1988 hasta el 2004 fueron ingresadas a planillas electrónicas para su ordenamiento y análisis. El ordenamiento se realizó por potreros, detallándose cada año, la dosis aplicada (en kg de nutrientes por ha), la fecha de aplicación y el tipo de fertilizante y/o enmienda utilizado.

Por lo general, el predio es manejado con fertilizaciones anuales de mantención, que dependiendo de los resultados de los análisis químicos de suelo, si es necesario, se aplican dosis de corrección.

3.6.2 Análisis químico de suelo. Los resultados de los análisis químicos realizados desde el año 1989 hasta el 2005, se ordenaron en planillas electrónicas por potrero, tipo de análisis (elemento) y por año. Además se señala la profundidad de muestreo y el laboratorio que realizó el análisis en cada uno de los años.

3.6.3 Manejo del predio. El manejo a nivel predial y sus detalles, son muy importantes para la cuantificación de los balances de nutrientes en el sistema lechero.

3.6.3.1 Pastoreo. El predio es manejado en su totalidad bajo pastoreo de vacas lecheras, con cerco eléctrico, sobre praderas de alta fertilidad, dominadas por ballicas perennes con producciones entre 12 a 13 ton MS/ha/año, de las cuales 3 a 4 ton MS/ha/año son conservadas como ensilaje para suministrarlo en la épocas desfavorables y de invierno, como alimento suplementario. La carga animal promedio es de 2 animales (vacas lecheras) por ha., con una eficiencia de utilización de praderas estimada del 80%.

3.6.3.2 Lechería. Las vacas, en su totalidad son de raza lechera, principalmente Holstein Friesian, sometidas a un manejo relativamente constante desde julio

del año 1993, fecha en que comenzó el funcionamiento de la nueva sala de ordeña tipo espina de pescado, doble 10 de línea baja. En un principio, esta lechería se inicio con un plantel de 130 vacas masa, aumentando hasta la fecha, año 2004, a 258 vacas masa.

Las vacas lecheras, que por lo general, en promedio, son el 85% de las vacas masa, son ordeñadas 2 veces al día; en la mañana desde las 04:30 hrs. y en la tarde desde las 15:30 hrs. aproximadamente. El promedio de producción por vaca es de 6.371 litros de leche al año, lo que equivale a 788.2 kg de leche al año, considerando un 12 % de MS (ANRIQUE *et al.*, 1995) y un peso específico a 20°C de 1.031 (MINISTERIO DE SALUD, 1998).

Del total de vacas masa, el 87% son fértiles, de estas nacen, con un 7% de mortalidad, 50% machos y 50% hembras, c/u con 38 kg de peso promedio. El peso promedio de las vacas es de 545 kg.

En el Cuadro 21 se muestra la producción de leche y cantidad de vacas en el plantel lechero desde el año 1994 hasta el 2003.

CUADRO 21 Producción de leche a nivel predial y plantel lechero.

Año	Total leche (miles L)	Vacas Masa	vacas leche	L/leche vaca/año	kg MS/leche vaca/año
1994	678,1	130	109	6.209,7	768,3
1995	857,8	160	134	6.382,4	789,6
1996	1.098,8	201	169	6.507,9	805,2
1997	1.015,8	198	166	6.107,5	755,6
1998	1.053,8	214	180	5.862,3	725,3
1999	1.386,0	251	211	6.573,7	813,3
2000	1.397,4	248	208	6.707,9	829,9
2001	1.445,8	257	218	6.618,4	818,8
2002	1.480,7	259	220	6.725,9	832,1
2003	1.316,0	256	215	6.119,8	757,1
2004	1.356,9	258	217	6.261,1	774,6
\bar{x}	1.189,7	221	186	6.370,6	788,2

En el Cuadro 22 se detalla el manejo y rotación realizado en el plantel de la lechería durante los respectivos años, además de la exportación de carne realizada en el predio.

CUADRO 22 Carne exportada de acuerdo al manejo y rotación del plantel lechero.

Año	Terneros nacidos		vacas muertas	vacas eliminadas	vaquillas ingresadas	vaquillas venta	kg/ha carne exportada
	Machos	Hembras					
1994	49	49	7	12	49	0	71
1995	60	60	8	11	60	0	74
1996	75	75	10	40	47	28	260
1997	74	74	10	40	66	9	201
1998	80	80	11	32	80	0	157
1999	94	94	13	58	67	27	325
2000	93	93	12	57	78	14	286
2001	96	96	13	59	74	22	318
2002	97	97	13	60	70	27	335
2003	96	96	13	59	74	22	316
2004	97	97	13	59	72	24	325
\bar{x}	83	83	11	44	67	16	242

3.6.3.3 Cría de terneros y terneras. Una vez nacidos, aproximadamente al cuarto día, los terneros(as) son llevados a terneras de crianza, donde se les suplementa leche, concentrado y forraje para su normal alimentación y crecimiento. A los 75 días aproximadamente, tanto los machos y hembras salen a pastoreo en las praderas del sistema lechero no incluidas en el cálculo de balance de nutrientes de este estudio (potrero 11 y 15), como se detalla en el capítulo 3.6.4. A los 120 días, son llevados a las praderas del sistema ganadero (arriendo) en donde se termina el proceso de cría y engorda, especialmente en el caso de los machos.

3.6.3.4 Vaquillas. Las vaquillas son engordadas en el sistema ganadero con pastoreo en praderas. Justo antes de su primer celo, un porcentaje considerable de las vaquillas vuelve al sistema lechero para ser inseminadas,

de acuerdo a la cantidad de vacas que se deban reemplazar y en algunos años, de acuerdo también, a la cantidad de vacas que se desee aumentar en el plantel total. Las vaquillas que no queden cubiertas, no se inseminen, no cumplan con el perfil genético del plantel o presenten algún tipo de problema, se terminan de engordar en el sistema ganadero, para ser vendidas con 450 kg de peso aproximadamente. El detalle en cada uno de los años se muestra en el Cuadro 22.

3.6.3.5 Patio de Alimentación. El predio también cuenta con un patio de alimentación, contiguo a la lechería, en donde se estabulan las vacas después de ser ordeñadas en la tarde, por alrededor de 10 a 12 hrs. promedio, tiempo que varía dependiendo de la estación del año y condiciones especiales.

CUADRO 23 Consumo de alimento promedio por vaca lactante (kg MS/vaca/día) (estimación promedio del productor).

Mes	Soiling		Ensilaje pradera	Pastoreo pradera	Melazan	Mezcla Mineral	Paja Trigo	Óxido de Mg	CONSUMO TOTAL
	Alfalfa	Pradera							
Enero	7,4	-	-	8,7	0,58	0,10	-	-	16,8
Febrero	6,3	-	6,3	2,9	0,56	0,09	-	-	16,2
Marzo	3,8	-	10,3	1,8	0,55	0,09	-	-	16,5
Abril	2,2	-	6,7	7,1	0,52	0,09	-	-	16,6
Mayo	0,5	-	5,5	10,0	0,52	0,09	-	-	16,6
Junio	-	-	5,5	10,4	0,52	0,08	-	-	16,5
Julio	-	-	9,5	6,4	0,51	0,10	-	-	16,5
Agosto	-	-	7,9	8,0	0,51	0,10	-	-	16,5
Septiembre	-	-	6,1	9,8	0,50	0,10	-	0,01	16,5
Octubre	0,4	-	4,3	10,9	0,22	0,10	0,46	-	16,4
Noviembre	1,0	0,94	0,7	13,3	-	0,10	0,46	0,02	16,5
Diciembre	2,3	0,94	-	113,2	-	-	-	0,02	16,5
Promedio									16,5

Aquí se les suplementa alimento durante todo el año, lo que sumado al pastoreo en la pradera, en promedio alcanza 16.5 kg de MS/vaca/día. En el Cuadro 23 se especifica el consumo promedio por mes en kg MS/vaca/día de cada uno de los alimentos ingeridos por el plantel lechero. Es importante

destacar que el consumo de alimento señalado anteriormente, es considerado promedio en los 12 años del estudio (1993-2004).

3.6.3.6 Manejo de purines. En el patio de alimentación queda un gran porcentaje de las fecas y orinas producidas en la estabulación de las vacas. Estos desechos son limpiados por un sistema de arrastre, que ayudado con la leve pendiente de la loza del patio de alimentación, lleva los purines a un pequeño acumulador. Finalmente, estos son vaciados por gravedad a un camión tanque y distribuidos en los potreros pastoreados días anteriores, por un sistema de riego adaptado en el camión. Al día, no importando la estación del año, se realizan en promedio 2 aplicaciones de 4 t cada una, lo que da un total de 730 aplicaciones, es decir, cada ha de terreno recibe 4,3 aplicaciones de purín fresco al año, equivalente a 17,3 t/ha/año. El detalle del cálculo se muestra a continuación:

- ✓ 2 aplicaciones diarias x 365 días = 730 aplicaciones al año.
- ✓ 730 aplicaciones al año / 169 ha = 4,3 aplicaciones por ha al año.
- ✓ 4,3 aplicaciones/ha/año x 4 t cada aplicación = 17,3 t/ha/año.
- ✓ Asumiendo un 8% de pérdida, la aplicación final es de 16 t/ha/año.

Las aplicaciones de purines se consideran homogéneas en todos los potreros y años de estudio.

3.6.4 Selección y distribución de potreros. Del total de potreros del predio, se escogieron los que poseían mayor historial de manejo e información para el estudio. De esta manera se seleccionaron 12 potreros, cada uno con un número asignado, de acuerdo a la distribución y ordenamiento en el mismo predio. Para tener una mayor representatividad de los datos recogidos, se ordenaron los potreros por lote según similitud en su manejo, cercanía, y análisis de suelo iniciales, quedando finalmente 4 lotes de 3 potreros cada uno (ver Cuadro 24).

En la selección se excluyó el potrero N° 11 por falta de información y el potrero N° 15 por estar fuera de los rangos promedios de los análisis de suelo del resto de los potreros. Además, ambos potreros presentan un manejo distinto, ya que en ellos pastorean los terneros(as) de crianza, los cuales tienen un régimen alimenticio distinto a las vacas, no considerado en el balance de nutrientes del sistema lechero estudiado. También, es importante considerar que en estos potreros por lo general se realizan ensayos y calibraciones de las máquinas de siembra y fertilización, y en algunas ocasiones se utilizaron como enfermería y potreros de cuidado animal.

CUADRO 24 Superficie de los potreros en estudio y su distribución en lotes.

LOTE 1		LOTE 2		LOTE 3		LOTE 4	
Nº Potrero	Superficie (ha)	Nº potrero	Superficie (ha)	Nº potrero	Superficie (ha)	Nº Potrero	Superficie (ha)
13	4	19 A	18	2	18,5	6	12
17	9,5	19 B	20	4	12	8	21,5
23	6	25	8	10	19,5	12	20
Total	19,5	Total	46	Total	50	Total	53,5
Superficie total en estudio :				169	ha.		

En definitiva, de las 302 ha totales con que cuenta el predio, sólo se utilizarán en este estudio 169 ha destinadas en su totalidad al sistema lechero. Los detalles, la ubicación y distribución de los potreros se pueden apreciar con claridad en la Figura 3.

3.7 Análisis estadístico

Se realizaron análisis de regresión lineal y no lineal para describir las funciones que mejor se ajustan a las curvas de variación de la disponibilidad de nutrientes en los lotes de potreros sometidos a estudio durante los años. Para ello se utilizó el programa Graph Pad Prism v 4.0

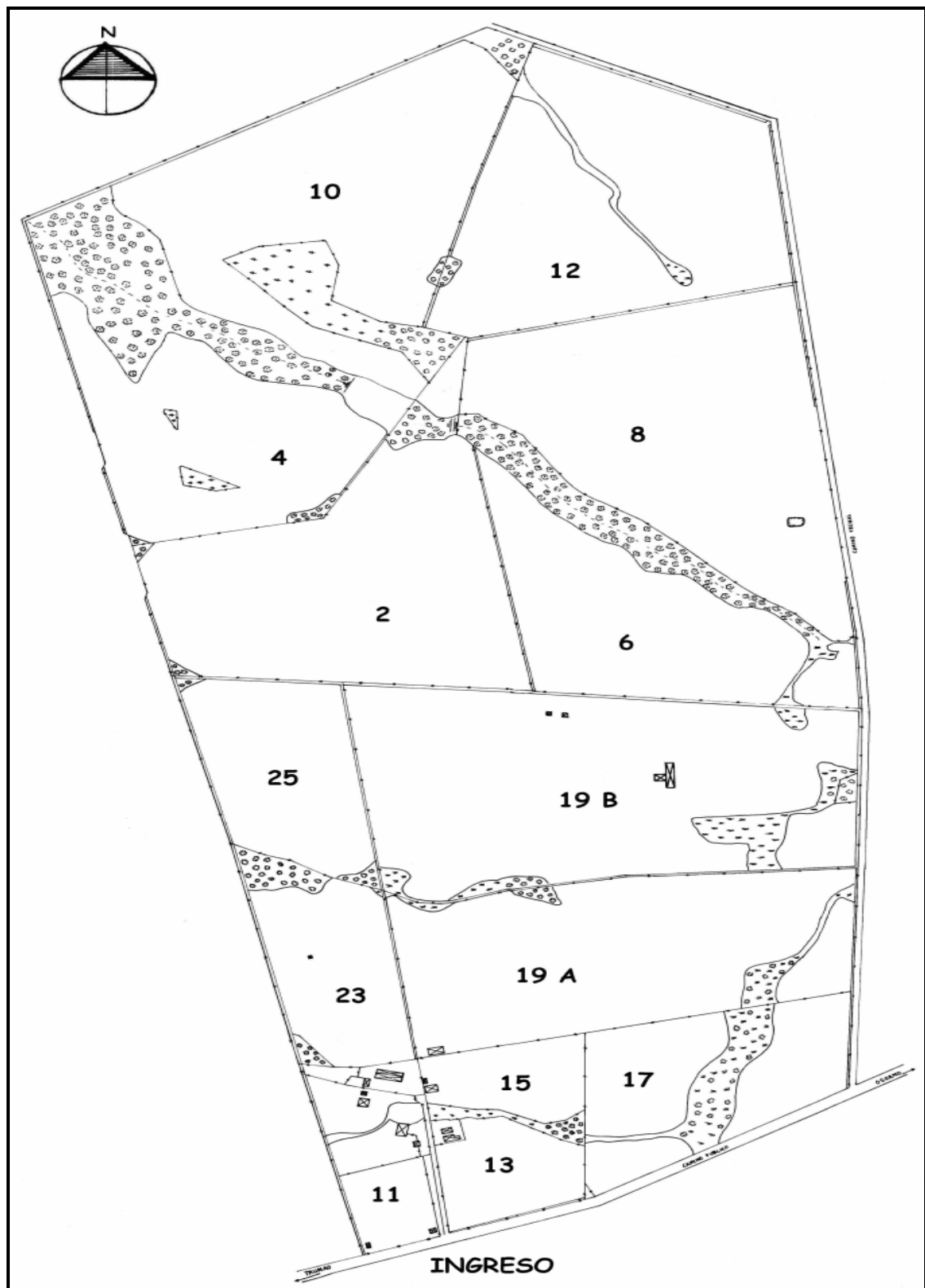


FIGURA 3 Plano general de distribución de potreros del predio.

4. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Producción de materia seca y consumo animal

La producción de materia seca para las praderas del predio en estudio, fue estimada a través del programa simulador de crecimiento PRADSIM (agroecosistema de San Pablo), mostrada en el Cuadro 19, y a las mediciones realizadas con el método de jaulas de exclusión en el mismo predio, detalladas en el Cuadro 20. De acuerdo a esto, se obtuvieron 2 resultados, las 11 t MS/ha/año estimadas con PRADSIM y las 13,4 t MS/ha/año medidas en las jaulas de exclusión. Considerando que el primer valor es una estimación realizada por un simulador matemático y que el segundo valor es una medición realizada en un potrero (el 15) que presenta rangos promedios en los análisis químicos de suelo un poco más elevados que el resto de los potreros incluidos en el estudio, no se puede optar por ninguno de los dos valores. Un promedio podría ser más representativo, pero con los antecedentes recogidos en terreno, se llegó a una estimación de producción final anual promedio de 12,5 t MS/ha, ya que se ajusta muy bien a la realidad del predio.

Estimada la producción total de la pradera, y para calcular el consumo animal desde esta fuente, es necesario considerar la eficiencia de utilización de la pradera, que en este caso es de 80%, valor asignado al sistema de pastoreo del predio en estudio. Así, de la producción anual promedio de la pradera, sólo ese porcentaje es consumido por los animales, por lo tanto, de las 12,5 t MS/ha/año producidas, 10 t MS/ha/año son consumidas por el plantel lechero y 2,5 t MS/ha/año no son consumidas reciclándose y volviendo al sistema.

La eficiencia de utilización asignada al sistema concuerda con los valores citados por SCOBIE (1985), quién señala que en praderas con buen manejo de pastoreo la eficiencia de utilización puede llegar a 90%. Por su parte BALOCCHI *et al.* (2002), señala como rango habitual promedio en praderas del sur de Chile, eficiencias que van desde un 50 a un 80%, dependiendo del manejo de pastoreo.

La estimación en la producción final de 12.500 kg MS/ha/año y de 10.000 kg MS/ha/año en el consumo final promedio coincide con lo estimado por el productor al elaborar las raciones alimenticias del plantel y con los datos recogidos desde el predio. Como se puede apreciar en el Cuadro 23, el consumo promedio diario por vaca lactante alcanza los 16,5 kg de MS, incluyendo alimentos suplementarios. Si sólo se considera el alimento proveniente de la pradera (Ensilaje, soiling y pastoreo, ver Cuadro 25), el consumo promedio anual por vaca lactante llega a 5.015 kg de MS, equivalente a 10.030 kg MS/ha/año al considerar la carga animal de 2 vacas/ha. Es decir, los valores teóricos estimados en base a estudios y publicaciones, se ajustan con los valores estimados y medidos en terreno.

El detalle del consumo animal en kg de MS al año, para cada uno de los alimentos proporcionados, se muestra en el Cuadro 25.

En el Cuadro 26 se muestra la cantidad promedio de nutrientes en la MS producida en el año, calculada con las 12,5 T MS/ha/año producidas en el predio y con la concentración promedio ponderado de nutrientes en ballicas perennes, como indican los estudios realizados por HERNÁNDEZ (2002) y WHITEHEAD (2000) señalados en el Cuadro 1. Además se muestra la cantidad de nutrientes consumida en pastoreo, ensilaje y soiling, calculada en base a las 10 T MS/ha/año consumidas; y la cantidad de nutrientes no consumidos,

calculados en base a las 2,5 T MS/ha/año no recolectadas por el pastoreo, al considerar un 80% de eficiencia de utilización de las praderas.

CUADRO 25 Consumo promedio de materia seca en la alimentación de plantel lechero (estimación del productor).

CONSUMO	Soiling		Ensilaje pradera	Pastoreo Pradera	Melazan	Mezcla Minerales	Paja Trigo	Óxido de Mg	CONSUMO TOTAL
	Alfalfa	Pradera							
kg MS/vaca/año	715,8	56,4	1.884,0	3.075,0	149,5	31,2	27,6	1,5	5.941
kg MS/ha/año	1.431,6	112,8	3.768,0	6.150,0	298,9	62,4	55,2	3,0	11.882
Pradera kg MS/ha/año	-	112,8	3.768,0	6.150,0	-	-	-	-	10.030
Suplemento kg MS/ha/año	1.431,6	-	-	-	298,9	62,4	55,2	3,0	1.851

CUADRO 26 Concentración promedio de nutrientes en la pradera, producción promedio de nutrientes en materia seca producida, materia seca consumida y no consumida por el plantel lechero (80 % eficiencia de utilización).

Nutriente	Concentración promedio	Nutriente	Producción MS Ntes/ha/año	Consumo animal Ntes/ha/año	No consumido Ntes/ha/año
N (%)	2,73	N (kg)	341,77	273,42	68,35
P (%)	0,25	P (kg)	31,56	25,25	6,31
K (%)	3,14	K (kg)	391,88	313,50	78,38
Ca (%)	0,50	Ca (kg)	63,02	50,42	12,60
Mg (%)	0,18	Mg (kg)	21,98	17,58	4,40
S (%)	0,24	S (kg)	29,69	23,75	5,94
Na (%)	0,23	Na (kg)	28,75	23,00	5,75
Cl (%)	1,35	Cl (kg)	168,75	135,00	33,75
Fe (ppm)	265	Fe (g)	3.312,50	2.650,00	662,50
Cu (ppm)	9,67	Cu (g)	120,83	96,67	24,17
Zn (ppm)	25,75	Zn (g)	321,88	257,50	64,38
Mn (ppm)	65,75	Mn (g)	821,88	657,50	164,38
B (ppm)	5,33	B (g)	66,67	53,33	13,33
Co (ppm)	0,12	Co (g)	1,50	1,20	0,30
Mo (ppm)	0,47	Mo (g)	5,88	4,70	1,18

La producción de MS es un valor fijo promedio anual, en cambio el consumo y no consumo de MS, varía si la eficiencia de utilización es modificada. Una mayor eficiencia implicaría una mayor cantidad de MS consumida y por ende una menor cantidad de MS sobrante en la pradera.

Es importante señalar, que el consumo animal no solamente esta dado por alimentos provenientes de las praderas, además el rebaño lechero consume alimentos suplementarios que le permiten mantener y aumentar su nivel productivo. La cuantificación de los nutrientes aportados en la alimentación suplementaria es detallada en el capítulo de ingreso de nutrientes.

4.2 Ingreso de nutrientes al sistema lechero analizado

Los ingresos de nutrientes hacia el sistema lechero estudiado, se cuantificaron considerando todas las entradas de nutrientes atribuibles al manejo predial. Las entradas se expresan en kg y g de nutriente por hectárea al año para el caso de macronutrientes y micronutrientes respectivamente.

4.2.1 Aplicación de fertilizantes y enmiendas. Los nutrientes ingresados en fertilizaciones y enmiendas son los más importantes del sistema, por las cantidades aplicadas.

Los fertilizantes y enmiendas utilizados en el sistema lechero estudiado, la forma química en que se presentan y la concentración de nutrientes aportada, se exponen en el Cuadro 27.

CUADRO 27 Concentración de nutrientes en fertilizantes y enmiendas utilizados en el predio.

Fertilizantes	Concentración de Nutrientes (%)								
	Principal	CaO	MgO	S	K ₂ O	P ₂ O ₅	N	Cl	Na
Nitrogenados	N								
Salitre Magnésico	15		5,5						23
Salitre Sódico	16								27
Hidrosulfán	24	11,6	1,3	5,6					
Supernitro Mg	25		4						18
Supernitro	25				0,4				18,5
Supernitro 21	21								15,5
Supernitro 30	30								14
Nitrodoble	27	6	4						
Nitromag	27	7	5						
Nitramagnésico	27	6	4						
Nitrato de Ca	15,5	34							
Urea	46								
Fosfatados	P₂O₅								
Superfosfato Triple	46	20							
Fosfato Monoamónico	50						10		
Fosfato diamónico	46						18		
Bifox, Roca fosfórica	18					4,8 ^(*)			
Potásicos	K₂O								
Muriato de Potasio	60							47	
Otros Macronutrientes									
Dolomita		36	18						
Fertiyeso		32		18					
Cal Terra		50	4						
Magnecal		36	18						

(*) Soluble en ácido cítrico.

FUENTE: Adaptado de PINOCHET (2001).

Utilizando los valores señalados en el Cuadro 27, junto a los kg de fertilizantes aplicados por ha, se calculó la cantidad de nutrientes ingresados en cada uno de los años sometidos a estudio.

En los Cuadros 28, 29, 30 y 31 se detallan los aportes de nutrientes a partir de las aplicaciones de fertilizantes y enmiendas realizadas en cada lote de potreros respectivamente.

CUADRO 28 Nutrientes ingresados (kg/ha/año) por fertilización en lote 1.

Año	N	P	K	Ca	Mg	S	Na	Cl
1993	134,1	-	-	275,0	115,3	17,0	-	-
1994	176,7	-	-	-	7,1	138,6	-	-
1995	174,4	-	-	85,4	30,8	176,2	32,7	-
1996	177,4	-	-	-	-	165,5	-	-
1997	157,7	-	-	15,1	8,8	93,0	-	-
1998	109,6	-	-	375,7	25,7	94,5	12,5	-
1999	131,6	-	-	58,8	3,2	8,1	22,9	-
2000	209,0	-	-	55,5	1,0	173,3	9,5	-
2001	210,8	-	-	125,0	-	190,9	99,0	-
2002	198,8	-	-	126,2	-	154,5	99,4	-
2003	184,2	-	-	6,9	3,8	123,8	-	-
2004	127,6	-	-	218,9	2,0	-	171,0	-
Suma	1991,7	0,0	0,0	1342,5	197,6	1335,3	447,0	0,0

(-) No se realizaron fertilizaciones.

CUADRO 29 Nutrientes ingresados (kg/ha/año) por fertilización en lote 2.

Año	N	P	K	Ca	Mg	S	Na	Cl
1993	182,4	-	-	318,4	133,5	-	32,7	-
1994	200,4	-	-	-	4,5	-	190,1	-
1995	151,9	-	-	89,5	13,8	70,5	159,0	-
1996	156,8	-	-	-	-	-	165,2	-
1997	177,3	-	-	17,8	10,3	-	104,3	-
1998	97,7	-	-	372,2	26,0	10,2	91,1	-
1999	249,5	-	-	119,7	6,6	47,3	6,9	-
2000	220,9	-	-	39,8	1,0	5,0	155,1	-
2001	245,3	-	-	123,8	0,7	98,0	212,4	-
2002	213,3	26,8	-	57,1	-	30,0	179,0	-
2003	156,7	-	-	6,9	3,8	-	77,3	-
2004	127,6	-	-	220,7	2,0	171,0	-	-
Suma	2179,7	26,8	0,0	1366,0	202,1	432,0	1373,0	0,0

(-) No se realizaron fertilizaciones.

CUADRO 30 Nutrientes ingresados (kg/ha/año) por fertilización en lote 3.

Año	N	P	K	Ca	Mg	S	Na	Cl
1993	200,0	-	-	267,5	112,1	-	10,5	-
1994	161,5	-	-	-	5,7	-	147,4	-
1995	162,7	-	-	95,2	13,7	75,0	159,9	-
1996	192,6	-	-	-	-	-	189,5	-
1997	169,2	-	-	17,2	9,8	-	89,2	-
1998	96,4	-	-	372,4	25,4	10,3	88,1	-
1999	212,0	-	-	88,1	5,2	37,4	14,5	-
2000	262,4	-	-	53,6	2,8	7,7	180,3	-
2001	241,6	-	-	123,8	2,7	68,0	212,4	-
2002	211,7	40,2	-	145,0	-	91,7	166,0	-
2003	133,7	-	-	6,9	3,8	-	63,6	-
2004	127,6	-	-	220,7	2,0	171,0	-	-
Suma	2171,3	40,2	0,0	1390,3	183,2	461,0	1321,4	0,0

(-) No se realizaron fertilizaciones.

CUADRO 31 Nutrientes ingresados (kg/ha/año) por fertilización en lote 4.

Año	N	P	K	Ca	Mg	S	Na	Cl
1993	118,7	-	-	300,3	125,9	-	4,8	-
1994	213,1	-	-	-	12,7	-	175,4	-
1995	184,1	-	-	93,1	16,6	73,3	170,5	-
1996	188,2	-	-	-	-	-	188,5	-
1997	179,6	-	-	18,0	10,6	-	101,1	-
1998	88,4	-	-	370,0	25,2	8,7	86,4	-
1999	254,7	-	-	141,1	6,3	45,0	6,6	-
2000	234,2	-	-	41,4	4,6	9,2	148,3	-
2001	275,1	-	-	128,6	3,6	102,0	249,4	-
2002	230,1	40,2	-	144,8	-	91,5	180,4	-
2003	131,1	-	-	6,9	3,8	-	58,5	-
2004	127,6	-	-	220,7	2,0	171,0	-	-
Suma	2224,9	40,2	0,0	1464,8	211,2	500,7	1369,9	0,0

(-) No se realizaron fertilizaciones.

Los valores mencionados en los Cuadros anteriores, se calcularon en base al promedio de las fertilizaciones de cada uno de los potreros incluidos en los respectivos lotes ya anteriormente detallados en el Cuadro 24. Importante es destacar que en este punto y de acuerdo al manejo realizado en el predio, ingresan al sistema sólo macronutrientes.

4.2.2 Aplicación de purines. El ingreso de nutrientes por aplicación de purines es otro factor a considerar en el balance de nutrientes. Para cuantificarlo se utilizó la concentración promedio de los purines, detallada en el Cuadro 18, y la cantidad de producto aplicado en terreno, 16 ton/ha/año de purín fresco que equivale a 1.168 kg/ha/año de purín seco, considerando el 7,31% de M.S del análisis.

Las cantidades de nutrientes indicadas en el Cuadro 33, representan el promedio de los nutrientes aplicados en forma anual en cada uno de los lotes de potreros del estudio.

4.2.3 Alimentación suplementaria. Al incorporar alimentos suplementarios a la dieta alimenticia animal, se añaden nutrientes al sistema. La entrada de estos nutrientes se calcula considerando la cantidad de nutrientes y la concentración de estos en el alimento suplementado. El tipo de alimento suplementario y su concentración promedio, según autores, se especifica en Cuadro 32.

CUADRO 32 Concentración promedio de nutrientes en alimentos suplementarios.

Nutriente	Soiling de alfalfa ¹	Melazan ²	Mezclas minerales ³	Paja de trigo ²	Óxido de MgO ²
N (%)	2,94	-	-	-	-
P (%)	0,26	0,04	8,42	0,02	-
K (%)	1,65	3,76	0,003	-	-
Ca (%)	1,82	0,50	11,84	0,42	-
Mg (%)	0,15	0,05	9,22	-	54,90
S (%)	0,27	-	0,21	-	-
Na (%)	0,06	-	13,65	-	-
Cl (%)	0,60	-	0,0004	-	-
Fe (ppm)	108	-	-	-	-
Cu (ppm)	7,00	-	2.000	-	-
Zn (ppm)	24,00	-	4.982	-	-
Mn (ppm)	42,0	-	-	-	-
B (ppm)	38,0	-	-	-	-
Co (ppm)	0,16	-	-	-	-
Mo (ppm)	0,18	-	-	-	-

¹WHITEHEAD (2000); ²ANRIQUE *et al.* (1995); ³Sales minerales (ANEXO 24).

En el Cuadro 33 se muestran las cantidades de nutrientes que entran anualmente en promedio al sistema lechero por la inclusión de alimentos suplementarios en la dieta del plantel lechero y por la aplicación de purines como abono a las praderas.

CUADRO 33 Nutrientes ingresados (kg y g/ha/año) por alimentos suplementarios y aplicación de purines.

Nutriente	Alimento Suplementario	Aplicación de purines
N (kg)	42,09	28,07
P (kg)	9,10	2,06
K (kg)	34,86	37,31
Ca (kg)	35,17	23,93
Mg (kg)	9,70	4,68
S (kg)	4,00	4,44
Na (kg)	9,38	2,84
Cl (kg)	8,59	8,47
Fe (g)	154,61	9.364
Cu (g)	1258,02	267
Zn (g)	3143,13	969
Mn (g)	60,13	1.027
B (g)	54,40	175
Co (g)	0,23	-
Mo (g)	0,26	-

4.3 Consumo total de nutrientes del plantel lechero

Una vez obtenidos los nutrientes ingresados por alimentos suplementarios es posible calcular el consumo total de nutrientes por parte del rebaño lechero. Para calcularlo, se suma a los nutrientes consumidos por el animal en pastoreo, ensilaje y soiling, los nutrientes ingresados en alimentación suplementaria indicados en el Cuadro 33.

El consumo total del plantel lechero, considera el 80% de eficiencia de utilización de las praderas y todos los suplementos alimenticios proporcionados en cada una de las raciones (Cuadro 23 y 32).

CUADRO 34 Consumo de nutrientes desde pradera, desde alimentos suplementarios y consumo total de nutrientes.

Nutriente	Consumo pradera Ntes/ha/año	Consumo suplementario Ntes/ha/año	Consumo total Ntes/ha/año
N (kg)	273,42	42,09	315,51
P (kg)	25,25	9,10	34,35
K (kg)	313,50	34,86	348,36
Ca (kg)	50,42	35,17	85,58
Mg (kg)	17,58	9,70	27,28
S (kg)	23,75	4,00	27,75
Na (kg)	23,00	9,38	32,38
Cl (kg)	135	8,59	143,59
Fe (g)	2.650	154,61	2804,61
Cu (g)	96,67	1258,02	1354,69
Zn (g)	257,50	3143,13	3400,63
Mn (g)	657,50	60,13	717,63
B (g)	53,33	54,40	107,73
Co (g)	1,20	0,23	1,43
Mo (g)	4,70	0,26	4,96

Es importante este capítulo del cálculo del consumo total de nutrientes a partir del consumo en pradera y en alimentos suplementarios, ya que son necesarios en cálculo de los nutrientes transferidos (egreso de nutrientes) y de los nutrientes reciclados.

4.4 Egreso de nutrientes del sistema lechero analizado

Para la cuantificación de los egresos de nutrientes desde el sistema lechero estudiado, se consideraron todas las salidas de nutrientes atribuibles al manejo a nivel predial. Al igual que en los ingresos, las salidas se expresan en kg y g de nutriente por hectárea al año para el caso de macronutrientes y micronutrientes respectivamente.

4.4.1 Exportación en leche. La salida de nutrientes por concepto de producción de leche, es sin duda, una de las extracciones más significativas del

sistema, y depende, principalmente, de la cantidad de leche producida y de la concentración de nutrientes que ésta presenta (WHITEHEAD, 2000).

Considerando una carga animal de 2 vacas/ha, una producción promedio de 1576 kg de leche/ha/año y la concentración promedio de nutrientes en la leche del ganado lechero, indicada en el Cuadro 6 por WHITEHEAD (2000), se calcularon los valores de exportación de nutrientes del sistema por este concepto.

CUADRO 35 Producción predial promedio de leche y carne.

Año	Leche (MS) kg/ha/año	Carne (Peso Vivo) kg/ha/año
1994	1537	-
1995	1579	-
1996	1610	260
1997	1511	201
1998	1451	157
1999	1627	325
2000	1660	286
2001	1638	318
2002	1664	335
2003	1514	316
2004	1549	325
Promedio (\bar{x})	1576	242
d.e	± 66,32	± 60,46

El detalle se puede apreciar en el Cuadro 36, donde se cita un ejemplo del cálculo de exportación de nutrientes en leche, específicamente en S.

En el Cuadro 37, se observa la cantidad respectiva de nutrientes por hectárea que salen exportados al año en leche, la cual es directamente proporcional a la concentración promedio de nutrientes en la leche y el nivel de producción.

CUADRO 36 Ejemplo del cálculo de exportación de S en leche.

Concentración de S en la leche:	0,3	g/l
Materia seca en la leche:	12	%
Producción de leche:	1576	kg/ha/año
Exportación de S:		
	$0,3 / 0,12 =$	2,5 g de S/kg
	$7,92 \times 1576 / 1000 =$	3,94 kg de S/ha/año

CUADRO 37 Concentración promedio y exportación promedio anual de nutrientes en leche.

Nutriente	Concentración promedio	Exportación anual en leche	Nutriente
N (g l ⁻¹)	5,45	71,6	N (kg/ha)
P (g l ⁻¹)	0,95	12,5	P (kg/ha)
K (g l ⁻¹)	1,5	19,7	K (kg/ha)
Ca (g l ⁻¹)	1,15	15,1	Ca (kg/ha)
Mg (g l ⁻¹)	0,15	2,0	Mg (kg/ha)
S (g l ⁻¹)	0,3	3,9	S (kg/ha)
Na (g l ⁻¹)	0,5	6,6	Na (kg/ha)
Cl (g l ⁻¹)	1,1	14,4	Cl (kg/ha)
Fe (mg l ⁻¹)	0,4	5,3	Fe (g/ha)
Cu (mg l ⁻¹)	0,14	1,8	Cu (g/ha)
Zn (mg l ⁻¹)	4,0	52,5	Zn (g/ha)
Mn (mg l ⁻¹)	0,03	0,4	Mn (g/ha)
B (mg l ⁻¹)	0,65	8,5	B (g/ha)
Co (mg l ⁻¹)	0,00065	0,009	Co (g/ha)
Mo (mg l ⁻¹)	0,0825	1,1	Mo (g/ha)
I (mg l ⁻¹)	0,2025	2,7	I (g/ha)
Se (mg l ⁻¹)	0,02	0,3	Se (g/ha)

4.4.2 Exportación en carne. La exportación de nutrientes debido a la producción de carne en este sistema lechero, no es tan significativa como en el caso de la leche. Depende de la cantidad de carne producida y su concentración en el tejido corporal animal (WHITEHEAD, 2000).

Considerando la concentración promedio de nutrientes en el tejido corporal de vacunos, señalada por WHITEHEAD (2000) en el Cuadro 7, la superficie total del predio (169 ha), y la cantidad de carne promedio exportada (242 kg/ha/año), mostrada en el Cuadro 22, se calculó el total de nutrientes que salen del sistema en carne. El peso vivo corporal promedio utilizado fue de 38 kg para los terneros(as) recién nacidos, 450 kg para las vaquillas vendidas y 545 kg para las vacas en general (muertas y de desecho). En el Cuadro 38 se muestra un ejemplo de cálculo para cuantificar la exportación de S en la carne.

CUADRO 38 Ejemplo del cálculo de exportación de S en carne.

Concentración de S en la carne:	0,15 %
Producción de carne:	242 kg/ha/año
Exportación de S:	$(0,15 \times 242) / 100 = \mathbf{0,36}$ kg de S/ha/año

CUADRO 39 Concentración promedio y exportación promedio anual de nutrientes en carne.

Nutriente	Concentración promedio	Exportación anual en carne	Nutriente
N (%)	2,75	6,67	N (kg/ha)
P (%)	0,83	2,02	P (kg/ha)
K (%)	0,19	0,46	K (kg/ha)
Ca (%)	1,37	3,31	Ca (kg/ha)
Mg (%)	0,05	0,11	Mg (kg/ha)
S (%)	0,15	0,36	S (kg/ha)
Na (%)	0,15	0,36	Na (kg/ha)
Cl (%)	0,10	0,25	Cl (kg/ha)
Fe (mg kg⁻¹)	43,33	10,51	Fe (g/ha)
Cu (mg kg⁻¹)	3,07	0,74	Cu (g/ha)
Zn (mg kg⁻¹)	26,33	6,39	Zn (g/ha)
Mn (mg kg⁻¹)	0,33	0,08	Mn (g/ha)
Co (mg kg⁻¹)	0,06	0,015	Co (g/ha)
Mo (mg kg⁻¹)	1,04	0,25	Mo (g/ha)
I (mg kg⁻¹)	0,38	0,09	I (g/ha)
Se (mg kg⁻¹)	1,23	0,30	Se (g/ha)

Se aprecia en el Cuadro 39, que la cantidad de nutrientes que salen en la carne es menor que en el caso de la leche, pero es igualmente significativa en términos de balance nutricional. Destacan por presentar valores más altos, comparados con la exportación en leche, el Fe, Cu y Se.

4.4.3 Pérdidas por transferencia. La tasa de transferencia depende principalmente de la cantidad de horas pastoreadas por los animales, la cantidad de horas que estos permanecen estabulados en el patio de alimentación o en la sala de ordeña y la cantidad de veces que son trasladados hacia o desde estos lugares. Como se mencionó anteriormente, el rebaño lechero estudiado, permanece entre 10 y 12 horas fuera de la pradera con 2 traslados diarios, lo que implica que una cantidad significativa de excretas y nutrientes, son transferidos a otros sectores. Estudios realizados por Nguyen y Goh (1994) citados por WHITEHEAD (2000), indican tasas de transferencia entre 10 a 35% para rebaños lecheros trasladados 2 veces al día. Tomando en cuenta lo anterior y que el rebaño permanece prácticamente la mitad del día en la sala de ordeña y patio de alimentación, se consideró una tasa de transferencia de 30%, como valor más representativo de la realidad del predio.

De esta forma, con una tasa de transferencia de 30%, los kg de nutrientes totales consumidos por el animal (kg/ha/año), señalados en el Cuadro 34, y los kg de nutrientes exportados en productos (kg/ha/año) (Cuadro 37 y 39), se calculó la extracción de nutrientes por transferencia.

CUADRO 40 Ejemplo del cálculo de S transferido del sistema lechero.

Consumo total de S:	27,75	kg de S/ha/año
Exportación total de S:	4,3	kg de S/ha/año
Tasa de transferencia:	30	%
Transferencia de S:		
	$27,75 - 4,3 =$	23,45 kg de S/ha/año
	$23,45 \times 0,3 =$	7,03 kg de S/ha/año

CUADRO 41 Consumo animal total, exportación en productos, transferencia y reciclaje animal de nutrientes.

Nutriente	Consumo total Ntes/ha/año	Exportación Ntes/ha/año	Transferencia Ntes/ha/año	Reciclaje Ntes/ha/año
N (kg)	315,51	78,26	71,17	166,07
P (kg)	34,35	14,50	5,96	13,90
K (kg)	348,36	20,17	98,46	229,74
Ca (kg)	85,58	18,42	20,15	47,01
Mg (kg)	27,28	2,08	7,56	17,64
S (kg)	27,75	4,30	7,03	16,41
Na (kg)	32,38	6,93	7,63	17,81
Cl (kg)	143,59	14,70	38,67	90,22
Fe (g)	2804,61	15,76	836,66	1952,20
Cu (g)	1354,69	2,58	405,63	946,47
Zn (g)	3400,63	58,93	1002,51	2339,19
Mn (g)	717,63	0,47	215,15	502,01
B (g)	107,73	8,54	29,76	69,44
Co (g)	1,43	0,02	0,42	0,98
Mo (g)	4,96	1,34	1,09	2,54

Un ejemplo del cálculo de los nutrientes transferidos se detalla en el Cuadro 40, mientras en el Cuadro 41 se muestran los valores de nutrientes transferidos a sectores no aprovechables. Por sus altos valores, las cantidades enunciadas muestran ser una importante salida de nutrientes del sistema, siendo en algunos casos superior a la cantidad de nutrientes exportados en leche y carne.

4.5 Reciclaje animal

Es importante cuantificar el reciclaje animal para realizar un correcto cálculo del balance de nutrientes. Recordemos que no todos los nutrientes consumidos por el animal son extraídos del sistema, una proporción importante queda, producto de la devolución de nutrientes en las excretas animales (UNDERWOOD y SUTTLE, 1999). Esta proporción devuelta, llamada reciclaje, debe incluir el aporte extra de nutrientes producto del alimento suplementario consumido por el rebaño lechero.

Es por eso, que el reciclaje se calcula descontando del consumo animal total de nutrientes (Cuadro 34), en el cual están incluidos los nutrientes aportados por los suplemento alimenticios, los nutrientes que salen del sistema por exportación de productos y por transferencia. En otras palabras, del consumo total animal, lo que no se exporta en producto y/o transfiere, se recicla. Por lo tanto, considerando que la exportación de producto es un valor fijo promedio y la tasa de transferencia es 30%, el reciclaje sería de 70%.

Por tal motivo, la proporción que se devuelve, llamada reciclaje, no debe ser incluida como ingreso ni egreso en el balance final de nutrientes. Como señala GARCÍA (2003), incluir el reciclaje significaría sobre estimar los ingresos o egresos del sistema.

El cálculo de los nutrientes reciclados en el sistema se explica, utilizando como ejemplo el S, en el Cuadro 42.

CUADRO 42 Ejemplo del cálculo de S reciclado del sistema lechero.

Consumo total de S:	27,75	kg de S/ha/año
Exportación total de S:	4,3	kg de S/ha/año
Transferencia de S:	7,03	kg de S/ha/año
Reciclaje de S:	$27,75 - 4,3 - 7,03 = 16,41$ kg de S/ha/año	

4.6 Balance de nutrientes del sistema lechero analizado

Cuantificados los ingresos y egresos de nutrientes hacia o desde el sistema, se calculó el balance de estos de acuerdo a lo señalado por JANSSEN (1999).

En el Cuadro 43 se muestra el resumen, para el lote de potreros N°1, de los ingresos y egresos de cada uno de los nutrientes estudiados en sus respectivos años.

CUADRO 43 Resumen de nutrientes ingresados y egresados en Lote 1.
Valores en kg/ha/año para macronutrientes y g/ha/año para micronutrientes.

Nutriente	Balace	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	\bar{x}
N (kg)	Ingreso	204	247	245	248	228	180	202	279	281	269	254	198	236
	Egreso	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149
P (kg)	Ingreso	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
	Egreso	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
K (kg)	Ingreso	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
	Egreso	119	119	119	119	119	119	119	119	119	119	119	119	119
Ca (kg)	Ingreso	334	59	144	59	74	435	118	115	184	185	66	278	171
	Egreso	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39
Mg (kg)	Ingreso	130	22	45	14	23	40	18	15	14	14	18	16	31
	Egreso	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
S (kg)	Ingreso	8	8	41	8	8	21	31	18	107	108	8	179	46
	Egreso	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Na (kg)	Ingreso	29	151	188	178	105	107	20	185	203	167	136	12	123
	Egreso	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Cl (kg)	Ingreso	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
	Egreso	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53
Fe (g)	Ingreso	9518	9518	9518	9518	9518	9518	9518	9518	9518	9518	9518	9518	9518
	Egreso	852	852	852	852	852	852	852	852	852	852	852	852	852
Cu (g)	Ingreso	1525	1525	1525	1525	1525	1525	1525	1525	1525	1525	1525	1525	1525
	Egreso	408	408	408	408	408	408	408	408	408	408	408	408	408
Zn (g)	Ingreso	4113	4113	4113	4113	4113	4113	4113	4113	4113	4113	4113	4113	4113
	Egreso	1061	1061	1061	1061	1061	1061	1061	1061	1061	1061	1061	1061	1061
Mn (g)	Ingreso	1087	1087	1087	1087	1087	1087	1087	1087	1087	1087	1087	1087	1087
	Egreso	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216
B (g)	Ingreso	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230
	Egreso(*)	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38
Co (g)	Ingreso	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
	Egreso	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Mo (g)	Ingreso	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
	Egreso	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4

(*) No se incluye la exportación en carne por no existir información.

El resumen de los ingresos y egresos de cada uno de los nutrientes estudiados en sus respectivos años, se muestra en el Cuadro 44. Los valores indicados son para el lote de potreros N°2.

CUADRO 44 Resumen de nutrientes ingresados y egresados en Lote 2.
Valores en kg/ha/año para macronutrientes y g/ha/año para micronutrientes.

Nutriente	Balance	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	\bar{x}
N (kg)	Ingreso	253	271	222	227	247	168	320	291	315	283	227	198	252
	Egreso	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149
P (kg)	Ingreso	11	11	11	11	11	11	11	11	11	38	11	11	13
	Egreso	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
K (kg)	Ingreso	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
	Egreso	119	119	119	119	119	119	119	119	119	119	119	119	119
Ca (kg)	Ingreso	378	59	149	59	77	431	179	99	183	116	66	280	173
	Egreso	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39
Mg (kg)	Ingreso	148	19	28	14	25	40	21	15	15	14	18	16	31
	Egreso	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
S (kg)	Ingreso	8	8	79	8	8	19	56	13	106	38	8	179	44
	Egreso	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Na (kg)	Ingreso	45	202	171	177	117	103	19	167	225	191	89	12	127
	Egreso	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Cl (kg)	Ingreso	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
	Egreso	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53
Fe (g)	Ingreso	9518	9518	9518	9518	9518	9518	9518	9518	9518	9518	9518	9518	9518
	Egreso	852	852	852	852	852	852	852	852	852	852	852	852	852
Cu (g)	Ingreso	1525	1525	1525	1525	1525	1525	1525	1525	1525	1525	1525	1525	1525
	Egreso	408	408	408	408	408	408	408	408	408	408	408	408	408
Zn (g)	Ingreso	4113	4113	4113	4113	4113	4113	4113	4113	4113	4113	4113	4113	4113
	Egreso	1061	1061	1061	1061	1061	1061	1061	1061	1061	1061	1061	1061	1061
Mn (g)	Ingreso	1087	1087	1087	1087	1087	1087	1087	1087	1087	1087	1087	1087	1087
	Egreso	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216
B (g)	Ingreso	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230
	Egreso(*)	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38
Co (g)	Ingreso	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
	Egreso	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Mo (g)	Ingreso	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
	Egreso	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4

(*) No se incluye la exportación en carne por no existir información.

Para el lote de potreros N°3, los valores de los ingresos y egresos de cada uno de los nutrientes estudiados en sus respectivos años, se indican en el Cuadro 45.

CUADRO 45 Resumen de nutrientes ingresados y egresados en Lote 3.
Valores en kg/ha/año para macronutrientes y g/ha/año para micronutrientes.

Nutriente	Balance	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	\bar{x}
N (kg)	Ingreso	270	232	233	263	239	167	282	333	312	282	204	198	251
	Egreso	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149
P (kg)	Ingreso	11	11	11	11	11	11	11	11	11	51	11	11	15
	Egreso	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
K (kg)	Ingreso	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
	Egreso	119	119	119	119	119	119	119	119	119	119	119	119	119
Ca (kg)	Ingreso	327	59	154	59	76	431	147	113	183	204	66	280	175
	Egreso	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39
Mg (kg)	Ingreso	127	20	28	14	24	40	20	17	17	14	18	16	30
	Egreso	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
S (kg)	Ingreso	8	8	83	8	8	19	46	16	76	100	8	179	47
	Egreso	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Na (kg)	Ingreso	23	160	172	202	101	100	27	192	225	178	76	12	122
	Egreso	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Cl (kg)	Ingreso	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
	Egreso	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53
Fe (g)	Ingreso	9518	9518	9518	9518	9518	9518	9518	9518	9518	9518	9518	9518	9518
	Egreso	852	852	852	852	852	852	852	852	852	852	852	852	852
Cu (g)	Ingreso	1525	1525	1525	1525	1525	1525	1525	1525	1525	1525	1525	1525	1525
	Egreso	408	408	408	408	408	408	408	408	408	408	408	408	408
Zn (g)	Ingreso	4113	4113	4113	4113	4113	4113	4113	4113	4113	4113	4113	4113	4113
	Egreso	1061	1061	1061	1061	1061	1061	1061	1061	1061	1061	1061	1061	1061
Mn (g)	Ingreso	1087	1087	1087	1087	1087	1087	1087	1087	1087	1087	1087	1087	1087
	Egreso	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216
B (g)	Ingreso	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230
	Egreso(*)	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38
Co (g)	Ingreso	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
	Egreso	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Mo (g)	Ingreso	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
	Egreso	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4

(*) No se incluye la exportación en carne por no existir información.

Y finalmente, en el Cuadro 46 se muestra el resumen de los ingresos y egresos de cada uno de los nutrientes estudiados en sus respectivos años para el lote de potreros N°4.

CUADRO 46 Resumen de nutrientes ingresados y egresados en Lote 4.
Valores en kg/ha/año para macronutrientes y g/ha/año para micronutrientes.

Nutriente	Balance	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	\bar{x}
N (kg)	Ingreso	189	283	254	258	250	159	325	304	345	300	201	198	256
	Egreso	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149
P (kg)	Ingreso	11	11	11	11	11	11	11	11	11	51	11	11	15
	Egreso	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
K (kg)	Ingreso	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
	Egreso	119	119	119	119	119	119	119	119	119	119	119	119	119
Ca (kg)	Ingreso	359	59	152	59	77	429	200	101	188	204	66	280	181
	Egreso	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39
Mg (kg)	Ingreso	140	27	31	14	25	40	21	19	18	14	18	16	32
	Egreso	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
S (kg)	Ingreso	8	8	82	8	8	17	53	18	110	100	8	179	50
	Egreso	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Na (kg)	Ingreso	17	188	183	201	113	99	19	161	262	193	71	12	126
	Egreso	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Cl (kg)	Ingreso	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
	Egreso	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53
Fe (g)	Ingreso	9518	9518	9518	9518	9518	9518	9518	9518	9518	9518	9518	9518	9518
	Egreso	852	852	852	852	852	852	852	852	852	852	852	852	852
Cu (g)	Ingreso	1525	1525	1525	1525	1525	1525	1525	1525	1525	1525	1525	1525	1525
	Egreso	408	408	408	408	408	408	408	408	408	408	408	408	408
Zn (g)	Ingreso	4113	4113	4113	4113	4113	4113	4113	4113	4113	4113	4113	4113	4113
	Egreso	1061	1061	1061	1061	1061	1061	1061	1061	1061	1061	1061	1061	1061
Mn (g)	Ingreso	1087	1087	1087	1087	1087	1087	1087	1087	1087	1087	1087	1087	1087
	Egreso	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216
B (g)	Ingreso	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230
	Egreso(*)	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38
Co (g)	Ingreso	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
	Egreso	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Mo (g)	Ingreso	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
	Egreso	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4

(*) No se incluye la exportación en carne por no existir información.

El cálculo del balance de nutrientes se realizó restándole los egresos a los ingresos en cada uno de los 12 años analizados en este estudio. Así se obtiene en cada año y para cada nutriente un valor, el cuál puede ser negativo o positivo dependiendo del balance. Si es negativo, el sistema está gastando más de la que ingresa, y por el contrario, si es positivo, el sistema gasta menos de lo ingresado y en este caso, los nutrientes debieran acumularse en el suelo o bien perderse por lixiviación, erosión y/o pérdidas gaseosas.

Para explicar de mejor manera la cuantificación del balance de nutrientes, en el Cuadro 47, se detalla el balance del S en el lote 4, año 1999, como forma de ejemplificar el cálculo.

CUADRO 47 Ejemplo del cálculo del balance para S en el lote 4, año 1999.

Ingreso de nutrientes:		
Aplicación de fertilizantes	45	kg de S/ha/año
Aplicación de purines	4,44	kg de S/ha/año
Alimentación suplementaria	<u>+ 4,00</u>	kg de S/ha/año
TOTAL:	53,44	kg de S/ha/año
Egreso de nutrientes:		
Exportación en leche	3,9	kg de S/ha/año
Exportación en carne	0,36	kg de S/ha/año
Transferencia	<u>+ 7,03</u>	kg de S/ha/año
TOTAL:	11,29	kg de S/ha/año
Balance de S:		
	53,44 - 11,29 =	42,15 kg de S/ha/año

Los balances de nutrientes finales de los 12 años de estudio y para cada lote de potreros asignado, se muestran en los Cuadros 48, 49, 50, y 51.

4.7 Disponibilidad de nutrientes en el sistema lechero analizado

Para determinar la disponibilidad de nutrientes del sistema, se utilizaron los resultados analíticos de los análisis químicos realizados en cada potrero incluido en el estudio. Como los potreros se unieron por lote, estos resultados fueron promediados de acuerdo a los lotes de potreros escogidos. Así, los valores mostrados en cada lote corresponden al promedio de los 3 potreros que lo componen, salvo en algunos casos, que se especifican en cada nutriente, en donde se omitieron algunos resultados analíticos, por presentar una distribución no homogénea al lote y/o por su naturaleza errática de resultados. En el caso particular del lote 1, potrero 23, no existe información de análisis de suelo antes del año 2000.

La disponibilidad de nutrientes del sistema se presenta para cada elemento evaluado y para cada lote correspondiente.

4.7.1 Fósforo. En la Figura 4, se muestran los gráficos con las regresiones lineales y sus líneas de tendencia, que indican la variación de la disponibilidad de nutrientes a través de los años y en cada uno de los lotes de potreros.

En el promedio de los análisis de suelo no se consideró en el lote 1, el potrero 13, por estar fuera de los rangos medios del lote, al igual que en el lote 2, el potrero 19A año 2000.

Se observó, en general, que existe una disminución del P disponible durante los años de estudio. Esta disminución es evidenciada por las líneas de tendencia de los gráficos de la Figura 4 y por las pendientes de las curvas de variación de la disponibilidad de P mostradas en el Cuadro 52. No obstante, la disminución no es homogénea en los lotes estudiados, el lote 1 presenta una disminución anual de la disponibilidad mayor que el lote 3 y lote 4, y

considerablemente mayor que el lote 2. Esto puede deberse, a los variación en los manejos que, a lo largo de los años, se realizan en cada potrero.

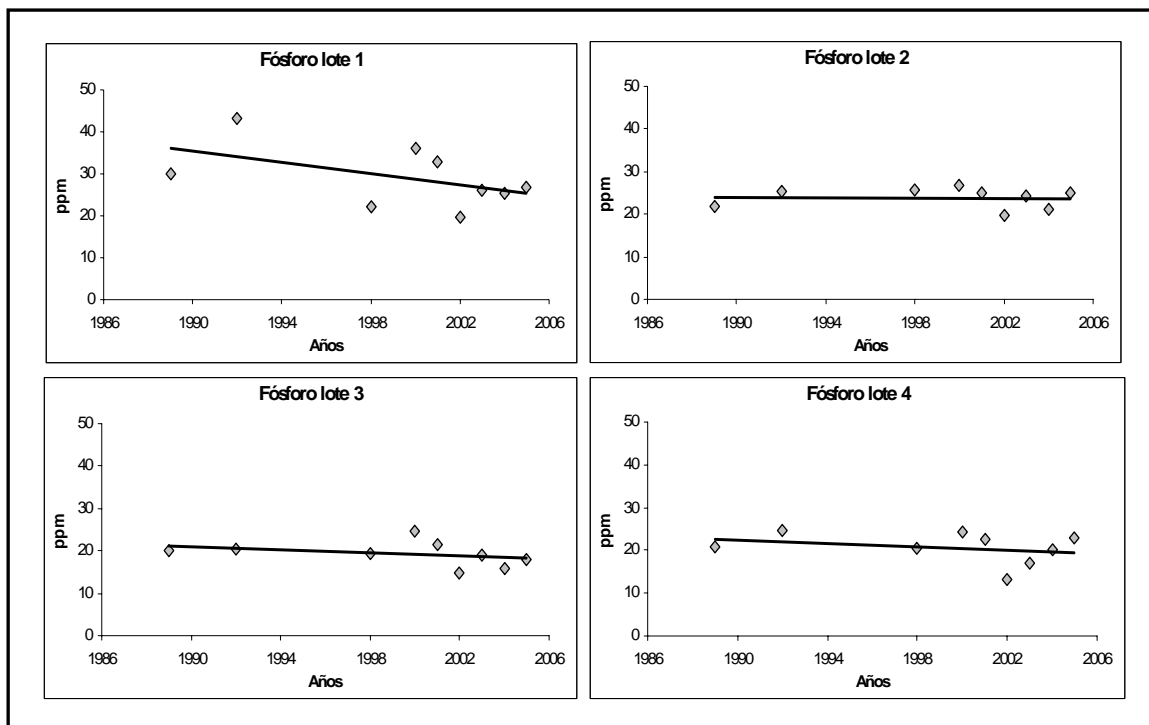


FIGURA 4 Variación de la disponibilidad de P en el sistema.

Las pendientes de las curvas mostradas en la Figura 4 se señalan en el Cuadro 52 al igual que el balance final de P.

CUADRO 52 Pendientes de las rectas de variación de la disponibilidad de P en el sistema y balance final de P.

Fósforo	Lote 1	Lote 2	Lote 3	Lote 4	Promedio
Pendiente de la recta	-0,671	-0,023	-0,188	-0,193	-0,27
Balance (kg/ha/año)	-9	-7	-6	-6	-7
Relación kg/ha/año y ppm P-Olsen					26,05

En lo que respecta al balance, se observa que existe un balance negativo de P en todos los lotes. Esto implica una pérdida y por ende una desacumulación de este nutriente en el sistema, que concuerda con la

disminución en la disponibilidad mencionadas anteriormente. De acuerdo a la pendiente promedio $-0,27$, en cada año se pierden $0,27$ ppm de P-Olsen, que equivalen a perder 7 kg P/ha/año. Por lo tanto, por cada 26 kg P/ha perdidos la disponibilidad disminuye 1 ppm de P-Olsen al año. Los valores antes mencionados parecen coherentes, ya que durante los 12 años de estudio no se realizaron fertilizaciones fosforadas importantes.

4.7.2 Potasio. Las regresiones lineales que indican la variación en la disponibilidad de este elemento a través de los años y en cada uno de los lotes de potreros se muestran en la Figura 5. En el Cuadro 53 se detallan las pendientes de los gráficos mostrados en la Figura 5 y el balance final de K del sistema estudiado.

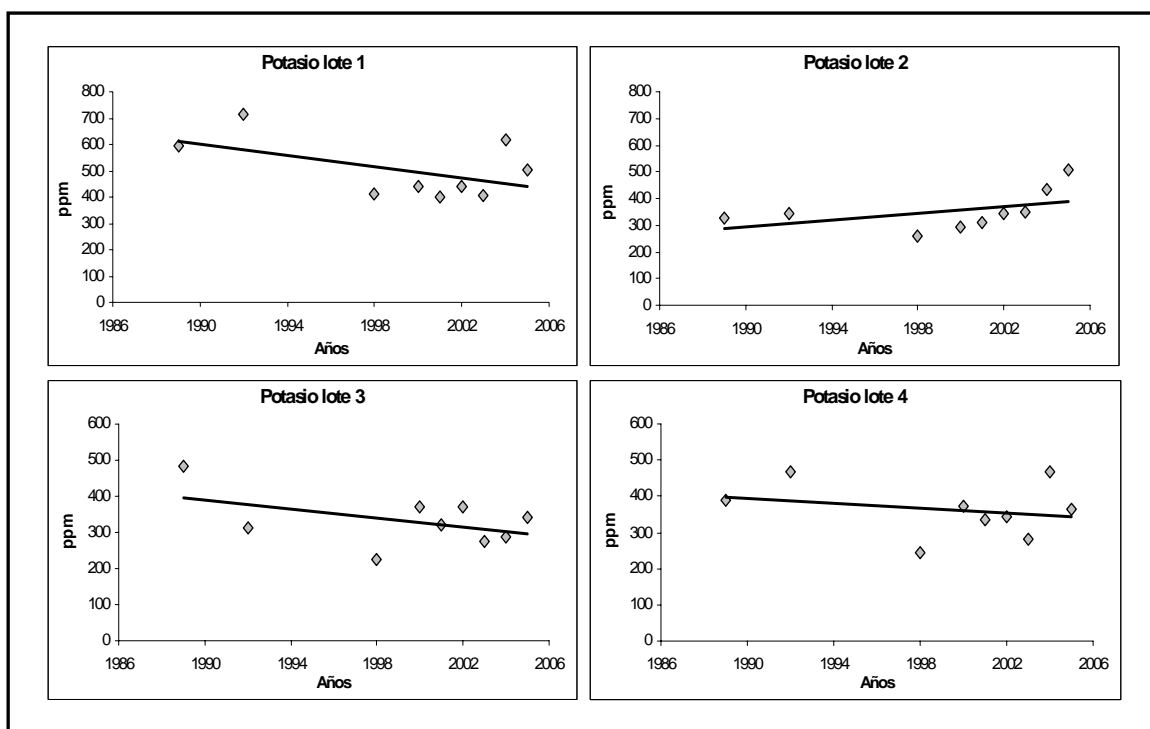


FIGURA 5 Variación de la disponibilidad de K en el sistema.

No se consideró el potrero 13, al calcular el promedio de los análisis de suelo del lote 1, por presentar resultados analíticos más altos que la media del lote.

Las curvas mostradas en la Figura 5, dan a conocer el comportamiento del K a través de los años de estudio. Se observa en todos los lotes, una disminución de la disponibilidad de este nutriente en el tiempo, salvo en el lote 2, en donde se nota un aumento. Las pendientes de las rectas, proporcionadas por las regresiones lineales, y detalladas en el Cuadro 53, confirman lo señalado anteriormente.

CUADRO 53 Pendientes de las rectas de variación de la disponibilidad de K en el sistema y balance final de K.

Potasio	Lote 1	Lote 2	Lote 3	Lote 4	Promedio
Pendiente de la recta	-10,63	6,41*	-6,35	-3,25	-6,74
Balance (kg/ha/año)	-46	-46	-46	-46	-46
Relación kg/ha/año y ppm					6,82

* No se considera en el promedio de las pendientes de los lotes.

En cuanto al balance de K, es negativo en todos los lotes de potreros, indicándonos que existen pérdidas en este sistema, que alcanzan en promedio 46 kg K/ha/año (Cuadro 53). Estas pérdidas no se ven reflejadas en todas las pendientes de las rectas, si bien son negativas para los lotes 1, 3 y 4, es positiva para el lote 2, lo que nos demuestra que los análisis de suelo realizados en el lote 2, no concuerdan con el balance calculado. Esto puede deberse a que el lote 2 está compuesto por potreros contiguos a la lechería y patio de alimentación del predio (ver Figura 3), por lo que es posible que las aplicaciones de purines hayan sido más frecuentes interviniendo en los análisis de suelo, más aún, si tomando en cuenta, como se muestra en el Cuadro 18, que los purines presentan contenidos importantes de este elemento. Además, las

pendientes evidencian que no existe una distribución homogénea de los purines, como lo señaló el agricultor y dueño del predio.

En definitiva, excepto en el lote 2, existe una disminución de la disponibilidad y una desacumulación de K en el tiempo, producida porque no existen fertilizaciones potásicas durante los años de estudio. Esta disminución de la disponibilidad, de 6,7 ppm de K al año, y el balance negativo de 46 kg K, indican que por cada 6,8 kg K/ha/año perdidos, la disponibilidad disminuye 1 ppm de K al año.

4.7.3 Calcio. La variación en la disponibilidad del Ca a través de los años dada por las regresiones lineales en cada uno de los lotes de potreros se muestra en la Figura 6. Las pendientes de las curvas mostradas en la Figura 6, se detallan en el Cuadro 54, junto al balance final de Calcio.

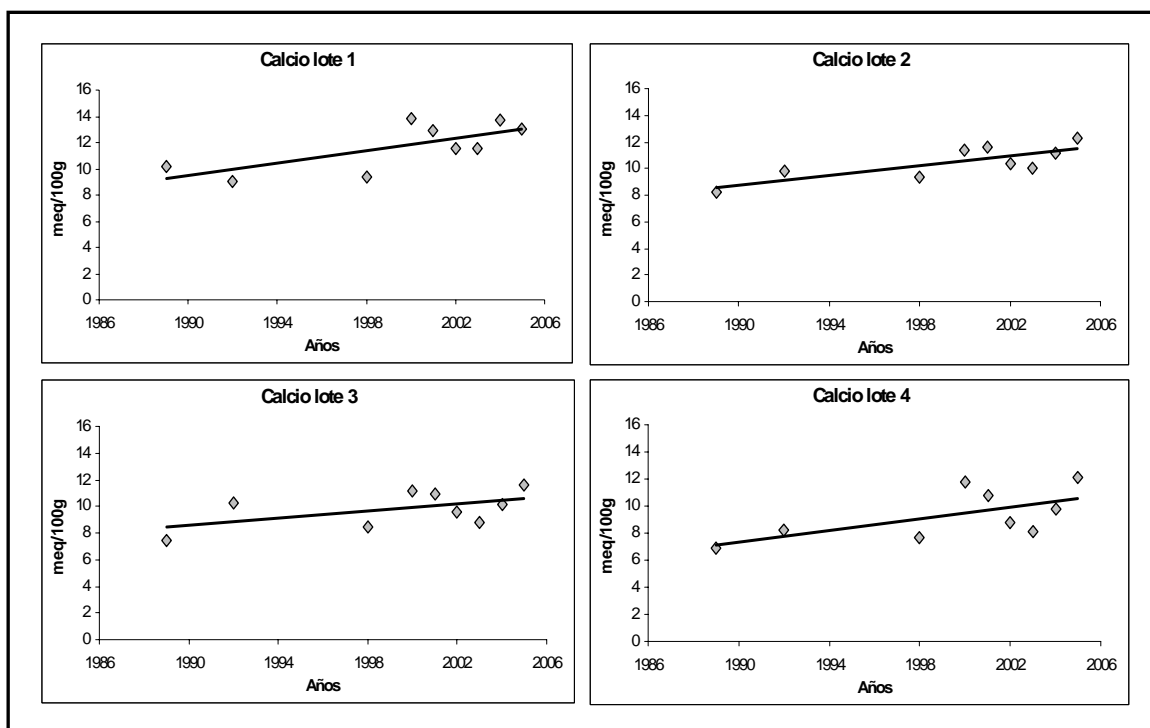


FIGURA 6 Variación de la disponibilidad de Ca en el sistema.

Para calcular los promedios de los análisis de suelo utilizados en las regresiones lineales, se omitieron los siguientes resultados analíticos del año 2000: en el lote 1, potrero 13 y 17; en el lote 2, potrero 19A y 19B; y en el lote 4, potrero 6 y 8. Lo anterior debido a que estos resultados no eran representativos de los potreros, al estar muy por encima de los análisis de otros años.

CUADRO 54 Pendientes de las rectas de variación de la disponibilidad de Ca en el sistema y balance final de Ca.

Calcio	Lote 1	Lote 2	Lote 3	Lote 4	Promedio
Pendiente de la recta	0,240	0,182	0,137	0,228	0,197
Balance (kg/ha/año)	132	134	136	143	136
Relación kg/ha/año y meq/100g					693

Se observa en la Figura 6, que la disponibilidad de Ca va aumentando paulatinamente a medida que transcurre el tiempo. Este aumento reflejado por las pendientes positivas de la recta, concuerda con el resultado positivo del balance de Ca mostrado en el Cuadro 54, indicando que existe una acumulación de este elemento en el suelo, la que se debe principalmente a las aplicaciones de enmiendas y fertilizantes que se han realizado hasta la fecha en el predio, mostradas en los Cuadros 28, 29, 30 y 31.

El aumento promedio anual en la disponibilidad de 0,197 meq/100g, y el balance positivo promedio de 136 kg de Ca, indican que por cada 693 kg Ca/ha/año de ganancia, que equivalen a 2180 kg de CaCO₃/ha/año, se aumenta 1 meq/100g de disponibilidad de Ca al año.

4.7.4 Magnesio. La disponibilidad del Mg y su variación en el tiempo en los respectivos lotes de potreros, se muestra en los gráficos de la Figura 7. En el Cuadro 55 se muestran las pendientes de las rectas dadas por las regresiones lineales hechas para cada uno de los lotes de potreros en estudio.

En el cálculo del promedio de los resultados analíticos, se dejó fuera en el lote 3, el resultado del año 1989 del potrero 4, ya que se escapa de los rangos medios de Mg.

Como se observa en la Figura 7, las líneas de tendencia de los gráficos indican que la disponibilidad de Mg va aumentando en el tiempo. Las pendientes positivas en cada lote, mostradas en el Cuadro 54, respaldan lo anteriormente expuesto.

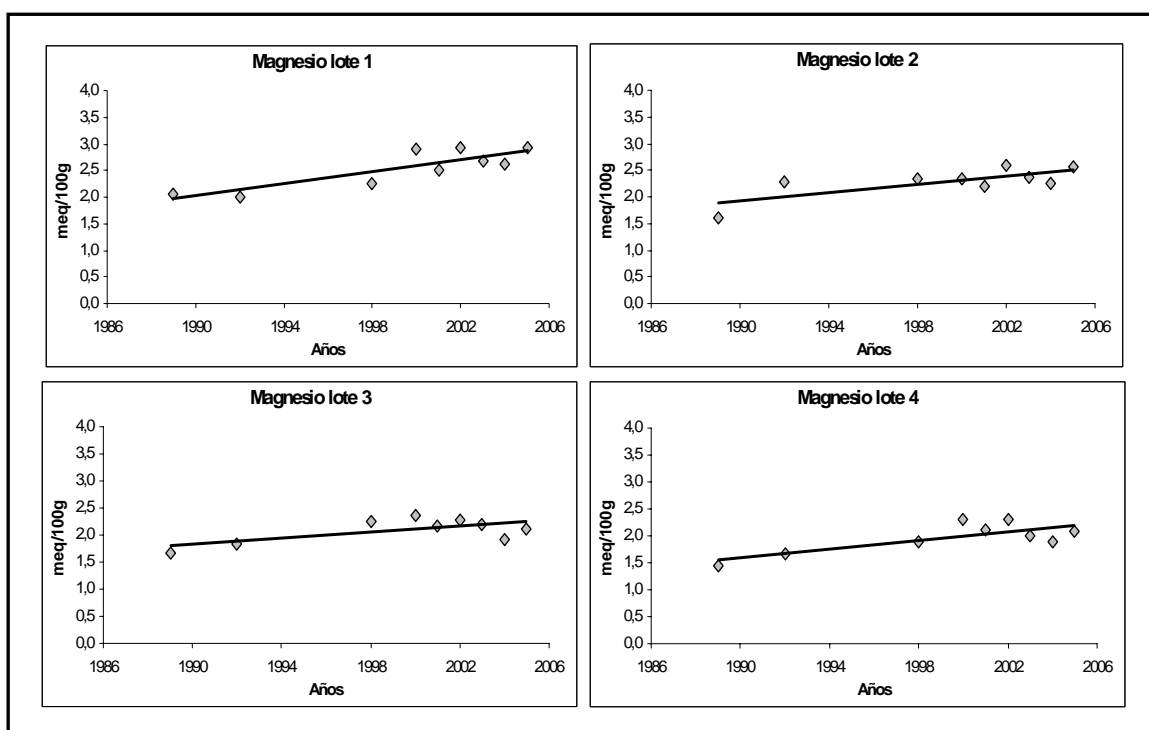


FIGURA 7 Variación de la disponibilidad de Mg en el sistema.

CUADRO 55 Pendientes de las rectas de variación de la disponibilidad de Mg en el sistema y balance final de Mg.

Magnesio	Lote 1	Lote 2	Lote 3	Lote 4	Promedio
Pendiente de la recta	0,056	0,039	0,028	0,039	0,041
Balance (kg/ha/año)	21	22	20	22	21
Relación kg/ha/año y meq/100g					518

El balance de Mg, también es positivo para todos los lotes, por lo que existe una acumulación de este nutriente en el tiempo. Esta acumulación y aumento de disponibilidad se deben a las dosis de fertilizantes y enmiendas aplicadas en el predio constantemente durante los años en estudio.

Realizando una comparación entre la disponibilidad y el balance, se nota una concordancia, ya que tanto las pendientes como los balances son positivos en cada uno de los lotes. La disponibilidad aumenta anualmente en promedio 0,04 meq/100g, y el balance acumula anualmente en promedio 21 kg/ha, lo que nos indica que por cada 518 kg de Mg acumulados, la disponibilidad aumenta 1 meq/100g al año.

4.7.5 Azufre. La variación de la disponibilidad de S en el tiempo y en los respectivos lotes de potreros, se muestra en los gráficos de la Figura 8. Las pendientes de las rectas dadas por las regresiones lineales hechas para cada lote de potreros y sus respectivos balances son detallados en el Cuadro 56.

En el cálculo de los promedios de los análisis de suelo utilizados en las regresiones lineales, se omitieron los siguientes resultados analíticos: año 1989, 1992 y 1998 en todos los lotes; en el lote 1, potrero 13 año 2003, potrero 17 año 2004, potrero 23 año 2000, 2001 y 2002; en el lote 2, potrero 19A y 19B año 2004; en el lote 3, potrero 2, 4 y 10 año 2002; y en el lote 4, potrero 6 año 2003, potrero 8 año 2002, y potrero 12 año 2004. Lo anterior debido a que estos resultados analíticos no eran representativos de los potreros, al estar muy por encima de los análisis de otros años, presentando una naturaleza errática de los resultados.

Se observa en la Figura 8 que la disponibilidad del S va en disminución a través de los años, ya que las líneas de tendencia y pendientes de los gráficos son negativas (ver Cuadro 56). A diferencia de lo anterior, el balance es positivo

en cada lote de potrero, por lo que debiese existir una acumulación de S en el sistema, acumulación que claramente no se ve reflejada en los análisis de suelo, a pesar de que existen aplicaciones de fertilizantes y enmiendas azufradas.

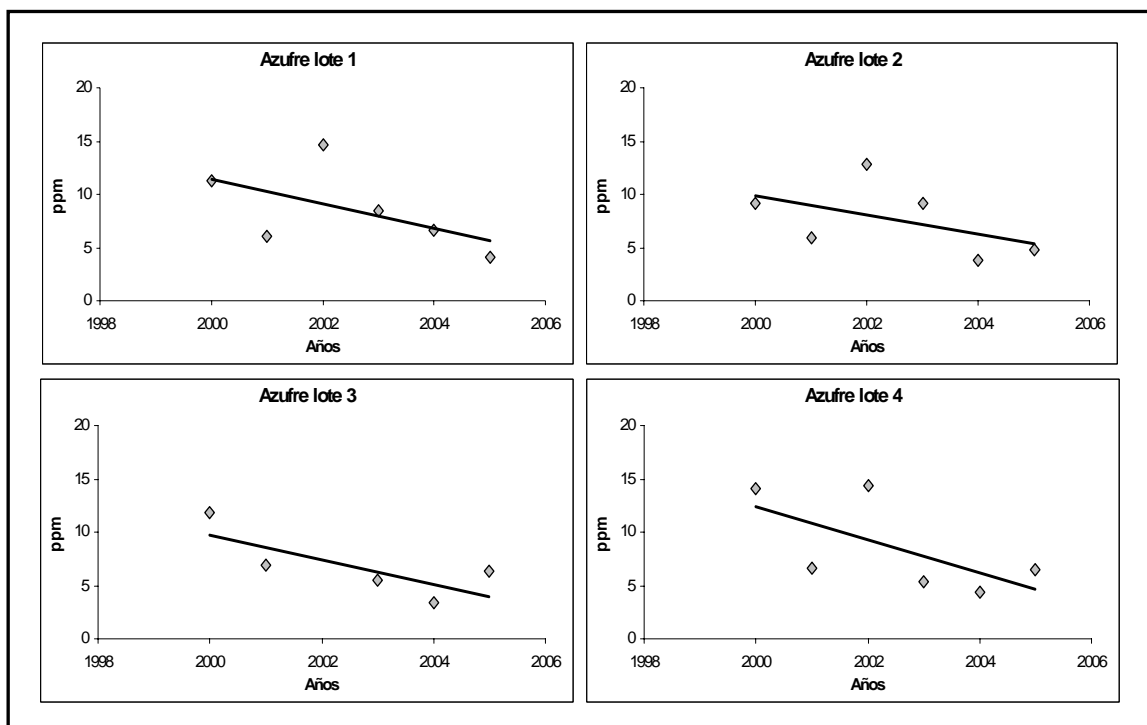


FIGURA 8 Variación de la disponibilidad de S en el sistema.

CUADRO 56 Pendientes de las rectas de variación de la disponibilidad de S en el sistema y balance final de S.

Azufre	Lote 1	Lote 2	Lote 3	Lote 4	Promedio
Pendiente de la recta	-1,15	-0,92	-1,14	-1,54	-1,19
Balance (kg/ha/año)	34	33	36	39	36

Lo anterior puede deberse a que el S presenta un comportamiento móvil y tiende a profundizar en el perfil de suelo, como se puede observar en el Cuadro 16, en que aumenta su disponibilidad en profundidad. Otra hipótesis es que gran parte del S ingresado al suelo puede transformarse en formas

orgánicas y/o pasar a formas lábiles, que no son medidas en el análisis de químico de suelo. Ambas cosas harían que los resultados analíticos de suelo parezcan erráticos y no reflejen la realidad que muestra el balance. Por lo tanto, se sugiere que se efectúen mayores estudios al respecto, y de esa forma poder afirmar con certeza, qué es lo que sucede con este nutriente.

4.7.6 Sodio. La variación en la disponibilidad del Na en el tiempo, dada por las regresiones lineales en cada uno de los lotes de potreros se muestra en la Figura 9. Las pendientes de las rectas arrojadas por las regresiones lineales realizadas en los lotes de potreros en estudio, así como el balance final de Na, se muestran en el Cuadro 57.

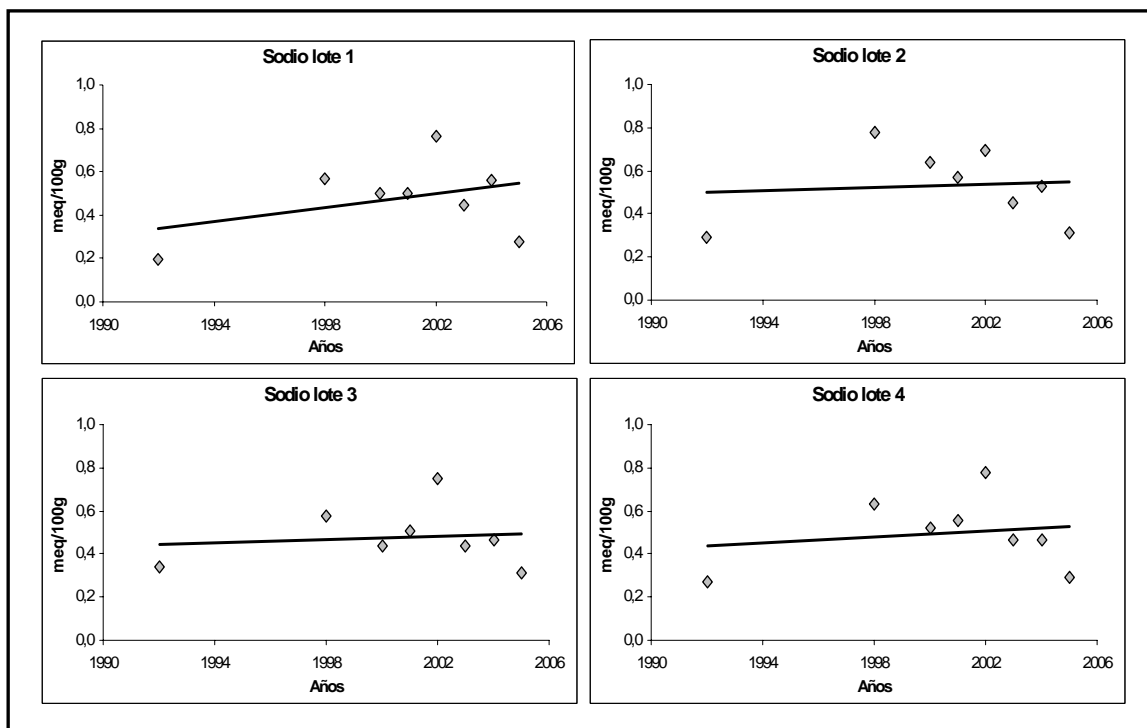


FIGURA 9 Variación de la disponibilidad de Na en el sistema.

No se tomaron en cuenta, en el cálculo del promedio de los resultados analíticos de los análisis de suelo, los resultados en el lote 1, del potrero 23 en

el año 2000 y 2001, dado que se encontraban muy por debajo de los análisis de otros años, sin ser representativos del potrero.

Se observa, tanto en la Figura 9 como en el Cuadro 57, que la disponibilidad de Na aumenta levemente en el tiempo, evidenciado en las líneas de tendencia de los gráficos y las pendientes ligeramente positivas de las regresiones lineales. El balance, al ser positivo, coincide con las líneas de tendencias, e indica que existe una acumulación de Na en el sistema estudiado, que se debe principalmente a las fertilizaciones realizadas a través de los años, con fertilizantes que contienen Na en su composición.

CUADRO 57 Pendientes de las rectas de variación de la disponibilidad de Na en el sistema y balance final de Na.

Sodio	Lote 1	Lote 2	Lote 3	Lote 4	Promedio
Pendiente de la recta	0,016	0,004	0,004	0,007	0,008
Balance (kg/ha/año)	109	112	108	112	110
Relación kg/ha/año y ppm					14.135

Al establecer una relación entre las pendientes y los balances, se observa que la disponibilidad aumenta 0,008 meq/100g en promedio anualmente y el balance acumula en promedio 110 kg Na/ha/año. Así por cada 14.135 kg Na/ha/año acumulados, se aumenta 1 meq/100g de Na anualmente.

4.7.7 Hierro. Las regresiones lineales que indican la variación en la disponibilidad de este elemento a través de los años y en cada uno de los lotes de potreros se muestran en la Figura 10. A su vez, en el Cuadro 58 se detallan las pendientes de los gráficos mostrados en la Figura 10 y el balance final de Fe del sistema.

En el cálculo del promedio de los resultados analíticos, se descartaron los siguientes resultados: en el lote 1, potrero 23 año 2001; en el lote 2, potrero

25 año 2001; y en el lote 2, 3 y 4, el año 2000; ya que se escapan de los rangos medios de Fe y son erráticos.

En la Figura 10, las líneas de tendencia de los gráficos, muestran un alza, a través de los años, en la disponibilidad del Fe. Las pendientes de las rectas mostradas en el Cuadro 58, avalan este aumento.

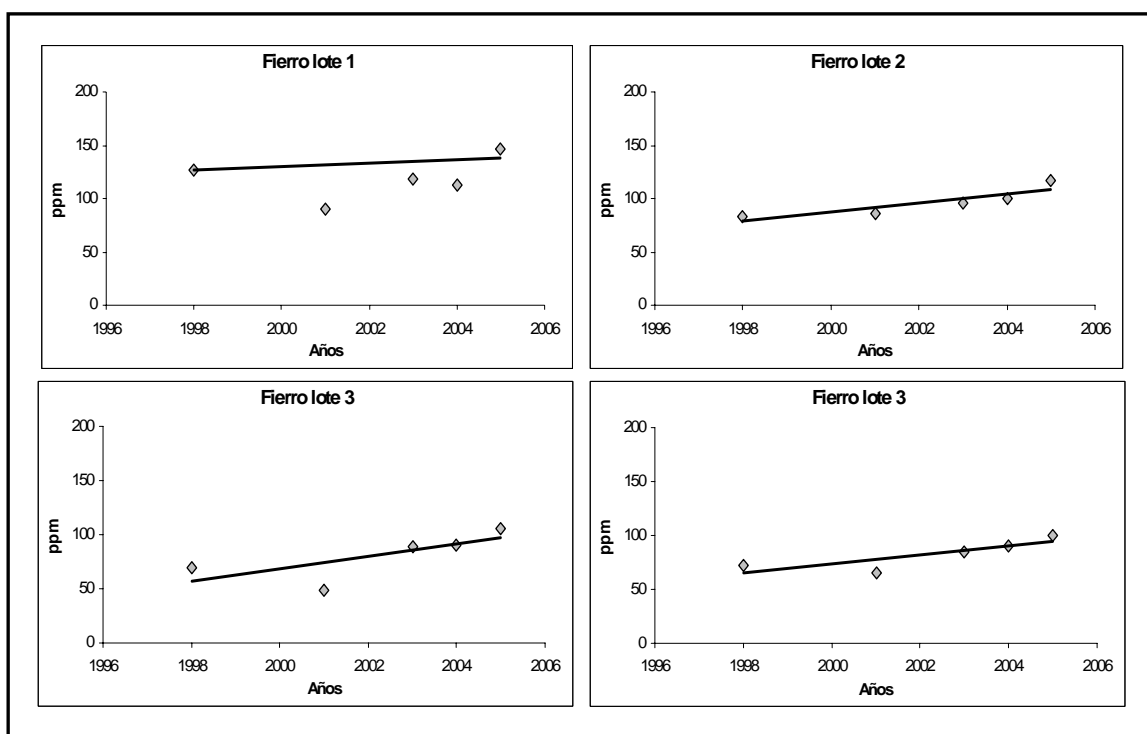


FIGURA 10 Variación de la disponibilidad de Fe en el sistema.

CUADRO 58 Pendientes de las rectas de variación de la disponibilidad de Fe en el sistema y balance final de Fe.

Fierro	Lote 1	Lote 2	Lote 3	Lote 4	Promedio
Pendiente de la recta	1,640	4,21	5,79	4,14	3,95
Balance (g/ha/año)	8.666	8.666	8.666	8.666	8.666
Relación g/ha/año y ppm					2.197

Estableciendo un paralelo entre la disponibilidad y el balance final de Fe, se observa una concordancia entre ambos, ya que tanto los análisis de suelo, como el balance, indican que el Fe está aumentando su disponibilidad y por ende acumulándose en el tiempo. La disponibilidad aumenta anualmente en promedio 3,95 ppm, y el balance acumula anualmente en promedio 8.666 g de Fe/ha, lo que nos indica que por cada 2.197 g de Fe acumulados, la disponibilidad aumenta 1 ppm al año.

Los aumentos en la disponibilidad y la acumulación de Fe en los años de estudio, se deben principalmente a las cantidades de este micronutriente aportadas en las aplicaciones diarias de purines realizadas en los potreros. Como se puede observar en el Cuadro 18, las concentraciones de Fe en los purines son considerables, aportando 9,3 kg/ha/año (9.364 g) (ver Cuadro 33).

4.7.8 Cobre. La variación en la disponibilidad de este elemento en el tiempo y en los respectivos lotes de potreros, se muestra en los gráficos de la Figura 11. Las pendientes de las rectas dadas por las regresiones lineales hechas para cada lote de potreros y sus respectivos balances finales son detallados en el Cuadro 59.

Para calcular los promedios de los análisis de suelo utilizados en las regresiones lineales, se omitieron los siguientes resultados analíticos: en el lote 1, el potrero 13, y en potrero 23 el año 2003; en el lote 3, potrero 4 año 2001; y en el lote 2, 3 y 4, año 2002. Lo anterior, debido a la poca representatividad y a que los resultados mostraban una naturaleza errática.

Se observa claramente en la Figura 11, que existe un aumento en la disponibilidad de Cu a través del tiempo, que se evidencia en las líneas de tendencia señaladas en los gráficos y las pendientes positivas de las regresiones lineales. Lo anterior concuerda con el balance que es positivo para

este elemento, y como se ve en el Cuadro 59, existe acumulación de Cu en el sistema estudiado.

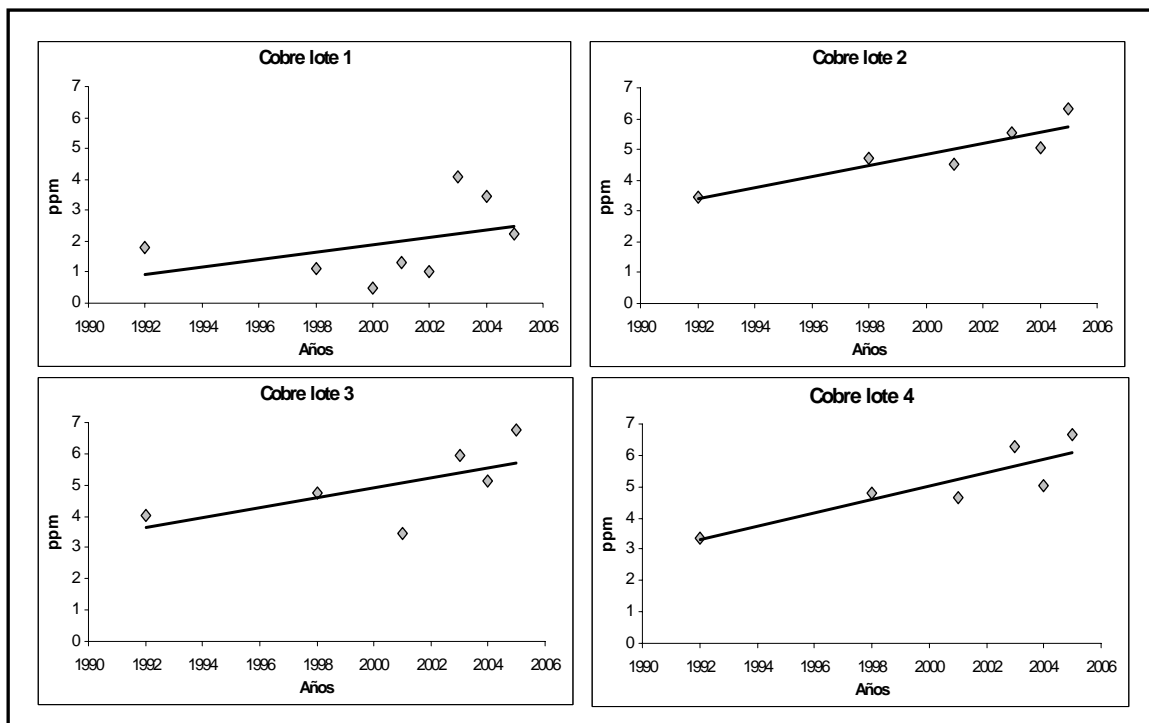


FIGURA 11 Variación de la disponibilidad de Cu en el sistema.

CUADRO 59 Pendientes de las rectas de variación de la disponibilidad de Cu en el sistema y balance final de Cu.

Cobre	Lote 1	Lote 2	Lote 3	Lote 4	Promedio
Pendiente de la recta	0,119	0,179	0,16	0,213	0,17
Balance (g/ha/año)	1.117	1.117	1.117	1.117	1.117
Relación g/ha/año y ppm					6.659

La disponibilidad aumenta anualmente en promedio 0,17 ppm, y el balance acumula al año en promedio 1.117 g de Cu/ha, lo que nos indica que por cada 6.659 g de Cu acumulados, la disponibilidad aumenta 1 ppm en el año. Los aumentos en la disponibilidad de Cu y su acumulación en el suelo, se deben esencialmente a los ingresos aportados por la alimentación

suplementaria, específicamente en las sales minerales, y las continuas aplicaciones de purines.

4.7.9 Zinc. En la Figura 12, se muestran los gráficos con las líneas de tendencia, en las cuales se puede apreciar cómo varía la disponibilidad de este elemento en cada lote de potreros a través del tiempo. Las pendientes, dadas por las respectivas regresiones lineales y el balance final para Zn, se detallan en el Cuadro 60.

En el cálculo de los promedios de los análisis de suelo, se excluyeron los siguientes resultados por estar fuera de los rangos medios de los lotes potreros: lote 1, potrero 13 y 17 año 1992, potrero 13 año 2005; lote 2, potrero 19A y 19B año 1992; y finalmente lote 3, año 1992 completo.

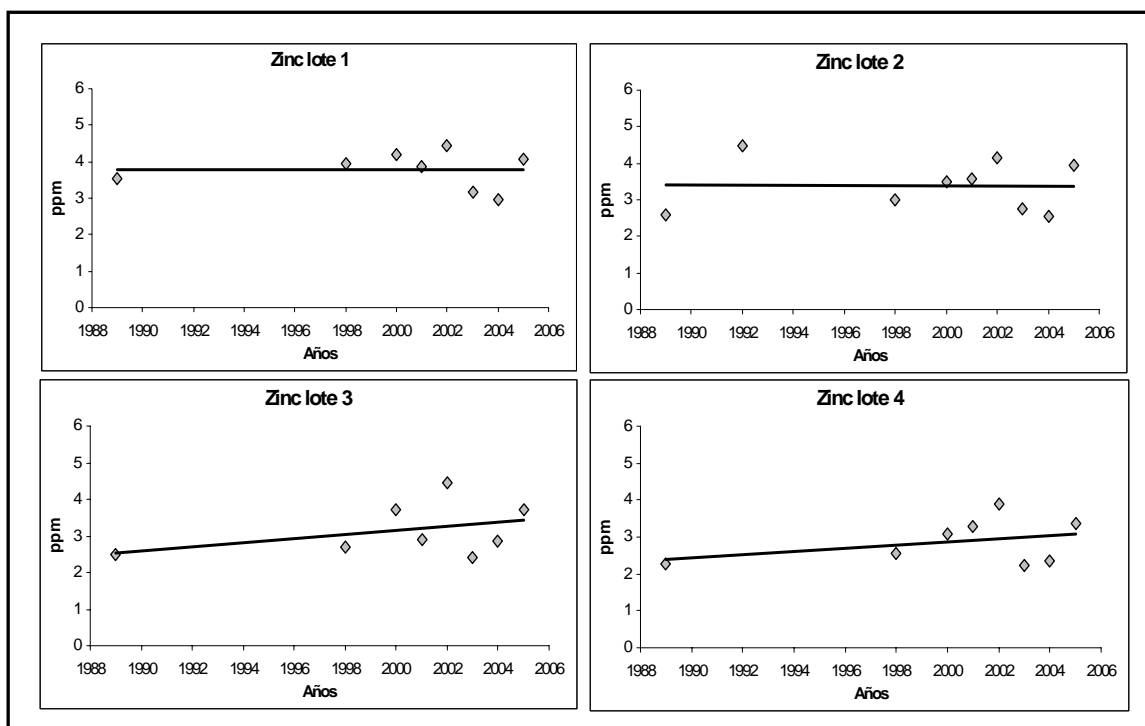


FIGURA 12 Variación de la disponibilidad de Zn en el sistema.

Se observa en los gráficos de la Figura 12, que no hay una clara tendencia de si existe un aumento o disminución de la disponibilidad de Zn en el suelo. Así lo reflejan las pendientes de las líneas de tendencia mostradas en el Cuadro 60, al ser pendientes muy moderadas, pero levemente positivas para los lotes 1, 3 y 4 y ligeramente negativa para el lote 2.

CUADRO 60 Pendientes de las rectas de variación de la disponibilidad de Zn en el sistema y balance final de Zn.

Zinc	Lote 1	Lote 2	Lote 3	Lote 4	Promedio
Pendiente de la recta	0,00010	-0,0005*	0,054	0,046	0,03
Balance (g/ha/año)	3051	3051	3051	3051	3.051
Relación g/ha/año y ppm					91.439

* No se considera en el promedio de las pendientes de los lotes.

Coincidiendo con la disponibilidad, salvo en el lote 2, el balance se muestra positivo para todos los lotes de potreros, con lo que se puede afirmar que existe concordancia entre los análisis de suelo y el balance de nutrientes. Cuantitativamente los análisis de suelo señalan que existe una muy pequeña ganancia, de 0,03 ppm promedio al año en la disponibilidad de Zn del suelo, mientras el balance sugiere una acumulación promedio de 3.051 g de Zn/ha/año, lo que indica que por cada 91.439 g Zn/ha/año, el suelo aumenta su disponibilidad anual en 1 ppm.

Lo anterior puede explicarse, al igual que en el caso de los micronutrientes anteriormente señalados (Fe y Cu), por que existen ingresos importantes provenientes de fuentes como la alimentación suplementaria y la aplicación de purines, que al aportar Zn al sistema, permite aumentar su disponibilidad en el suelo y acumularlo.

4.7.10 Manganeso. Los gráficos de la Figura 13, con sus respectivas líneas de tendencia, muestran la variación de la disponibilidad de este elemento, a través

del tiempo, en cada lote de potreros. Las pendientes dadas por las respectivas regresiones lineales y el balance final para Mn, se detallan en el Cuadro 61.

Para calcular los promedios de los análisis de suelo utilizados en las regresiones lineales, se omitieron los siguientes resultados analíticos: en el lote 1, el potrero 13 año 2003, potrero 23 año 2005; en el lote 2, potrero 19B año 2005, potrero 25 año 2003 y 2005; y en el lote 4, potrero 6 año 2003, potrero 8 año 2003 y 2005, y potrero 12 año 2002. Los análisis de los potreros descartados poseían poca representatividad y sus resultados mostraban una naturaleza errática.

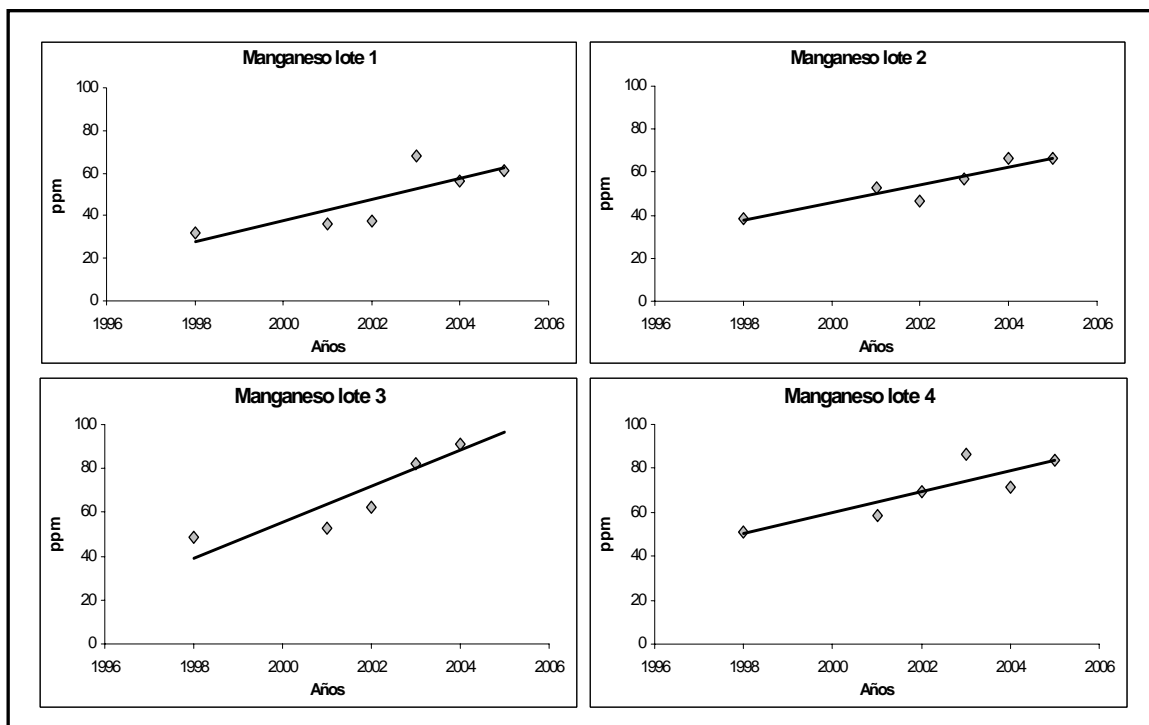


FIGURA 13 Variación de la disponibilidad de Mn en el sistema.

La Figura 13 muestra una clara tendencia de aumento en la disponibilidad de Mn en el tiempo, evidenciada en las pendientes de sus líneas de tendencia indicadas en el Cuadro 61. Al comparar lo anterior con el balance,

se manifiesta una concordancia entre ambos, ya que tanto el balance, como los análisis de suelo, indican ganancias en el sistema. Cuantitativamente hablando, los análisis de suelo, muestran un aumento promedio anual en la disponibilidad de 5,52 ppm de Mn en el suelo, con ganancias promedio en el balance de 872 g de Mn/ha/año, lo que equivale a decir, que por cada 158 g de Mn acumulados, se aumenta 1 ppm de disponibilidad de Mn en el suelo.

CUADRO 61 Pendientes de las rectas de variación de la disponibilidad de Mn en el sistema y balance final de Mn.

Manganeso	Lote 1	Lote 2	Lote 3	Lote 4	Promedio
Pendiente de la recta	4,90	4,15	8,23	4,78	5,52
Balance (g/ha/año)	872	872	872	872	872
Relación g/ha/año y ppm					158

De esta forma, se produce una acumulación de Mn en el suelo, debido a la aplicación de purines al suelo y en menor medida la incorporación de alimentos suplementarios en la dieta del rebaño lechero, ambas fuentes importantes de aporte de este micronutriente.

4.7.11 Boro. La variación de la disponibilidad de B en el tiempo se muestra, para cada lote de potreros, en los gráficos de la Figura 14. En el Cuadro 62, se indican las pendientes de las rectas de variación de disponibilidad de B y el balance final de este elemento en el sistema.

Se excluyeron algunos resultados de los análisis de suelo, por presentar naturaleza errática con respecto a los otros. En el lote 1 y lote 2, se omitió el año 2003; en el lote 3, el año 2003 y 2004; y en el lote 4, el año 2003, y para el potrero 8 el año 2004.

En la Figura 14, se observa que existe un aumento de la disponibilidad de B en el suelo a través del tiempo, para todos los lotes de potreros. Este

aumento es evidenciado por las pendientes de las líneas de tendencia de los gráficos mostrados en el Cuadro 62, y concuerda con la acumulación señalada por el balance, ya que en ambas existe una ganancia de B en el tiempo.

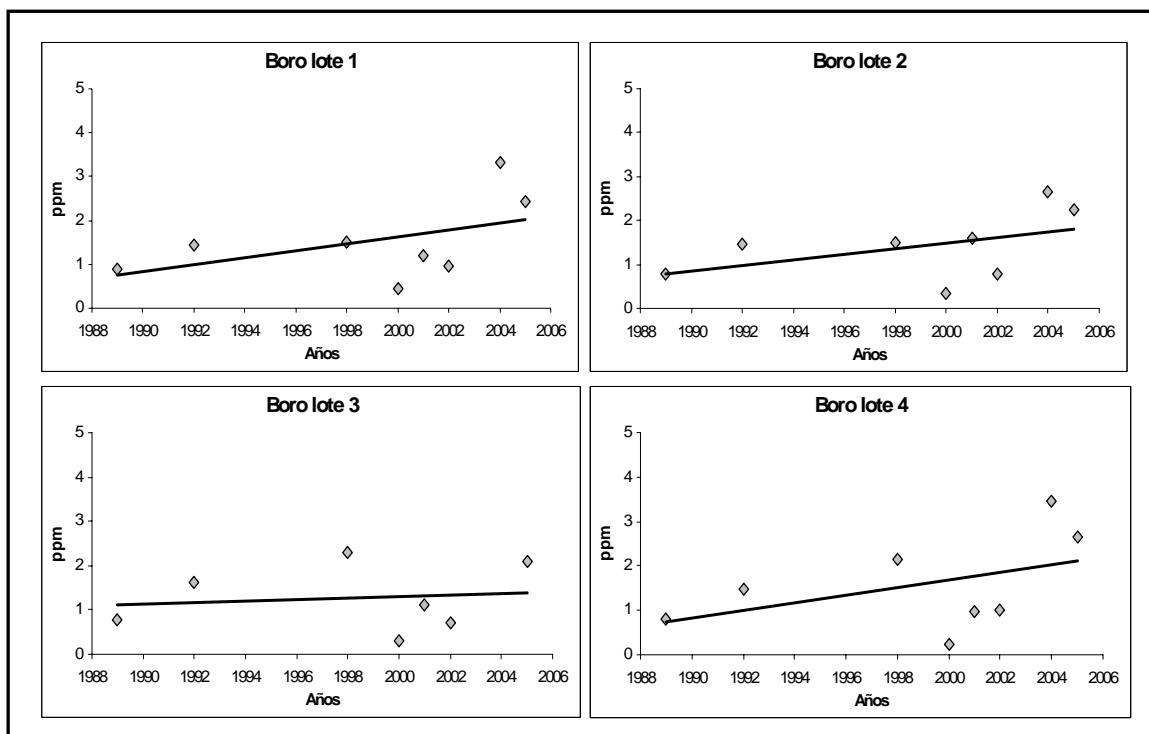


FIGURA 14 Variación de la disponibilidad de B en el sistema.

CUADRO 62 Pendientes de las rectas de variación de la disponibilidad de B en el sistema y balance final de B.

Boro	Lote 1	Lote 2	Lote 3	Lote 4	Promedio
Pendiente	0,080	0,065	0,018	0,087	0,06
Balance (g/ha/año)	192	192	192	192	192
Relación g/ha/año y ppm					3.072

Cuantitativamente, el aumento promedio en la disponibilidad de 0,06 ppm B/ha/año equivale a acumular, en promedio, 192 g B/ha/año. De esta manera, por cada 3.072 g B/ha acumulados, la disponibilidad aumenta 1 ppm de B al año. El aumento en la disponibilidad y la acumulación de B, como en el caso del Mn, se deben a las cantidades aportadas al sistema en la aplicación de purines

al suelo y en menor medida a la incorporación de alimentos suplementarios en la dieta del rebaño lechero. A pesar de que en ambos casos, las cantidades ingresadas son muy pequeñas, son igualmente significativas en términos del balance, ya que las cantidades egresadas de B son más pequeñas aún.

4.8 Balance de Nitrógeno en el sistema lechero analizado

Para evaluar el nitrógeno en el sistema lechero se debe considerar que el nitrógeno no tiene un indicador confiable de su acumulación en el suelo, por ello su análisis debe ser distinto al resto de los nutrientes. El indicador de N mineral, que puede ser útil en cultivos y en praderas, en este caso pierde su utilidad dado que el N mineral tiene alta movilidad como nitrato, alta pérdida en el suelo por lixiviación, desnitrificación y volatilización desde el N amoniacal, inmovilización temporal en la biomasa radical y en la biomasa microbial, lo que refleja su gran variabilidad como índice de disponibilidad. Por ello, se hace dificultoso predecir y cuantificarlo en el sistema.

De esta forma, y por lo anteriormente señalado, se realizó un análisis del balance de N en forma separada del resto de los nutrientes y se estimó en base a este balance la eficiencia de fertilización y de uso del nutriente N en el sistema lechero analizado.

En el Cuadro 63 se muestra los ingresos y egresos de N en los respectivos lotes, valores utilizados en el cálculo de eficiencia del N agregado. Para calcular la eficiencia de N agregado, se dividió en cada lote y en cada año, el N que sale desde el sistema (egreso) por el N que entra al sistema (ingreso). El resultado de este cálculo es denominado eficiencia de N agregado, que al multiplicarse por 100 queda como porcentaje.

CUADRO 63 Ingresos y egresos de N (kg N/ha/año).

Potrerros	Balance	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	\bar{x}
Lote 1	Ingreso	204	247	245	248	228	180	202	279	281	269	254	198	236
	Egreso	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149
Lote 2	Ingreso	253	271	222	227	247	168	320	291	315	283	227	198	252
	Egreso	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149
Lote 3	Ingreso	270	232	233	263	239	167	282	333	312	282	204	198	251
	Egreso	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149
Lote 4	Ingreso	189	283	254	258	250	159	325	304	345	300	201	198	256
	Egreso	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149

CUADRO 64 Eficiencia de N agregado.

Potrerros	Balance	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	\bar{x}
Lote 1	Eficiencia	0,73	0,61	0,61	0,60	0,66	0,83	0,74	0,54	0,53	0,56	0,59	0,76	0,65
Lote 2	Eficiencia	0,59	0,55	0,67	0,66	0,60	0,89	0,47	0,51	0,47	0,53	0,66	0,76	0,61
Lote 3	Eficiencia	0,55	0,65	0,64	0,57	0,62	0,90	0,53	0,45	0,48	0,53	0,73	0,76	0,62
Lote 4	Eficiencia	0,79	0,53	0,59	0,58	0,60	0,94	0,46	0,49	0,43	0,50	0,74	0,76	0,62
Promedio														0,62

Como se observa en el Cuadro 64, el promedio de la eficiencia de N agregado fue de 0,62. Es decir, el 62% del N ingresado como fertilizante y/o enmienda, se habría utilizado por las plantas y reciclado en el sistema lechero y el porcentaje restante (38%) se habría perdido desde el sistema, asumiendo que el N mineral no se acumula en el suelo. Este supuesto, implica que el N que se inmovilizaría estaría volviendo a ser mineralizado dentro del año del balance, por lo que su ingreso y devolución estaría en equilibrio (o estado estacionario). Según PINOCHET (2001), estudios recientes muestran valores entre 60 y 70% de eficiencia de N agregado, como habituales en los sistemas de praderas de la Décima Región, dependiendo en gran parte, del manejo y tipo de fertilización que se realice. De la misma manera, RUSELLE (1992), señala que en estudios realizados en sistemas de manejo de praderas, los valores de recuperación del N (eficiencia del N agregado) son usualmente superiores a 55% en relación al N agregado. En base a lo anterior, para cuantificar el balance incluyendo la eficiencia de ingreso, se utilizó un 65% de eficiencia de

de N agregado como valor representativo para el estudio, pero un valor más preciso requiere de estudios y mediciones directas de las pérdidas del N en el suelo, los cuales están fuera del alcance de este trabajo.

En el balance utilizado en este estudio para N, no se consideraron eficiencias de ingreso para los distintos tipos de N que se reciclan en el sistema ganadero, con la excepción de las pérdidas de transferencias debido al manejo animal. En futuros estudios para hacerlo más real y representativo es necesario incluir, en base a datos más precisos, eficiencias para cada uno de los ingresos. Sin embargo, parece razonable que en el plazo de un año, se pueda reciclar adecuadamente el N ingresado en los residuos vegetales y en las fecas, lo que implica que también estarían en condición de equilibrio en el largo plazo o en estado estacionario.

Al recalcular el balance de N incluyendo una eficiencia de fertilización de 65%, el balance se modifica considerablemente en cada uno de los años y muestra en que condiciones puede haber existido déficit de N o exceso de N aplicado al sistema lechero estudiado. En el Cuadro 65 se muestra en detalle el cambio que ocurre en el balance de N.

CUADRO 65 Balance de N (kg N/ha/año) sin eficiencia y con 65% de eficiencia de N agregado.

Potreros	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	Prom
Balance de N agregado (sin considerar eficiencia)													
Lote 1	55	97	95	98	78	30	52	130	131	119	105	48	87
Lote 2	103	121	73	78	98	18	170	142	166	134	77	48	102
Lote 3	121	82	83	113	90	17	133	183	162	132	54	48	102
Lote 4	39	134	105	109	100	9	175	155	196	151	52	48	106
Balance de N (considerando un 65% de eficiencia del N agregado)													
Lote 1	-2	26	24	26	13	-18	-4	47	48	40	31	-6	19
Lote 2	29	41	10	13	26	-26	73	54	70	50	13	-6	29
Lote 3	41	16	17	36	21	-26	49	81	68	48	-2	-6	29
Lote 4	-12	49	31	33	28	-32	76	63	90	60	-4	-6	31

El balance sin eficiencia de N agregado, es positivo en todos los lotes y en todos los años. A diferencia del balance con 65% de eficiencia en que en algunos lotes y años es negativo, demostrando que en esos años, faltó agregar N al sistema. De la misma forma, en los años en que el balance se muestra positivo, sobró N en el sistema, perdiéndose para los siguientes años.

Este nuevo balance, en el cual se incluye la eficiencia del N que se aplica, es muy importante en términos de manejo agronómico. En caso de ser negativo, significa que el sistema está gastando más de lo que ingresa, y por ende es necesario aumentar los aportes por fertilización, para mantener la productividad que el sistema lechero requiere. Si por el contrario, es positivo, se está gastando menos N de lo que ingresa al sistema, y el N sobrante se está perdiendo de alguna forma, por lo que es necesario aumentar los egresos para hacer que el balance tienda a cero y no producir esa pérdida, que podría ser perjudicial para el ecosistema en términos de contaminación de aguas, y a la vez desventajoso en términos administrativos por los mayores costos de producción.

4.9 Restricciones del estudio

La complejidad que involucra el correcto estudio del balance de nutrientes en los sistemas agrícolas actuales y en especial en el sistema lechero estudiado es muy alta, debido esencialmente a la gran cantidad de factores que intervienen en la cuantificación de los ingresos y egresos de nutrientes hacia y desde el sistema en estudio, detallados ampliamente en los capítulos anteriores. Estos factores, en la mayoría de los casos no fueron posibles de medir y debieron ser cuantificados con el respaldo de otras investigaciones científicas, y con la información recopilada de las bases de datos y cuadernos de anotación del predio. Sin embargo, en este estudio de balance de nutrientes realizado en el sistema lechero del predio “Las Vegas”,

existieron algunas restricciones, que deben considerarse y quedar estipuladas como respaldo del trabajo realizado. Las restricciones del trabajo se detallan a continuación:

- En el capítulo de ingresos, específicamente en la aplicación de fertilizantes (4.2.1), no se consideraron las eficiencias de aplicación de estos, salvo en el caso del nitrógeno. Se asumió que el 100% de los fertilizantes ingresan al suelo y están potencialmente disponibles para ser absorbidos por la pradera, como lo señala KARLOVSKY (1981).
- En el capítulo de egresos (4.4), salvo para el nitrógeno, no se consideraron algunas pérdidas del suelo propias del sistema, como lixiviación, volatilización, erosión y arrastre superficial, debido a la dificultad de cuantificación de estas, siendo muy variables en el tiempo por lo que requieren, para su determinación, de mediciones más precisas y directas, que están fuera del alcance de este estudio.
- Las aplicaciones de purines, detalladas en el capítulo de ingresos (4.2.2), se consideraron homogéneas para todos los potreros y sus lotes, respaldándose en lo señalado por el agricultor y detallado en el capítulo de manejo de purines (3.6.3.6). No obstante, al observar los resultados analíticos de los análisis de suelo, sobre todo del potasio, existe un comportamiento errático de la disponibilidad de este elemento en algunos años, la cual podría deberse a aplicaciones más frecuentes en los potreros que la presentan, por lo que las distribuciones de los purines no serían homogéneas, como fueron consideradas.

5. CONCLUSIONES

Para el sistema lechero estudiado, sometido a 12 años de análisis en los 4 lotes de potreros seleccionados, se concluye que:

La información recopilada de las bases de datos y archivos del predio, junto a la obtenida en terreno, permitieron el establecimiento de una metodología y el análisis de la información del sistema lechero evaluado. Sin embargo, la información recopilada no fue suficiente para realizar un análisis de balance completo, por lo que fue necesario recurrir a estudios e investigaciones como complemento y respaldo de la información utilizada en este estudio.

El balance promedio de nutrientes fue positivo para los macronutrientes Ca, Mg, S y Na y negativo para P y K. En el caso de los micronutrientes, fue positivo para Fe, Cu, Zn, Mn y B y negativo para Cl, Co y Mo. Por su parte, el balance de N, analizado en forma independiente al resto de los nutrientes, fue positivo en el promedio de los 12 años de estudio, pero negativo en algunos años y lotes de potreros.

La disponibilidad de los nutrientes en el suelo varió a través del tiempo dependiendo del nutriente analizado. Los macronutrientes P, K y S presentaron una disminución de su disponibilidad en el suelo, a diferencia del Ca, Mg y Na quienes aumentaron de disponibilidad en el transcurso de los años de estudio, al igual que los micronutrientes Fe, Cu, Zn, Mn y B. Para el caso del N, no se realizó la determinación de variación de su disponibilidad en el suelo por la alta variabilidad que presenta.

El balance de nutrientes y la disponibilidad de nutrientes en el suelo presentaron una concordancia en la mayoría de los nutrientes. En Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Zn, Mn y B se observaron balances positivos, que produjeron acumulación de nutrientes en el sistema suelo, reflejado en la disponibilidad de los nutrientes en el suelo. Para el caso de balances negativos, P y K, se produjo desacumulación en el suelo, reflejado en una disminución en la disponibilidad de los nutrientes en el suelo. Distinto fue el caso del S, en que se produjo una discordancia entre el balance y la disponibilidad, el balance fue positivo y la disponibilidad disminuyó en el tiempo.

La utilización de los balances de nutrientes en conjunto a la medición de la disponibilidad de los nutrientes en el suelo, se presenta como una herramienta de control y manejo de la fertilidad del suelo para el sistema lechero estudiado y sugiere que puede extrapolarse a otros sistemas agrícolas similares, adaptando y modificando algunos factores propios de cada sistema y cuantificando las cantidad de nutrientes que ingresan y egresan en cada sistema en particular.

6. RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar una metodología de análisis de la información de un sistema lechero, en base al balance de nutrientes y a la variación de la disponibilidad de los nutrientes en el suelo, como herramienta de control de la fertilidad de los suelos bajo un determinado manejo agronómico. Se utilizó como estudio un caso particular, el Fundo Las Vegas de propiedad de Don Enrique Oelckers, ubicado en la comuna de San Pablo, Provincia de Osorno, Décima Región. La evaluación se realizó a través de un ordenamiento de la información recopilada de las bases de datos y los cuadernos de anotaciones de la administración del predio, registros que cuentan con información desde 1988 hasta el año 2004. Se recopiló información de las dosis aplicadas de fertilizantes y enmiendas, los análisis químicos de disponibilidad de nutrientes en el suelo y los principales aspectos de manejo agrícola, lechero y ganadero, como pastoreo, carga animal, producción lechera, conservación de forraje y aplicación de purines. Adicionalmente a esta información, se realizaron algunos muestreos y análisis en terreno como análisis físicos y químicos de suelo en profundidad y un análisis químico de purines. Para estimar el crecimiento de las praderas se utilizaron mediciones realizadas con jaulas de exclusión y los resultados obtenidos por el simulador de crecimiento PRADSIM. Para obtener una mayor representatividad, los datos obtenidos y ordenados por potrero fueron procesados y reordenados por lote de potreros. El balance de nutrientes fue cuantificado en base a los ingresos y egresos del predio desde el año 1993 al 2004. Los resultados analíticos de los análisis de suelo, fueron sometidos a un análisis de regresión lineal para obtener las funciones que se ajustan a las curvas de variación de disponibilidad.

Toda la información obtenida se complementó y respaldó con otros estudios e investigaciones relacionadas con el trabajo.

Los resultados evidenciaron que existen balances positivos para la gran mayoría de los nutrientes estudiados (N, Ca, Mg, S, Na, Fe, Cu, Zn, Mn y B) y negativos para los nutrientes restantes (P, K, Cl, Co y Mo). La disponibilidad de los nutrientes en el suelo aumentó en el tiempo en los nutrientes con balance positivo (Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Zn, Mn y B) y disminuyó en el resto de nutrientes con balance negativo (P, K). La excepción fue el S, en el cual no coincidió el balance con las mediciones de disponibilidad de este nutriente, lo cual fue atribuido a la alta movilidad de este nutriente en el suelo.

La utilización de los balances de nutrientes en conjunto con la medición de la disponibilidad de los nutrientes en el suelo, se presenta como una herramienta de control y manejo de la fertilidad del suelo para el sistema lechero estudiado y, se sugiere que puede extrapolarse a otros sistemas agrícolas, adaptando y modificando algunos factores y cuantificando las cantidad de nutrientes que ingresan y egresan en cada sistema en particular.

SUMARY

The objective of this study was the evaluation of an analytical methodology of dairy system information, based on the balance of nutrients and the availability variation of those nutrients in soil, as a control tool of soil fertility under a determined agronomical management. A particular case was used as study object, the Fundo Las Vegas, property of Mr. Enrique Oelckers located in San Pablo, Province of Osorno, tenth Region. Evaluation was done through the ordering of information compiled from the data bases and the notebooks of the farm administration, registries counting with information from 1988 to 2004. Compilation included information of the fertilizers doses and amendments applied, the chemical analysis of nutrients availability in soil, and the main aspects of agricultural, milking and cattle handling, as shepherding, animal load, milk production, forage conservation and purine application. Additionally to this information, some sampling and analysis was done in terrain, as physical and chemical analysis of deep soil and chemical analysis of purine. To estimate prairie growth, measurements made with exclusion cages were used and results obtained trough the growth simulator PRADSIM. In order to get better representatively, field data obtained and ordered was processed and reordered by lot of fields. The nutrients balance was quantified based on the farm income and outcome from 1993 to 2004. The analytical results of soil analysis were subject of lineal regression analysis to get functions adjusted to availability variation curves. All the information obtained was complemented and backed up with other studies and investigation related with this work.

Results showed that there is a positive balances for the majority of studied nutrients (N, Ca, Mg, S, Na, Fe, Cu, Zn, Mn, and B) and negative for the

remaining nutrients (P, K, Cl, Co, and Mo). Availability of nutrients in soil increased in time in those with positive balance (Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Mn, and B) and diminished in the rest of nutrients with negative balance (P, K). Exception was S, whose balance did not agree with availability measurements, which was attributed to the high mobility of this nutrient in soil.

The use of the balance of nutrients altogether with the measurement of availability of nutrients in soil, is presented as a tool of control and management of soil fertility for the studied dairy system, and is suggested that it can be extrapolated to other agricultural systems, adapting and modifying some factors and quantifying the amount of nutrients that get into and out of each particular system.

6. BIBLIOGRAFÍA

- ANRIQUE, R. 1995. FIA, Composición de alimento para Ganado en la zona sur. Valdivia. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias. 57p.
- BALOCCHI, O.; CARRILLO, R.; FUENTES, R.; NISSEN, J.; y PINOCHET, D. 2002. Apuntes Curso Manejo de Praderas. PRAN 121. Instituto de Producción Animal. Universidad Austral de Chile. 81 p.
- BULLOCK, D. 2000. Análisis de suelos, Algunas ideas acerca de precisión y producción bajo siembra directa. Presentado en el VIII Congreso Argentino de Siembra Directa, AAPRESID. Mar del Plata, 16-18 agosto 2000.
- CORFO. 1964. Descripciones proyecto aerofotogramétrico – Chile – OEA – B.I.D. Cooperación del Ministerio de Agricultura. Departamento de conservación de suelo y agua. San José impresores. Santiago. 391 p.
- COOPERATIVA AGRÍCOLA Y LECHERA DE LA UNIÓN. 2004. Historial de antecedentes climáticos de la estación meteorológica de la Planta COLUN. Planillas electrónicas con precipitaciones y temperaturas desde 1987. La Unión. Chile.

DALRYMPLE, R. 1994. Nutrient recycling. Agricultural News and Views. Vol. 12 N° 4. p 3.

DE WIT, C.T. 1974. Conceptos iniciales de fertilidad de suelos. Traducido por Pinochet, D. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias, Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos. Valdivia. 8 p.

DUMONT, J. 2000. Manejo eficiente de purines bovinos. Informativo N° 21. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA Remehue. Osorno.

DUMONT, J.; y MEDONE F. 2000. Efectos de la aplicación de purines en praderas permanentes en Chiloé. XXVIII Reunión anual de la Sociedad Chilena de Producción Animal, SOCHIPA. Libros resúmenes. Talca. 15 al 17 de octubre de 2003. p. 9-10.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA) 2004. Whole Farm Nutrient Balance. U.S. <http://www.epa.gov/agriculture/ag101/impactwholefarm.html>. (03/03/05).

GARCÍA, F. 2003. Balance de nutrientes en la rotación, Impacto en rendimientos y calidad de suelo. Presentado en el XI Congreso nacional de AAPRESID, II Simposio de fertilidad y fertilización en siembra directa. Rosario, Argentina. 26 – 29 de agosto de 2003.

GLOSSARY. 2005. Definición del balance de nutrientes. <http://www.fertilizer.org/ifa/publicat/glossary/espanol/404.htm>. (03/03/05).

- HAVLIN, J.; BEATON, J.; TISDALE, S.; y NELSON, W. 1999. Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management. Prentice Hall. Inglaterra. 499 p.
- HAYNES, R.; y WILLIAMS, P. 1993. Nutrient cycling and soil fertility in the grazed pasture ecosystem. *Advances in Agronomy* 49: 119-199.
- HERNÁNDEZ, O. 2002. Variación estacional de la concentración de nutrientes minerales en cultivares de *Lolium perenne* L. Tesis Lic. Agr. Valdivia. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias. 101 p.
- IREN-CORFO-UACH. 1978. Suelos de la Provincia de Valdivia. Universidad Austral. Santiago, Chile. 178 p.
- JAHN E.; VIDAL A.; y SOTO P. 1999. Sistema de producción de leche basado en alfalfa (*medicago sativa*) y maíz (*zea mays*) para la Zona Centro Sur. II Consumo y calidad del forraje. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Quilamapu, Chillán, Chile. *Agricultura Técnica* 60 (2): 99-111.
- JANSSEN, B. 1999. Basic of Budgets, Buffer and Balances of Nutrients in Relation to Sustainability of Agroecosystems. **In:** Smaling, E.M.; Oenema, O.; y Fresco L. Nutrient disequilibria in Agroecosystems, Concepts and case studies. CABI Publishing. Cambridge, UK. University Press. pp 27-56.

- KARLOVSKY, J. 1981. Cycling of nutrients and their utilization by plants in Agricultural ecosystems. *Agro-Ecosystems*, 7: 127-144.
- MERCK. 2005. Catálogo 2005 – 2007, de reactivos y productos químicos. KGaA, Darmstadt, Alemania. 975 p.
- MINISTERIO DE SALUD. 1998. Reglamento Sanitario de los Alimentos. Decreto Supremo N° 977. Párrafo II de los requisitos de la leche. Art. 203. Santiago, Chile. 89 p.
- MONTALDO, P.; MAC DONALD, R.; y FUENTES, R. 1982. Zonificación agroecológica de la décima región, Chile. *Agro Sur* 10(2). Valdivia, Chile. pp 131-140.
- PECK, T.; y SOLTANPOUR, P. 1990. The principles of soil testing. **In:** R.L. Westerman (Ed.) *Soil Testing and Plant Analysis*. Soil Science Society of America, Madison, WI. pp. 1-9.
- PINOCHET, D. 1999. Potencial productivo de las praderas naturalizadas de la IX y X Regiones. **In:** Anrique, R.; Latrille, L.; Balocchi, O.; Alomar, D.; Moreira, V.; Smith, R., Pinochet, D.; Vargas, G. *Competitividad de la productividad lechera nacional*. Valdivia. Universidad austral de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias. Vol. 1. pp 75-115
- PINOCHET, D. 2001. Apuntes Curso Nutrición Vegetal IIAS 123. Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos. Universidad Austral de Chile. 117 p.

- PINOCHET, D. 2002. Apuntes Curso Manejo de Praderas. PRAN 121. Instituto de Producción Animal. Universidad Austral de Chile.
- RENNER, E.; SCHAAFSSMA, G.; y SCOUT, K.J. 1989. Micronutrients in milk. *In*: Renner, E. Micronutrients in milk and milk based food products. Elsevier, London. pp 1-70.
- RODRÍGUEZ, J.; PINOCHET, D.; y MATUS, F. 2001. Fertilización de los cultivos. Santiago, Chile. Ed: Lom. 117p.
- RUSSELLE, M. 1992. Nitrogen cycling in pasture and range. *Journal of Production Agriculture*. Vol. 5 No. 1 p. 13 – 23.
- SALAZAR, F. J.; DUMONT, J.C.; SANTANA, M.; *et al.* 2003. Prospección del manejo y utilización de efluentes de lecherías en el sur de Chile. *Arch. Med. Vet.*, dic. 2003, vol.35, no.2, pp.215-225. ISSN 0301-732X.
- SCOBIE, G. 1985. El uso de los fosfatos en la fertilización de los pastos: Hacia una síntesis de los aspectos técnicos y económicos. Ruakura Agricultural Research Centre. Hamilton, Nueva Zelandia. Texto preparado para el Seminario de Desarrollo Ganadero. Corporación de Fomento de la Producción. Osorno, Chile. 37 p.
- SIERRA, C. 1992. Estudio de Fertilidad de los suelos del Predio Las Vegas. Propietario Enrique Oelkers. Osorno, Chile. 22 p.

SUMMER, M. 2000. Diagnóstico de los requerimientos de fertilización de cultivos extensivos. Presentado en el VIII Congreso Argentino de Siembra Directa, AAPRESID. Mar del Plata, 16-18 Agosto de 2000.

UNDERWOOD, E.; y SUTTLE, N. 1999. The Mineral Nutrition in Livestock. 3ª ed. Wallingford CAB International. 600 p.

VAN KEULEN, H.; y WOLF, J. 1986. Modeling of agricultural production: weather, soils and crops. Holanda. Wageningen. 479 p.

WHITEHEAD, D. 2000. Nutrient elements in grassland. Soil-plant-animal relationship. CABI Publishing. Department of Soil Science. UK. University of Reading. 369 p.

WHITEHEAD, D.; y JONES, E. 1969. Nutrient element in herbage of white clover, red clover, lucerne and sainfoin. Journal of the Science of Food and Agriculture 20: 584-591.

ANEXOS

ANEXO 1 Resultados analíticos de los análisis de suelo del potrero 2.

Año	pH H ₂ O	pH CaCl ₂	M.O %	N min ppm	P olsen ppm	K ppm	Na meq/100g	Ca meq/100g	Mg meq/100g	S.B meq/100g	Al meq/100g	Sat Al %	S ppm	B ppm	Zn ppm	Fe ppm	Cu ppm	Mn ppm	Mo ppm	Al extrac ppm
1989	5,73	-	7,10	-	19	517	-	7,57	1,65	10,55	0,16	1,52	5,0	0,80	2,70	-	-	-	0,30	274
1992	5,68	5,08	7,55	21,00	19,0	379	0,31	10,91	1,90	14,16	0,07	0,49	46,62	1,77	5,36	-	4,25	-	0,28	239
1993	5,40	5,00	-	-	23,0	339	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1994	5,96	5,43	9,11	-	27,0	956	0,27	10,27	2,26	15,27	0,02	0,13	17,76	1,09	8,47	-	-	-	-	231
1995	6,12	5,48	7,34	46,2	24,0	400	0,72	10,51	2,85	15,14	0,03	0,20	9,85	1,33	3,42	51,20	4,66	-	0,25	159
1998	6,0	5,1	7,6	14,0	20	223	0,68	8,86	2,23	12,34	0,08	0,60	2,0	2,1	3,1	69,3	5,0	50,0	-	249
2000	5,7	5,0	7,2	36,4	26,9	203	0,41	12,00	2,30	15,23	0,12	0,80	7,7	0,3	4,1	-	-	-	-	-
2001	5,9	5,0	6,7	23,8	25,0	371	0,50	10,70	2,10	14,25	0,01	0,07	5,6	1,2	2,8	42,7	3,4	45,7	-	-
2002	5,9	5,1	4,0	64,4	16,3	313	0,72	9,61	2,25	13,38	0,06	0,50	11,2	0,7	4,6	146,0	11,1	59,0	-	-
2003	6,1,	5,4	6,9	14,0	21,0	156	0,42	9,92	1,98	11,70	0,08	0,70	2,3	3,8	2,6	91,9	5,5	70,7	-	-
2004	5,9	5,4	6,8	39,2	15,3	129	0,49	10,58	1,87	13,27	0,03	0,2	2,9	3,5	3,1	88,4	4,8	87,7	-	-
2005	6,2	5,4	7,7	26,6	17,4	317	0,35	12,26	2,32	15,74	0,03	0,2	5,8	1,9	3,84	110,9	7,5	106	-	237

ANEXO 2 Resultados analíticos de los análisis de suelo del potrero 4.

Año	pH H ₂ O	pH CaCl ₂	M.O %	N min ppm	P olsen ppm	K ppm	Na meq/100g	Ca meq/100g	Mg meq/100g	S.B meq/100g	Al meq/100g	Sat Al %	S ppm	B ppm	Zn ppm	Fe ppm	Cu ppm	Mn ppm	Mo ppm	Al extrac ppm
1989	5,91	-	6,01	-	19,0	404	-	7,49	2,57	11,10	0,17	1,53	5,90	0,70	1,90	-	-	-	0,25	268
1992	5,78	5,11	7,82	25	22,0	244	0,42	10,89	1,70	13,74	0,11	0,80	22,12	1,61	4,88	-	4,28	-	0,28	279
1993	5,30	4,90	-	-	33,0	374	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1995	6,15	5,48	8,70	39,1	42,0	588	0,69	10,56	3,11	15,89	0,03	0,16	7,11	1,32	3,44	55,99	5,28	-	0,24	146
1998	5,9	5,0	6,2	11,2	17,9	207	0,57	8,47	2,34	11,91	0,11	0,9	2,0	2,3	2,2	58,0	4,5	46,0	-	217
2000	5,6	4,9	7,2	40,6	24,8	461	0,40	10,90	2,50	14,98	0,12	0,80	9,70	0,30	3,60	-	-	-	-	-
2001	5,9	5,2	6,7	21,0	22,4	270	0,45	11,70	2,30	15,14	0,02	0,10	5,20	1,30	3,00	46,9	0,6	55,3	-	-
2002	6,0	5,4	6,7	56,0	12,7	368	0,76	9,71	2,62	14,03	0,04	0,30	42,50	0,50	4,00	122,0	13,3	65,1	-	-
2003	6,2	5,3	6,0	16,8	14,3	301	0,49	8,01	2,47	11,70	0,08	0,70	7,10	8,70	1,80	77,7	6,1	90,4	-	-
2004	6,2	5,6	6	25,2	17,8	332	0,45	10,2	2,05	13,55	0,03	0,2	2,8	3,8	2,9	88,5	5,4	98,9	-	-
2005	5,9	5,3	7,1	19,6	18,2	250	0,34	11,4	2,3	14,68	0,05	0,3	5,5	1,8	3,51	101,9	6,87	110	-	250

ANEXO 3 Resultados analíticos de los análisis de suelo del potrero 6.

Año	pH H ₂ O	pH CaCl ₂	M.O %	N min ppm	P olsen ppm	K ppm	Na meq/100g	Ca meq/100g	Mg meq/100g	S.B meq/100g	Al meq/100g	Sat Al %	S ppm	B ppm	Zn ppm	Fe ppm	Cu ppm	Mn ppm	Mo ppm	Al extrac ppm
1989	5,86		8,15		26	381		5,91	1,3	8,19	0,52	6,35	5	0,9	2,1				0,28	407
1992	5,6	5,04	7,51	33	20	443	0,24	8,95	1,89	12,34	0,13	1,05	45,1	1,64	11,56		3,72		0,25	280
1993	5,3	4,8			31	343														
1995	5,97	5,29	8,7	25,8	36	367	0,88	9,12	2,93	13,96	0,09	0,64	16,36	1,22	2,05	58,35	3,63		0,25	249
1998	5,8	4,9	7,6	12,6	21,4	242	0,56	7,23	2,17	10,58	0,17	1,6	3	1,5	2,3	73,3	4,3	42,7		309
2000	5,4	4,8	8,1	144,8	26,5	285	0,66	28,7	2,2	32,29	0,11	0,3	12,4	0,2	2,6					
2001	5,7	5,0	7,6	19,6	24,2	340	0,5	9,8	2,3	13,47	0,05	0,4	6,5	1,2	3,5	83,4	4,4	51,5		
2002	6,0	5,2	6,7	63,0	11,5	399	0,77	8,28	2,66	12,73	0,03	0,2	14,2	0,9	3,3	120	10,9	59		
2003	6,0	5,2	7,1		16,8	375	0,38	9,18	2,25	12,77	0,11	0,9	21,4	4,1	1,9	78,9	5	102,5		
2004	6,1	5,3	7,4	23,8	19,5	489	0,47	8,35	1,9	11,97	0,08	0,7	4,7	3,6	2,2	97,5	4,8	70,6		
2005	6,1	5,3	8,7	21	25,5	395	0,33	10,87	2,15	14,36	0,06	0,4	6,8	2,2	3,09	104,5	6	88		305

ANEXO 4 Resultados analíticos de los análisis de suelo del potrero 8.

Año	pH H ₂ O	pH CaCl ₂	M.O %	N min ppm	P olsen ppm	K ppm	Na meq/100g	Ca meq/100g	Mg meq/100g	S.B meq/100g	Al meq/100g	Sat Al %	S ppm	B ppm	Zn ppm	Fe ppm	Cu ppm	Mn ppm	Mo ppm	Al extrac ppm
1989	5,84	-	7,26	-	16	396	-	8,37	1,58	10,97	0,1	0,91	6,7	0,8	2,4	-	-	-	0,32	290
1992	5,58	4,85	7,24	28	28	410	0,36	7,34	1,34	10,52	0,43	4,09	36,99	1,39	5,89	-	2,57	-	0,2	378
1993	5,5	5,1	-	-	24	519	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1995	6,23	5,58	8,15	24,5	27	471	0,79	11,39	2,66	16,05	0,002	0,01	13,34	1,23	2,62	47,51	4,97	-	0,22	159
1998	5,9	5	6,7	9,8	17,3	262	0,77	8,01	1,69	11,14	0,09	0,8	2	2,6	2,3	65,3	5	46	-	248
2000	5,5	5,0	7,7	47,6	22,2	434	0,44	32,00	2,30	35,85	0,05	0,1	14,2	0,3	2,8	-	-	-	-	-
2001	5,7	4,8	7,2	29,4	19,1	356	0,46	11,60	1,90	14,87	0,03	0,2	7,0	0,8	3,6	62,5	5,9	69,8	-	-
2002	5,9	5,0	6,7	53,2	12,3	360	0,74	9,48	2,14	13,28	0,3	0,2	20,3	1,1	3,8	182	12,9	79,6	-	-
2003	6,0	5,2	6,5	19,6	16,5	254	0,49	7,41	1,77	10,30	0,1	1,0	7,1	4,5	2,2	86	7,6	100,4	-	-
2004	5,9	5,3	6,8	19,6	20,4	403	0,42	10,14	1,74	13,33	0,04	0,3	4,1	4,4	2,1	83,4	5,3	58,2	-	-
2005	6,1	5,4	7,3	19,6	21,6	328	0,28	11,98	2,05	15,15	0,04	0,3	6,3	3,6	3,69	101,4	7,53	106	-	240

ANEXO 5 Resultados analíticos de los análisis de suelo del potrero 10.

Año	pH H ₂ O	pH CaCl ₂	M.O %	N min ppm	P olsen ppm	K ppm	Na meq/100g	Ca meq/100g	Mg meq/100g	S.B meq/100g	Al meq/100g	Sat Al %	S ppm	B ppm	Zn ppm	Fe ppm	Cu ppm	Mn ppm	Mo ppm	Al extrac ppm
1989	5,7	-	6,83	-	22	527	-	7,32	1,67	10,34	0,27	2,61	6,1	0,8	2,9	-	-	-	0,28	311
1992	5,53	4,89	6,96	20	20	317	0,29	8,99	1,9	12,23	0,24	1,96	31,64	1,5	6,99	-	3,53	-	0,29	304
1993	5,5	4,9	-	-	27	449	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1995	5,87	5,24	9,24	48,8	29	323	0,8	9,52	2,58	13,82	0,09	0,65	8,75	1,39	2,72	55,85	4,03	-	0,3	199
1998	5,8	4,9	7	9,8	20,1	239	0,48	7,99	2,17	11,25	0,15	1,3	2	2,5	2,8	82	4,8	50	-	260
2000	5,3	4,9	7,4	91	22,1	454	0,51	10,5	2,3	14,47	0,15	1,0	17,9	0,3	3,5	-	-	-	-	-
2001	5,7	4,9	6,7	35	17,1	317	0,57	10,3	2,1	13,78	0,03	0,2	9,9	0,8	2,9	55,5	3,5	57,1	-	-
2002	5,9	5	7,6	75,6	14,9	430	0,78	9,5	1,96	13,34	0,06	0,5	19,7	0,9	4,7	152	12,4	63,7	-	-
2003	6,1	5,3	6,9	14	22	371	0,4	8,45	2,14	11,9	0,08	0,7	7,0	5,7	2,8	99,1	6,2	85,2	-	-
2004	6	5,2	6,7	26,6	14,5	399	0,45	9,5	1,84	12,81	0,03	0,2	4,3	4,3	2,6	92,7	5,2	87	-	-
2005	5,8	5,2	7,7	19,6	17,9	461	0,25	11,27	1,73	14,43	0,06	0,4	7,6	2,6	3,74	104,5	5,87	94	-	267

ANEXO 6 Resultados analíticos de los análisis de suelo del potrero 12.

Año	pH H ₂ O	pH CaCl ₂	M.O %	N min ppm	P olsen ppm	K ppm	Na meq/100g	Ca meq/100g	Mg meq/100g	S.B meq/100g	Al meq/100g	Sat Al %	S ppm	B ppm	Zn ppm	Fe ppm	Cu ppm	Mn ppm	Mo ppm	Al extrac ppm
1989	5,78	-	7,24	-	20	923	-	6,3	1,44	10,11	0,25	2,47	5,6	0,7	2,3	-	-	-	0,31	283
1992	5,49	4,9	6,28	21	26	555	0,22	8,23	1,76	11,85	0,22	1,86	35,61	1,42	9,24	-	3,79	-	0,31	281
1993	5,4	4,8	-	-	34	441	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1995	6,04	5,39	8,15	44,67	42	470	0,79	20,21	2,71	24,95	0,04	0,16	10,92	1,27	3,1	68,21	4,75	-	0,25	165
1998	5,7	4,8	6,9	8,4	22,9	223	0,57	7,75	1,84	10,73	0,17	1,6	2	2,3	3,1	76,7	5,1	64,7	-	258
2000	5,4	4,9	7,4	162,4	24,7	399	0,47	11,8	2,4	15,69	0,14	0,9	15,8	0,2	3,9	-	-	-	-	-
2001	5,8	5,0	6,7	43,8	24,1	313	0,71	10,9	2,1	14,51	0,01	0,1	6,3	0,9	2,8	50,8	3,7	54,5	-	-
2002	5,9	5,0	6,4	39,2	15,9	270	0,82	8,7	2,09	12,3	0,07	0,6	14,6	1,0	4,6	244	12,3	100	-	-
2003	6,1	5,2	6,6	16,8	18	215	0,53	7,83	2,0	10,91	0,09	0,8	3,7	8,3	2,6	88,3	6,3	86,2	-	-
2004	5,9	5,3	6,7	32,2	20,9	512	0,5	10,75	1,99	14,55	0,03	0,2	27,2	3,3	2,8	89,1	5	84,6	-	-
2005	5,9	5,4	7,1	19,6	21,3	368	0,26	13,5	2,01	16,71	0,04	0,2	6,3	2,2	3,26	92,2	6,43	80	-	240

ANEXO 7 Resultados analíticos de los análisis de suelo del potrero 13.

Año	pH H ₂ O	pH CaCl ₂	M.O %	N min ppm	P olsen ppm	K ppm	Na meq/100g	Ca meq/100g	Mg meq/100g	S.B meq/100g	Al meq/100g	Sat Al %	S ppm	B ppm	Zn ppm	Fe ppm	Cu ppm	Mn ppm	Mo ppm	Al extrac ppm
1989	5,94	-	9,29	-	79	693	-	9,78	2,37	13,93	0,14	1	9,2	1,1	4,5	-	-	-	0,25	314
1992	5,43	4,83	7,51	38	94	729	0,17	9,49	2,06	13,94	0,36	2,58	12,54	1,07	14,17	-	3,21	-	0,26	336
1995	5,76	5,28	10,87	185,3	116	705	1,01	10,85	3,24	16,99	0,08	0,47	11,5	1,21	4,55	113,8	3,84	-	0,27	205
1998	5,7	4,9	9,2	9,8	78	626	0,53	8,33	1,97	12,43	0,29	2,3	4	1,9	4,8	142,7	5,2	30	-	333
2000	5,3	4,8	9,1	61,6	119	512	0,55	27,4	2,7	31,96	0,12	0,4	13,9	0,3	5,3	-	-	-	-	-
2001	5,8	4,9	8,6	21	88,1	516	0,52	11,3	2,4	15,54	0,04	0,3	4,7	1,0	4,3	93,7	3,4	28,6	-	-
2002	5,8	5,2	8,9	75,6	56,9	802	0,88	9,77	2,63	15,33	0,08	0,5	13,7	0,9	5,5	269	7,9	33,7	-	-
2003	6,2	5,4	7,7	-	89,4	1087	0,54	10,1	2,58	16,0	0,09	0,6	29,6	6,1	4,4	136	5,7	72,1	-	-
2004	6	5,3	9	30,8	78,8	1142	0,54	12,46	2,4	18,32	0,07	0,4	10,1	3,1	3,2	113,3	4,3	32,5	-	-
2005	6,2	5,4	9,4	19,6	91,1	1367	0,24	11,15	2,85	17,76	0,05	0,3	7,4	2,8	6,13	166,5	6,44	60,6	-	275

ANEXO 8 Resultados analíticos de los análisis de suelo del potrero 17.

Año	pH H ₂ O	pH CaCl ₂	M.O %	N min ppm	P olsen ppm	K ppm	Na meq/100g	Ca meq/100g	Mg meq/100g	S.B meq/100g	Al meq/100g	Sat Al %	S ppm	B ppm	Zn ppm	Fe ppm	Cu ppm	Mn ppm	Mo ppm	Al extrac ppm
1989	6,12	-	8,45	-	30	592	-	10,6	1,75	13,87	0,07	0,5	7	0,7	2,6	-	-	-	0,3	313
1992	5,53	4,92	10,71	35	78	712	0,22	8,62	1,96	12,96	0,34	2,62	25,66	1,81	10,06	-	3,58	-	0,31	403
1993	5,7	5,2	-	-	39	640	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1995	6,04	5,53	11,14	57,38	32	481	0,81	11,8	3	16,87	0,03	0,18	11,77	1,29	2,08	64,22	3,2	-	0,27	190
1998	5,9	5,2	8,9	19,6	22,3	411	0,6	10,33	2,52	14,5	0,09	0,6	3	1,1	3,1	111,3	4,9	34	-	273
2000	5,7	5,1	9,2	36,4	33,2	368	0,45	30,2	2,8	34,39	0,07	0,2	8,5	0,3	2,3	-	-	-	-	-
2001	5,9	4,9	8,1	18,2	29,5	407	0,48	12,4	2,2	16,12	0,03	0,2	7,4	1,7	3,5	86,1	4,5	40,5	-	-
2002	6	5,2	8,4	95,2	18,5	457	0,96	11,61	2,86	16,6	0,03	0,2	15,5	0,7	3,4	207	9,1	40	-	-
2003	6,4	5,6	8,7	-	27,2	438	0,47	12,99	2,42	17	0,07	0,4	6,1	4,1	1,9	115	4,5	55	-	-
2004	6	5,5	7,1	25,2	22,2	716	0,7	14,16	2,23	18,92	0,04	0,2	47,3	2,2	2	100,6	4,9	48,6	-	-
2005	6,2	5,6	8,7	19,6	19,7	571	0,33	12,71	2,69	17,19	0,04	0,2	2,4	1,7	2,94	125,2	6,41	61,6	-	261

ANEXO 9 Resultados analíticos de los análisis de suelo del potrero 19A.

Año	pH H ₂ O	pH CaCl ₂	M.O %	N min ppm	P olsen ppm	K ppm	Na meq/100g	Ca meq/100g	Mg meq/100g	S.B meq/100g	Al meq/100g	Sat Al %	S ppm	B ppm	Zn ppm	Fe ppm	Cu ppm	Mn ppm	Mo ppm	Al extrac ppm
1989	5,55	-	10,11	-	27	304	-	7,21	1,52	9,51	0,46	4,84	6,2	0,7	2,8	-	-	-	0,29	413
1992	5,46	4,96	9,06	39	34	328	0,23	9,31	2,05	12,72	0,29	2,28	42,16	1,47	6,64	-	3,58	-	0,34	343
1993	5,4	4,9	-	-	57	421,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1995	5,92	5,29	11,69	36,8	53	355	0,8	10,5	3,06	15,27	0,002	0,01	15,58	1,29	3,14	86,14	3,71	-	0,24	246
1998	6	5,1	9,1	11,2	36,6	336	0,81	8,47	2,52	12,66	0,11	0,9	3	1,5	2,8	86	4,3	24,7	-	352
2000	5,5	4,9	9,2	39,2	52,3	261	0,82	27,8	2,2	31,49	0,11	0,3	9,6	0,3	3	-	-	-	-	-
2001	5,9	5,1	8,5	16,8	34,8	246	0,62	11,0	2,1	14,35	0,05	0,4	6,1	1,6	4	98,6	4,6	51,8	-	-
2002	5,8	5,0	10,4	63,0	31,1	266	0,73	9,73	2,33	13,27	0,06	0,5	16,2	0,7	4,1	207	7	32,3	-	-
2003	6,1	5,3	8,5	-	38,2	282	0,47	9,57	2,17	12,9	0,13	1,0	17,4	4,5	2,8	108	4,1	45,4	-	-
2004	6	5,4	9,1	28	28,6	399	0,62	10,86	2,27	14,77	0,07	0,5	30,9	1,8	2,3	97,9	4,4	49,9	-	-
2005	6	5,4	9,6	22,4	33,2	512	0,36	11,4	2,44	15,51	0,06	0,4	6,1	1,9	3,77	115	4,95	66,7	-	328

ANEXO 10 Resultados analíticos de los análisis de suelo del potrero 19B.

Año	pH H ₂ O	pH CaCl ₂	M.O %	N min ppm	P olsen ppm	K ppm	Na meq/100g	Ca meq/100g	Mg meq/100g	S.B meq/100g	Al meq/100g	Sat Al %	S ppm	B ppm	Zn ppm	Fe ppm	Cu ppm	Mn ppm	Mo ppm	Al extrac ppm
1989	5,79	-	8,67	-	22	405	-	8,57	1,67	11,28	0,17	1,51	6,2	0,8	2,8	-	-	-	0,28	345
1992	5,87	5,18	8,24	15	20	339	0,26	10,96	2,23	14,39	0,07	0,49	18,49	1,79	5,63	-	3,83	-	0,29	274
1993	5,5	4,9	-	-	29	339	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1995	5,88	5,45	10,6	61,58	37	489	0,81	11,75	3,05	16,9	0,04	0,24	11,61	1,46	3,04	69,96	3,56	-	0,3	178
1998	6	5,2	8,3	9,8	22,1	242	0,72	8,78	2,28	12,4	0,13	1	2	1,4	3,2	82,7	4,4	37,3	-	315
2000	5,7	5,0	8,5	40,6	31,9	368	0,65	29,9	2,5	33,99	0,05	0,1	7,7	0,4	3,8	-	4,9	-	-	-
2001	5,9	5	7,1	21	20,4	379	0,56	10,9	2,1	14,53	0,03	0,2	4,2	2,6	3,9	74,1	4,9	59,8	-	-
2002	6	5,3	8	58,8	14,6	442	0,61	10,8	2,64	15,28	0,03	0,2	12,5	0,9	4,4	182	10,6	58,4	-	-
2003	6,2	5,5	7,7		20,6	391	0,45	11,04	2,56	15,05	0,07	0,5	6	4,2	3,1	83,2	4,9	68,4	-	-
2004	6	5,4	7,5	30,8	16,6	481	0,5	11,23	2,39	15,35	0,06	0,4	27,5	2,2	2,5	109,1	5,2	73,8	-	-
2005	6,2	5,5	8,8	16,8	22,3	528	0,31	12,16	2,68	16,5	0,04	0,2	6,1	2,5	4,16	120,4	6,57	97	-	224

ANEXO 11 Resultados analíticos de los análisis de suelo del potrero 23.

Año	pH H ₂ O	pH CaCl ₂	M.O %	N min ppm	P olsen ppm	K ppm	Na meq/100g	Ca meq/100g	Mg meq/100g	S.B meq/100g	Al meq/100g	Sat Al %	S ppm	B ppm	Zn ppm	Fe ppm	Cu ppm	Mn ppm	Mo ppm	Al extrac ppm
1993	5,7	5,2	-	-	51	866	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1994	5,29	4,91	5,63	-	13	1138	0,21	7,53	2,67	13,6	0,28	2,06	33,7	0,74	3,22	-	-	-	-	556
1995	6,46	6,02	10,06	25,88	79	1385	0,12	15	3,91	22,58	0,003	0,01	17,47	1,79	7,4	78,23	6,65	-	0,28	149
2000	5,4	4,9	8	33,6	39	51	0,05	13,8	3,2	17,18	0,12	0,7	31,5	0,7	5	-	-	-	-	-
2001	5,9	5,1	6,9	21	36	391	0,04	15,1	2,9	19,04	0,06	0,3	20,2	0,9	3,8	49,6	4,6	39	-	-
2002	6,1	5,5	7,2	70	20,8	426	0,45	13,1	3,31	17,95	0,04	0,2	25,9	1,3	4,4	144	11,4	38,2	-	-
2003	6,2	5,6	7,3	18,2	25	375	0,32	11,62	3,03	15,93	0,06	0,4	10,7	7	3,2	104,5	7,7	80,5	-	-
2004	6,4	5,8	7,1	30,8	28,4	516	0,45	14,51	3,26	19,54	0,05	0,3	3	4,7	3,7	122,6	6,9	87,4	-	-
2005	6,3	5,7	7,3	19,6	33,8	430	0,27	15,26	3,21	19,84	0,02	0,1	2,4	2,8	5,23	147,4	8,7	101	-	200

ANEXO 12 Resultados analíticos de los análisis de suelo del potrero 25.

Año	pH H ₂ O	pH CaCl ₂	M.O %	N min ppm	P olsen ppm	K ppm	Na meq/100g	Ca meq/100g	Mg meq/100g	S.B meq/100g	Al meq/100g	Sat Al %	S ppm	B ppm	Zn ppm	Fe ppm	Cu ppm	Mn ppm	Mo ppm	Al extrac ppm
1989	5,92	-	7,63	-	17	274	-	8,78	1,65	11,13	0,14	1,26	5	0,8	2,2	-	-	-	0,23	274
1992	5,8	5,05	5,76	32	22	365	0,38	9,29	2,54	13,23	0,09	0,68	23,13	1,12	4,48	-	2,91	-	0,23	249
1993	5,5	5	-	-	22	304	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1995	6,09	5,4	8,43	34,38	28	258	0,96	11,74	2,85	16,26	0,05	0,31	11,36	1,12	3,56	72,3	5,92	-	0,37	204
1998	5,9	5,1	7,3	14	18	203	0,8	10,96	2,23	14,51	0,1	0,7	2	1,6	3	82	5,5	54	-	265
2000	5,5	4,8	8	30,8	21,4	246	0,44	11,4	2,3	14,77	0,15	1	10,2	0,3	3,7	-	-	-	-	-
2001	6	5,2	7,2	18,2	19,3	309	0,52	13	2,4	16,71	0,07	0,4	7,5	0,6	2,8	47,5	4,1	47,2	-	-
2002	6	5,3	7,1	57,4	13,3	219	0,75	10,59	2,77	14,67	0,05	0,3	9,6	0,7	3,9	131	12,4	49,5	-	-
2003	6,3	5,5	7,3	14	14,2	371	0,44	9,57	2,36	13,32	0,07	0,5	4	5,5	2,3	97	7,6	86,6	-	-
2004	6	5,4	7,5	29,4	18,5	422	0,46	11,48	2,11	15,13	0,02	0,1	3,8	4	2,9	94,7	5,5	76,5	-	-
2005	6	5,5	7,3	23,8	19,6	477	0,27	13,13	2,55	17,17	0,03	0,2	2	2,3	3,87	114,2	7,4	94	-	236

ANEXO 13 Nutrientes ingresados (kg/ha/año) por aplicación de fertilizantes y/o enmiendas en el potrero 2.

Años	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Na	S	MgO	Cl	B	Zn	Cu
1988	84,48	193,2	-	38,64	142,56	-	-	-	-	-	-
1989	63,07	151,56	-	17,30	84,89	-	-	-	-	-	-
1990	98,772	95,55	-	19	33,75	-	-	-	-	-	-
1991	123,25	259,5	-	77,59	-	39,6	5,14	-	-	-	-
1992	165,14	189,72	46,68	51,43	-	28,93	-	36,57	2,37	2,24	1,21
1993	227,33	-	-	354,96	31,59	-	177,48	-	-	-	-
1994	166,47	-	-	-	158,67	-	6,44	-	-	-	-
1995	177,25	-	-	140,8	168,87	79,2	20,64	-	-	-	-
1996	174,12	-	-	-	175,39	-	-	-	-	-	-
1997	173,36	-	-	22,98	100,28	-	15,32	-	-	-	-
1998	94,08	-	-	520,42	87,48	9,86	42,29	-	-	-	-
1999	229,66	-	-	149,08	14,42	39,14	9,09	-	-	-	-
2000	225,92	-	-	67,64	168,86	4,89	1,6	-	-	-	-
2001	259,25	-	-	170	214,38	96	6	-	-	-	-
2002	169,76	92	-	200,96	129,22	90,54	-	-	-	-	-
2003	128,2	-	-	9,6	68	-	6,4	-	-	-	-
2004	127,56	-	-	308,95	-	171	3,30	-	-	-	-

ANEXO 14 Nutrientes ingresados (kg/ha/año) por aplicación de fertilizantes y/o enmiendas en el potrero 4.

Años	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Na	S	MgO	Cl	B	Zn	Cu
1988	32	220,8	-	96	54	-	-	-	-	-	-
1989	34,05	170,57	-	21,33	50,85	-	-	-	-	-	-
1990	104	56,5	-	-	65,61	-	-	-	-	-	-
1991	128,01	246,36	-	81,48	-	41,4	5,63	-	-	-	-
1992	130,18	253,44	48,00	47,23	-	26,57	-	37,60	2,18	2,06	1,11
1993	262,66	-	-	388,8	-	-	194,4	-	-	-	-
1994	159,68	-	-	-	181	-	11	-	-	-	-
1995	152,3	-	-	128	151,62	72	17,99	-	-	-	-
1996	213,46	-	-	-	204,35	-	-	-	-	-	-
1997	195,62	-	-	26,30	111,42	-	18	-	-	-	-
1998	99,36	-	-	522,74	88,29	10,98	42,55	-	-	-	-
1999	197,28	-	-	80,27	14,56	38,75	9,00	-	-	-	-
2000	245,05	-	-	96,72	170,98	5,01	1,6	-	-	-	-
2001	251,0	-	-	170	208,06	6	7,68	-	-	-	-
2002	197,0	92	-	208	151,5	94,5	-	-	-	-	-
2003	151,2	-	-	9,6	68	-	6,4	-	-	-	-
2004	127,56	-	-	308,95	-	171	3,30	-	-	-	-

ANEXO 15 Nutrientes ingresados (kg/ha/año) por aplicación de fertilizantes y/o enmiendas en el potrero 6.

Años	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Na	S	MgO	Cl	B	Zn	Cu
1988	133,76	254,38	-	110,6	225,72	-	-	-	-	-	-
1989	85,32	142,13	-	22,67	130,28	-	-	-	-	-	-
1990	41,48	53	-	-	52,11	-	-	-	-	-	-
1991	123,52	55,2	-	86,30	-	44,28	5,42	-	-	-	-
1992	172,5	194,94	43,98	47,23	-	26,57	-	34,45	2,18	2,06	1,11
1993	117,5	-	-	517,32	14,31	-	258,66	-	-	-	-
1994	273,66	-	-	-	240,8	-	25,30	-	-	-	-
1995	114,45	-	-	137,28	124,32	77,22	18,315	-	-	-	-
1996	162,66	-	-	-	169,79	-	-	-	-	-	-
1997	172,28	-	-	22,74	100,28	-	16,66	-	-	-	-
1998	93,2	-	-	520,30	86,4	9,80	42,28	-	-	-	-
1999	258,66	-	-	164,02	14,56	45,70	10,61	-	-	-	-
2000	207,29	-	-	54,85	137,50	5,01	1,6	-	-	-	-
2001	287,25	-	-	180	258,38	102	6	-	-	-	-
2002	199,08	92	-	204,16	155,01	92,34	-	-	-	-	-
2003	151,2	-	-	9,6	68	-	6,4	-	-	-	-
2004	127,56	-	-	308,95	-	171	3,30	-	-	-	-

ANEXO 16 Nutrientes ingresados (kg/ha/año) por aplicación de fertilizantes y/o enmiendas en el potrero 8.

Años	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Na	S	MgO	Cl	B	Zn	Cu
1988	16	46	-	20	27	-	-	-	-	-	-
1989	71,31	234,14	-	64	114,53	-	-	-	-	-	-
1990	69,40	52	-	-	47,25	-	-	-	-	-	-
1991	120,52	237,36	-	77,24	-	39,42	5,12	-	-	-	-
1992	151,8	203,04	55,8	47,76	-	26,86	-	43,71	2,20	2,08	1,12
1993	133,86	-	-	360	-	-	180	-	-	-	-
1994	199,53	-	-	-	176,23	-	25,36	-	-	-	-
1995	279,25	-	-	125,76	231,95	70,74	36,92	-	-	-	-
1996	211,93	-	-	-	205,80	-	-	-	-	-	-
1997	158,95	-	-	21,74	99,20	-	15,1	-	-	-	-
1998	69,68	-	-	508,93	86,4	4,31	41,00	-	-	-	-
1999	252,40	-	-	232,27	-	43,85	10,18	-	-	-	-
2000	238,06	-	-	57,71	147,26	9	10,6	-	-	-	-
2001	314,5	-	-	180	278,54	102	6	-	-	-	-
2002	228,2	92	-	203,84	204,15	92,16	-	-	-	-	-
2003	120,4	-	-	9,6	52,65	-	6,4	-	-	-	-
2004	127,56	-	-	308,95	-	171	3,30	-	-	-	-

ANEXO 17 Nutrientes ingresados (kg/ha/año) por aplicación de fertilizantes y/o enmiendas en el potrero 10.

Años	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Na	S	MgO	Cl	B	Zn	Cu
1988	48	193,2	-	84	81	-	-	-	-	-	-
1989	30,45	135,52	-	18,46	45,28	-	-	-	-	-	-
1990	61,32	51	-	-	46,44	-	-	-	-	-	-
1991	98,06	226,1	-	79,18	-	40,5	5,13	-	-	-	-
1992	129,49	200,7	49,2	48,81	-	27,45	-	38,54	2,25	2,13	1,15
1993	109,94	-	-	379,8	-	-	189,9	-	-	-	-
1994	158,31	-	-	-	102,5	-	11,28	-	-	-	-
1995	158,65	-	-	131,2	159,09	73,8	30,02	-	-	-	-
1996	190,31	-	-	-	188,74	-	-	-	-	-	-
1997	138,75	-	-	22,76	56,00	-	15,72	-	-	-	-
1998	95,68	-	-	520,88	88,56	10,08	42,34	-	-	-	-
1999	209,08	-	-	140,46	14,42	34,16	7,93	-	-	-	-
2000	316,11	-	-	60,85	200,96	13,11	10,6	-	-	-	-
2001	214,5	-	-	180	214,84	102	-	-	-	-	-
2002	268,22	92	-	200	217,36	90	-	-	-	-	-
2003	121,68	-	-	9,6	54,81	-	6,4	-	-	-	-
2004	127,56	-	-	308,95	-	171	3,30	-	-	-	-

ANEXO 18 Nutrientes ingresados (kg/ha/año) por aplicación de fertilizantes y/o enmiendas en el potrero 12.

Años	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Na	S	MgO	Cl	B	Zn	Cu
1988	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1989	28,46	128,22	-	19,20	42,93	-	-	-	-	-	-
1990	79,4	52	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1991	124,33	280,2	-	78,83	-	40,5	4,88	-	-	-	-
1992	127,65	269,1	48	47,76	-	26,86	-	37,6	2,20	2,08	1,12
1993	104,88	-	-	384,12	-	-	192,06	-	-	-	-
1994	165,98	-	-	-	109,2	-	13,20	-	-	-	-
1995	158,7	-	-	128	155,22	72	28,04	-	-	-	-
1996	190,09	-	-	-	189,97	-	-	-	-	-	-
1997	207,59	-	-	30,98	103,82	-	21,2	-	-	-	-
1998	102,32	-	-	524,71	86,4	11,93	42,77	-	-	-	-
1999	253,02	-	-	196,31	5,32	45,53	10,57	-	-	-	-
2000	257,32	-	-	61,5	160,26	13,5	10,6	-	-	-	-
2001	223,5	-	-	180	211,20	102	6	-	-	-	-
2002	262,9	92	-	200	181,92	90	-	-	-	-	-
2003	121,68	-	-	9,6	54,81	-	6,4	-	-	-	-
2004	127,56	-	-	308,95	-	171	3,30	-	-	-	-

ANEXO 19 Nutrientes ingresados (kg/ha/año) por aplicación de fertilizantes y/o enmiendas en el potrero 13.

Años	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Na	S	MgO	Cl	B	Zn	Cu
1988	92,32	73,6	-	32	155,79	-	-	-	-	-	-
1989	9,60	27,60	-	12,00	16,20	-	-	-	-	-	-
1990	80,18	-	-	-	86,4	-	-	-	-	-	-
1991	79,1	226,2	-	76,8	-	43,2	-	-	-	-	-
1992	78,2	243,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1993	80,96	-	-	315	-	-	157,5	-	-	-	-
1994	159,58	-	-	-	98,4	-	13,2	-	-	-	-
1995	178,15	-	-	116,16	193,21	65,34	33,66	-	-	-	-
1996	185,8	-	-	-	179,94	-	-	-	-	-	-
1997	146,6	-	-	18,70	87,93	-	13	-	-	-	-
1998	99,92	-	-	518,91	102,6	9,13	42,12	-	-	-	-
1999	45,12	-	-	21,81	-	10,53	2,44	-	-	-	-
2000	144,88	-	-	35,85	143,99	9,51	1,6	-	-	-	-
2001	199,75	-	-	180	194,38	102	-	-	-	-	-
2002	165,00	-	-	188,16	97,5	105,84	-	-	-	-	-
2003	185,28	-	-	9,6	125,51	-	6,4	-	-	-	-
2004	127,56	-	-	308,95	-	171	3,30	-	-	-	-

ANEXO 20 Nutrientes ingresados (kg/ha/año) por aplicación de fertilizantes y/o enmiendas en el potrero 17.

Años	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Na	S	MgO	Cl	B	Zn	Cu
1988	77,82	119,6	-	52	131,33	-	-	-	-	-	-
1989	35,42	164,79	-	19,37	52,01	-	-	-	-	-	-
1990	63,84	88,90	-	18,52	43,2	-	-	-	-	-	-
1991	125,5	258,78	-	79,78	-	40,86	5,10	-	-	-	-
1992	185,38	156,24	50,52	50,38	-	28,34	-	39,57	2,32	2,20	1,18
1993	187,14	-	-	455,04	34,02	-	227,52	-	-	-	-
1994	193,72	-	-	-	178,81	-	10,67	-	-	-	-
1995	170,65	-	-	122,88	159,13	-	69,12	-	-	-	-
1996	168,96	-	-	-	151,03	-	-	-	-	-	-
1997	168,84	-	-	23,69	98,12	-	16,27	-	-	-	-
1998	119,36	-	-	532,94	86,4	15,90	43,69	-	-	-	-
1999	218,02	-	-	142,90	16,24	35,34	8,20	-	-	-	-
2000	273,15	-	-	119,59	202,52	9,51	1,6	-	-	-	-
2001	221,75	-	-	170	187,38	96	-	-	-	-	-
2002	232,52	-	-	165,12	211,44	92,88	-	-	-	-	-
2003	183,2	-	-	9,6	122,0	-	6,4	-	-	-	-
2004	127,56	-	-	304	-	171	3,30	-	-	-	-

ANEXO 21 Nutrientes ingresados (kg/ha/año) por aplicación de fertilizantes y/o enmiendas en el potrero 19A.

Años	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Na	S	MgO	Cl	B	Zn	Cu
1988	30,24	119,6	-	52	51,03	-	-	-	-	-	-
1989	30,60	166,76	-	16	44,70	-	-	-	-	-	-
1990	113,11	81,80	-	16	53,19	-	-	-	-	-	-
1991	140,14	275,16	-	68,16	-	38,34	-	-	-	-	-
1992	131,56	180	50,64	47,76	-	26,86	-	39,67	2,20	2,08	1,12
1993	221,34	-	-	414,72	31,19	-	207,36	-	-	-	-
1994	189,87	-	-	-	183,61	-	11,50	-	-	-	-
1995	133,15	-	-	128	150,33	72	24,66	-	-	-	-
1996	154,48	-	-	-	164,04	-	-	-	-	-	-
1997	177,23	-	-	25,16	102,71	-	17,32	-	-	-	-
1998	90,88	-	-	521,34	78,84	10,30	45,75	-	-	-	-
1999	234,27	-	-	167,04	-	47,32	10,99	-	-	-	-
2000	254,90	-	-	54,85	172,69	5,01	1,6	-	-	-	-
2001	249,75	-	-	180	231,38	102	-	-	-	-	-
2002	232,52	46	-	180	211,44	90	-	-	-	-	-
2003	167,2	-	-	9,6	95	-	6,4	-	-	-	-
2004	127,56	-	-	308,95	-	171	3,30	-	-	-	-

ANEXO 22 Nutrientes ingresados (kg/ha/año) por aplicación de fertilizantes y/o enmiendas en el potrero 19B.

Años	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Na	S	MgO	Cl	B	Zn	Cu
1988	45,76	119,6	-	52	77,22	-	-	-	-	-	-
1989	74,87	126,24	-	19,20	114,34	-	-	-	-	-	-
1990	84,76	52,5	-	-	42,12	-	-	-	-	-	-
1991	194,74	240,6	-	83,44	-	39,06	10	-	-	-	-
1992	231,74	200,52	46,08	77,05	-	34,83	10,8	36,10	2,86	2,70	1,45
1993	165,84	-	-	529,2	34,56	-	264,6	-	-	-	-
1994	161,88	-	-	-	159,84	-	-	-	-	-	-
1995	147,8	-	-	120	158,40	67,5	22,66	-	-	-	-
1996	160,09	-	-	-	167,59	-	-	-	-	-	-
1997	180,74	-	-	24,98	110,00	-	17,2	-	-	-	-
1998	110,32	-	-	522,39	108	10,81	42,51	-	-	-	-
1999	256,71	-	-	172,78	6,72	48,66	11,36	-	-	-	-
2000	220,18	-	-	57,50	145,87	5,01	1,6	-	-	-	-
2001	217,25	-	-	170	184,05	96	-	-	-	-	-
2002	204,04	92	-	40	163,38	-	-	-	-	-	-
2003	151,68	-	-	9,6	68,81	-	6,4	-	-	-	-
2004	127,56	-	-	308,95	-	171	3,30	-	-	-	-

ANEXO 23 Nutrientes ingresados (kg/ha/año) por aplicación de fertilizantes y/o enmiendas en el potrero 25.

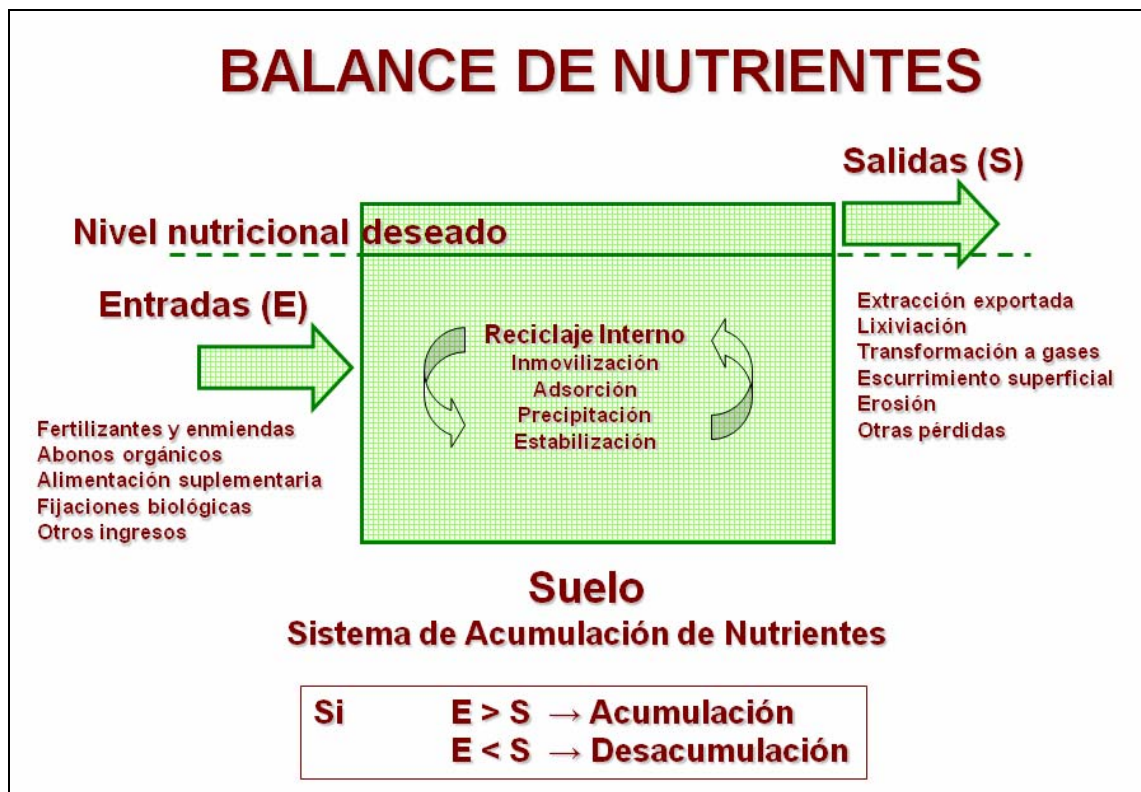
Años	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Na	S	MgO	Cl	B	Zn	Cu
1988	63,2	119,6	-	52	106,65	-	-	-	-	-	-
1989	41,76	167,30	-	16	63,90	-	-	-	-	-	-
1990	60,94	96,00	-	20	32,4	-	-	-	-	-	-
1991	169,54	252,12	-	91,30	-	43,2	10,36	-	-	-	-
1992	207,60	166,5	48,00	47,76	-	26,86	-	37,60	2,20	2,08	1,12
1993	159,96	-	-	393,48	32,40	-	196,74	-	-	-	-
1994	249,44	-	-	-	226,9	-	11	-	-	-	-
1995	174,75	-	-	128	168,15	72	21,67	-	-	-	-
1996	155,95	-	-	-	163,92	-	-	-	-	-	-
1997	173,9	-	-	24,70	100,28	-	17	-	-	-	-
1998	91,76	-	-	519,60	86,4	9,46	42,20	-	-	-	-
1999	257,56	-	-	163,00	14	45,86	10,65	-	-	-	-
2000	187,63	-	-	54,85	146,62	5,01	1,6	-	-	-	-
2001	268,75	-	-	170	221,72	96	3,52	-	-	-	-
2002	203,4	46	-	20	162,3	-	-	-	-	-	-
2003	151,2	-	-	9,6	68	-	6,4	-	-	-	-
2004	127,56	-	-	308,95	-	171	3,30	-	-	-	-

ANEXO 24 Constitución nutricional de las sales minerales¹ utilizadas en alimentación suplementaria del rebaño lechero.

Producto	kg	Nutriente	% nutrientes		total kg	
Fosfato Bicalcico	450	P - Ca	18,7	26,3	84,15	118
Sal común yodada	350	Na - I - Cl	39	0,004	136,5	0,01
Oxido de Mg	160	Mg	54,9	-	87,84	-
Premezcla	40	-	-	-	-	-
Yodato de K	0,16	I - K	59	18	0,0944	0,03
Selenito de Na	0,08	Na - Se	8	13	0,0064	0,01
Oxido de Zn	5	Zn	81,4	-	4,07	-
Sulfato de Zn	4	Zn - S	22,8	11,3	0,912	0,45
Sulfato de Cu	8	Cu - S	25	13	2	1,04
Sulfato de Mg	5	Mg - S	10	13	0,5	0,65
Oxido de Mg	7	Mg	54,9	-	3,843	-
Rumencin	10	-	-	-	-	-
Vitam E + Se	1	-	-	-	-	-

¹Las sales minerales se elaboran en el predio.

ANEXO 25 Figura del balance de nutrientes y su aproximación general a la fertilización de agroecosistemas¹.



¹FUENTE: PINOCHET (2006).