



INFORME FINAL PROYECTO FIA ALFALFA C2002-PI35

**Ganadera Cerro Guído
Punta Arenas, Julio 2007**

I. Antecedentes generales

- a) **Nombre del proyecto:** "Regeneración de la pradera natural con *Medicago sativa* (alfalfa) bajo cero labranza"
- b) **Código:** C2002-PI 35
- c) **Región:** XII
- d) **Agente ejecutor:** Ganadera Cerro Guido
- e) **Agentes asociados:** Ganadera Morro Chico, Complejo Torres del Paíne y Estancia Kark
- f) **Coordinador del proyecto:** Cristián Matetic H.
- g) **Costo Total:**
- h) **Aporte FIA:**

- i) **Período de ejecución:** Propuesta original Diciembre 2002-Marzo 2006. Con la segunda reitemización de proyecto se extendió hasta Junio 2007.

II. Resumen Ejecutivo.

La producción ovina en la XII región se ha caracterizado por ser sistemas extensivos con bajas cargas animales y con pesos promedios de carcasa, que no permiten aumentar el valor FOB de exportación vía despiece de la canal, situación condicionada mayoritariamente por la baja disponibilidad de forraje para finalización de corderos post destetados. Además, las condiciones agroecológicas de baja pluviometría estival y alta carga incidente de viento provocan una alta tasa de evotranspiración en los forrajes, acortando su período vegetativo activo entre 2-4 meses y predominando especies de menor valor nutritivo con capacidades de adaptación a las condiciones ambientales.

La hipótesis de trabajo del proyecto fue que la implementación de un sistema de siembra directa (cero labranza) para alfalfa (*Medicago sativa*) permitiría disminuir los riesgos asociados con la emergencia e implantación de la plántula por competencia de humedad con el material vegetativo residente y con la pérdida de la misma por efecto del viento. Las líneas de I&D implementadas fueron: Fertilidad de suelos, Evaluación de germoplasma forrajero, desarrollo de herramientas de gestión y difusión de resultados.

Los resultados demostraron la validez de la técnica y tecnología utilizada como sistema de siembra estándar para regeneración de praderas, considerando la emergencia de la pradera, impacto bio-económico por la incorporación de la alfalfa a la cadena forrajera predial, efecto positivo en la conservación de humedad y no pérdida de perfil de suelo bajo condiciones de siembra tradicional de preparación de suelos utilizada en la región.

Las futuras líneas de I&D requeridas para complementar y aumentar el impacto de la tecnología validada en el proyecto están asociadas con estudios del comportamiento vegetativo de la alfalfa, incorporando del efecto termal (grados acumulados), de nodulación y fijación de nitrógeno,

utilización mínima labranza, selección de sitios de siembra y manejo de la vegetación nativa pre siembra (barbechos).

III. Descripción del proyecto

1. Cumplimiento de los objetivos: Los objetivos del proyecto original fueron

General: Aumentar los parámetros productivos de engorda en corderos en diferentes zonas agroecológicas de la XII región mediante la incorporación de variedades (*Medicago sativa*) de alto potencial productivo bajo un sistema de cero labranza.

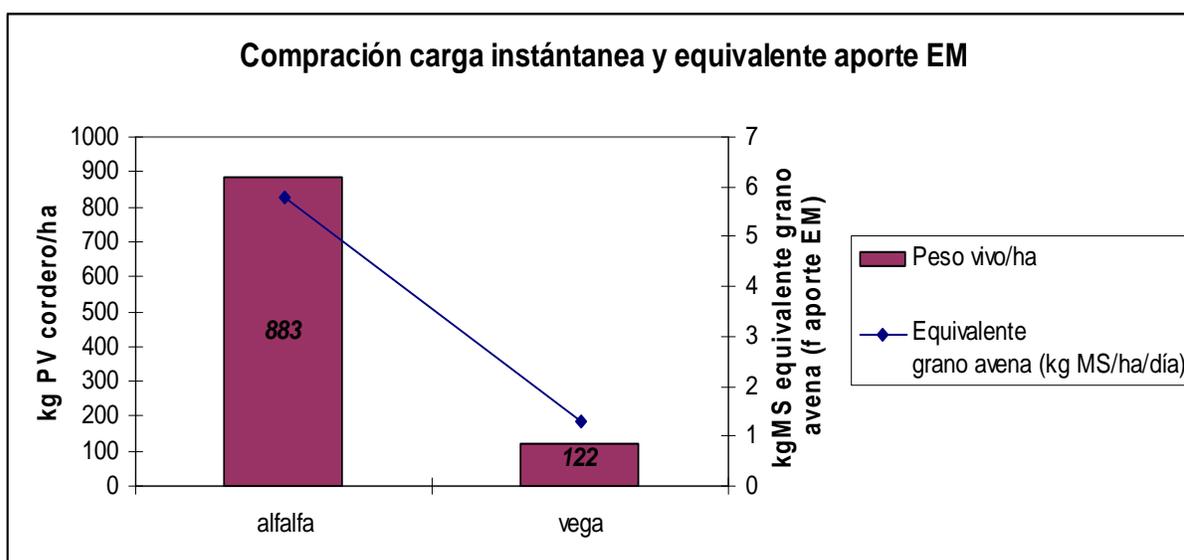
La utilización de la alfalfa sembrada en cero labranza permitió manejar cargas instantáneas de 20-40 corderos destetados/ha, dependiendo del efecto año, siendo los valores normales de engordas en vegas entre 3-12 corderos/ha en el sistema tradicional. Los valores esperados son 400-500 kg de cordero vivo/ha con rendimientos de canal caliente de 45%.

Los ensayos con el uso de alfalfa generaron incrementos de peso vivo post destete de 10,3% en comparación a engordas de corderos en sistemas tradicionales de vega, con una carga instantánea superior de 7,5 veces por unidad de superficie (ha). Estadísticamente no hay diferencias de incremento de peso por animal ($P>0,1$), pero si favorablemente a la producción por unidad de superficie ($P<0,01$) y a la mantención de kg de peso vivo de corderos ($P<0,01$), ambas variables favorables para el escenario con alfalfa (Cuadro 1). El escenario con cargas altas con pastoreo en alfalfa genera por hectárea, el equivalente en términos de energía metabolizable de mantención de 4,5-5,0 kg de avena por día para los 750-760 kg de peso vivos incrementales de presión de pastoreo (Figura 1).

Cuadro 1. Comportamiento de variables productivas ensayos de engorda de corderos pastoreo alfalfa y vega.

Incremento cordero/35 días	
Alfalfa	6,87
Vega	6,22
kg PV/día cordero (alfalfa)	0,196
kg PV/día cordero (vega)	0,178
carga ha alfalfa	30
carga ha vega	4
kg PV incrementales post destete	
alfalfa	206
vega	25
kg peso vivo final ha	
Alfalfa	883
vega	122

Figura 1. Comparación efecto pastoreo con corderos destetados en alfalfa y vega.



El principal limitante agroclimático para las especies pratenses es el balance hídrico estival, con valores positivos para la tasa de evotranspiración (mayor pérdida de agua), principalmente por un efecto de viento incidente. Durante la ejecución del proyecto se evaluó la utilización de suplementación estratégica en corderos en pastoreo de alfalfa, considerando un proceso de engorda con efectos negativos del viento incidente. A partir de éste análisis, se procedió a

definir una hipótesis de trabajo para aumentar el incremento de peso vivo, durante los meses de febrero y marzo del 2005 considerando un balance nutricional suplementario de 0,1 kg de grano de avena a potrero /cordero/día incrementaría la ganancia de peso del orden de 0,12 kg/día (mayor producción de microorganismos ruminales por sinergia proteína degradable en el rumen (alfalfa) y carbohidratos solubles (granos) disminuyendo el efecto ambiental (T° y velocidad del viento) sobre la tasa de crecimiento real del cordero. Los resultados generados fueron un peso vivo incremental: 2,72 kg por cordero, equivalente a 1,4 kg canal incremental (42% rendimiento canal fría), con un ingreso incremental: \$1.948 y costo incremental por avena = \$ 315, sin considerar efecto horas hombre en suplementación, con una relación incremental equivalente a 6,18. El efecto positivo de la sinergia alfalfa con suplementación a potrero evaluada en el proyecto mostró una estrategia de uso del recurso pratense en condiciones de campo.

Objetivos específicos:

a) Evaluar normas de manejo de fertilidad del suelo en la regeneración de praderas naturales con alfalfa (*Medicago sativa*) en la XII región continental.

Durante el proyecto se procedió a corregir la fertilidad de suelos en unidades existentes con alfalfa sembrada, generadas previamente a la ejecución del proyecto (2000-2002) y durante la ejecución del proyecto. Los 37 análisis de suelos evaluados evidenciaron que el pH de suelo siempre es adecuado para Alfalfa, con bajos tenores de Aluminio extractable y capacidad de fijación de fósforo baja. El potasio no es limitante y el balance entre las bases de intercambio es siempre apropiado, aunque se aprecia deficiencias de calcio en suelos arenosos. El azufre es limitante especialmente en suelos arenosos circundantes de Lagos o fluvio-glaciares sin depositación de arcilla. El Fósforo es medio a bajo, sin embargo es muy estable en profundidad y las respuestas a enmiendas son altísimas dada la baja capacidad de fijación de los suelos.

Además, durante la ejecución del proyecto se realizó un análisis físico de suelos que han sido sembrados con alfalfa con cero labranza, como instrumento de correlación suelo-productividad, destacándose que las mejores correlaciones se observaron en sitios con características edáficas con una mayor porosidad total, menor densidad aparente, menor conductividad hidráulica y mayor cantidad de poros PAU y PAI. Esta mezcla de condiciones genera un ambiente donde se conserva más el agua, ya que hay un mayor volumen de almacenamiento y una menor velocidad de drenaje, por lo que el crecimiento y desarrollo de la raíces de alfalfa se ven favorecidas en este sitio. Los sitios con baja porosidad total, alta densidad aparente, alto porcentaje de poros de drenaje, bajo porcentaje de volumen de almacenamiento y una rápida conductividad hidráulica presentaron una menor respuesta productiva, considerando que sus características físicas, este suelo se comporta como un "colador", y ante la falta de agua, provoca un estrés hídrico, que podría ser el causante de la baja respuesta a la siembra directa de alfalfa.

b) Evaluar el comportamiento vegetativo y productivo de la alfalfa (*Medicago sativa*) en diferentes zonas agroecológicas de la XII región continental como alternativa para disminuir el tiempo de engorda de corderos.

Durante la ejecución del proyecto se realizaron tres ensayos de engorda de corderos en pastoreo con alfalfa y una evaluación de uso de la alfalfa con ovejas con crías al pie. Todos los ensayos mostraron efectos positivos por la utilización de la alfalfa ($P < 0,01$), descritos en el objetivo general y en los resultados del proyecto. Todos los ensayos incorporaron muestreos de producción primaria y de calidad nutricional de la alfalfa, como mecanismos para determinar la carga instantánea de uso. Además, se realizó conservación de forrajes como henilaje de alfalfa para ser utilizada en ovejas gestantes y crianza de borregas de reemplazo.

c) Desarrollar y validar herramientas computacionales de apoyo a la toma de decisiones prediales asociadas con la relación planta-medio ambiente-biotipo animal de la innovación ejecutada en condiciones de la XII región.

Durante la ejecución de proyecto se desarrollaron: Un motor de inferencia para apoyar la selección de sitios (formato Excel), modelos de crecimiento de corderos y borregas (formato Excel), modelos de gestación y lactancia de ovejas (formato excel) y un modelo de utilización de alfalfa con corderos con suplementación (formato visual basic)

c) Difundir normas de manejo de regeneración de praderas naturales con alfalfa (*Medicago sativa*) en condiciones de cero labranza.

Durante la ejecución del proyecto se presentaron la hipótesis de trabajo, resultados parciales y metodología en: Reunión anual de la ASOGAMA (2003) y II reunión de ganaderos en Río Verde (2005). También se realizó un día de campo en Cerro Guido en Diciembre 2005.

El proyecto convocó y lideró dos talleres de trabajo realizados en 2005: el primero con productores asociados con la pequeña agricultura y el último relacionado con un taller pratense con especialistas regionales. También, se presentaron resultados parciales del proyecto en el seminario Internacional Ovino organizado por INDAP, en 2007.

Además, el proyecto se integró a una consultoría regional con el experto en fertilidad de suelos, Dr. David Scott (2003) y organizó u taller pratense son el experto David Scout (2007) en alfalfas de zonas secas templadas y frías.

El proyecto ha generado un manual de usuario para la implementación de alfalfa con cero labranza en condiciones productivas de la XII región.

d) Determinar la factibilidad técnica y económica de escalamiento para la innovación desarrollada.

Durante el proyecto se comparó la relación costo/beneficio por la implementación del sistema de cero labranza. El análisis de la información considerando los costos reales mostraron que la tecnología de cero labranza es una alternativa rentable, dado que con producciones entre 3.000-5.000 kg MS/ha con una eficiencia de uso de 70%, el valor por kg de MS a la boca de la alfalfa en comparación a la compra de pellet de alfalfa, está entre 8-13% del valor del pellet. El valor real de una hectárea sembrada bajo cero labranza es de \$140.000-150.000 con una vida útil de 10 años y con un gasto operacional de fertilización de \$30.000-40.000.

El escalamiento de la tecnología valida en el proyecto se evaluó sólo a nivel predial, como modelo teórico, ya que el escalamiento considerando zonas agroecológicas requiere contrastar la información de estudios físico de suelos realizada en el proyecto, con los estudios edáficos realizados en la región, que carecen de la información requerida.

2. Aspectos metodológicos del proyecto.

a) Descripción de la metodología efectivamente utilizada

La metodología utilizada está relacionada con las líneas de I&D implementadas para satisfacer los objetivos específicos del proyecto, sistematizándose en:

- Línea de fertilidad de suelos:

Objetivos:

a) Determinar la situación basal de la fertilidad del suelo en las unidades experimentales y evaluar el comportamiento de nutrientes del suelo por efecto de prácticas de corrección de fertilidad en un sistema de manejo orgánico.

b) Establecer las pautas para manejo de la fertilidad de la pradera

Resultado verificable: Información sistematizada, como elementos para definir pautas de manejo y para estructurar algoritmo de cálculo de las herramientas computacionales de apoyo a la gestión predial, de la dinámica de nutriente del suelo limitantes para el crecimiento de las praderas en las unidades experimentales

La metodología utilizada implicó obtención de muestras de los sitios fue al azar, con una muestra mixta obtenida con un barreno a 20 cm de profundidad. Se utilizó la metodología descrita por....

Cada muestra de suelo fue enviada identificada al laboratorio de suelos, que utilizó para la determinación de la materia orgánica el método de Weende, para Potasio y Azufre se utilizó el método de espectrofotometría de absorción atómica, para el Aluminio extractable se macero la muestra con acetato de amonio a pH 4,8 y por último se determinó el pH con un pHmetro. Todas las técnicas son estándar y son de referencia para análisis de suelo.

Para el estudio de suelos, la metodología utilizada implicó un transecto que comprende 4 sitios de muestreo. Los sitios escogidos se encuentran sembrados con alfalfa y presentan un distinto grado de establecimiento. Se evaluó conductividad hidráulica del suelo, como parámetro físico de restricción del establecimiento de la alfalfa. Además se utilizará el penetrómetro y la veleta de torsión como instrumentos de prospección del estado de la estructura del suelo, referente al estado de las tensiones en el suelo. Los instrumentos utilizados son penetrómetro estático de punta cónica con 1,5 cm de diámetro, una veleta de torsión con 2,55 cm de diámetro por 5,1 cm de largo de cada aspa, extractor de muestras de cilindros para conductividad hidráulica y cilindros para medir conductividad hidráulica.

El muestreo consideró que las zonas con distinto grado de establecimiento de la alfalfa, se muestrearán en forma aleatoria con 3 repeticiones por grado de establecimiento (bueno – malo) y por cada profundidad (Cuadro 2). Dando 2 áreas de muestreo por sitio. Además en cada área de muestreo se realizarán mediciones aleatorias de la tensión vertical (penetrómetro) y de la tensión horizontal (veleta de torsión).

Cuadro 2. Metodología de muestreo para estudio físico de suelos

Profundidad	Buen Establecimiento	Mal Establecimiento
0 – 5cm	Extracción 3 cilindros	Extracción 3 cilindros
25 – 30cm	Extracción 3 cilindros	Extracción 3 cilindros

- Línea de evaluación pratense:

Objetivo:

- a) Introducir y cuantificar la producción primaria y secundaria de especies forrajeras mejoradoras (Medicago sativa).

- b) Evaluar el comportamiento de variedades de Medicago sativa con diferentes manejos de siembra, fertilidad y carga animal en dos zonas agroecológicas de la XII región.

- c) Caracterizar la dinámica productiva de las especies forrajeras introducidas en diferentes unidades experimentales

- d) Elaborar un manual de referencia para la introducción y manejo inicial de la pradera regenerada con alfalfa en condiciones de la XII región.

Resultados verificables:

- ✓ Cuantificación de la nodulación y actividad fijadora de nitrógeno de las bacterias fijadoras de nitrógeno.
- ✓ Aumento de la producción primaria y secundaria de la pradera en las unidades experimentales.
- ✓ Banco de variedades de Medicago sativa validadas y seleccionadas para diferentes zonas agroclimáticas de la XII región.
- ✓ Manual de referencia para establecer Medicago sativa bajo condiciones de siembra directa y normas orgánicas de manejo de la pradera residente.

En cada sitio escogido, representativo de un ecosistema dado dentro de un distrito agroclimático específico, se sembraron experimentos con tres repeticiones para evaluar los materiales forrajeros propuestos.

- a) El primer tipo de experimento (pruebas agronómicas o experimentos en parcelas) consta de evaluaciones en parcelas pequeñas, de 3 x 6 metros, con tres repeticiones en bloques al azar, sembradas luego de una preparación con cero labranza en hileras distantes 25 cm entre sí. Estos experimentos estarán ubicados en 4 sitios diferentes (4 estancias participantes), representativos de los diferentes distritos agroclimáticos seleccionados. Los tratamientos consistirán de 5 accesiones de alfalfa (*Medicago sativa*). Las variedades a evaluar son: WL HQ 325, Joya, Amerigraze, Robust y Rebound. En estas parcelas se evaluará: Profundidad de siembra, tipo de disco de corte, eficiencia de tapado y el efecto de la enmienda de sulfato de calcio sobre la textura del suelo (sellado) en diferentes dosis, diferentes formas de aplicación y distintos momentos de aplicación. Otro aspecto a considerar es el peletizado sobre el establecimiento de la pradera por mejoramientos tanto de la localización de la semilla como una nutrición fina durante sus primeros estadios de desarrollo.

- b) El segundo tipo de experimento (experimentos de conservación) evaluará la posibilidad de conservar el forraje en forma de henilaje en dos distritos contrastantes por el régimen de precipitación: uno estará ubicado en la zona húmeda de altura (cerro Guido) y otro en la zona de transición (Morro Chico). Para ellos se confeccionará henilaje a mano en bolsas de plástico de aproximadamente 50 litros con 5 variedades seleccionadas de alfalfa. Estas parcelas, también se sembrarán usando cero labranza en parcelas de 0,25 ha por variedad con 3 repeticiones en bloques al azar. Estas parcelas tendrán un corte de uniformización en Octubre, y se cortarán y conservarán en Febrero / Marzo de la tercera y cuarta temporada, evaluándose rendimiento de

materia seca al momento del corte, y peso de las bolsas de henillaje resultantes. Se tomarán muestras para determinación de materia seca, N, FDN, FDA, N-FDA y digestibilidad in vitro. Durante Julio de los inviernos siguientes se pesarán nuevamente las bolsas de silo y se tomarán muestras de las mismas para realizar los mismos análisis indicados antes. Los procedimientos anteriores permitirán estimar la eficiencia de la conservación de materia seca y nutrientes, además del valor nutritivo de los forrajes conservados.

- c) El tercer tipo de experimento (prueba de pastoreo) se realizará en las 4 unidades participantes en el proyecto. Este experimento se compararán la producción primaria y secundaria de las variedades de alfalfa introducidas en el Año 1 en base a facilidad y vigor de establecimiento, y supervivencia luego del primer invierno. La siembra se realizará por medio de cero labranza. Cada potrero con las variedades será manejado con cerco eléctrico las franjas de pastoreo. Se utilizarán 3 repeticiones, cada una con dos potreros de 2 hectáreas, correspondientes a las dos mezclas respectivas, para un total de 30 hectáreas por sitio. Se pastorearán a partir del destete de corderos (Diciembre) y hasta que los corderos lleguen a peso de faenamiento (40-45 kg). Para esta situación se medirá la tasa de ganancia de peso, la eficiencia de conversión, la estimación del consumo voluntario de materia seca y la eficiencia de uso de la energía metabolizable de la pradera. Además, se establecerá el balance forrajero de cada una de las parcelas evaluadas. Esta información por temporada de pastoreo de los corderos permitirá cuantificar la carga óptima de corderos en diferentes zonas agroecológica junto con estimar la oferta de superavit por unidad de superficie para conservación de forraje.

La disponibilidad de forraje se estima con el método de doble muestreo usando un disco metálico (Holmes, 1974). En cada medición de cada mezcla, en todos los sitios, se establecerá la respectiva ecuación de

regresión. La producción primaria de materia seca se determinó con método directo tijeras, determinándose el peso seco total (secado a 60° C) y el peso seco de las fracciones verdes (>50% hoja verde) y muertas (< 50% hoja verde), siguiendo la metodología del International Grassland Biome Project, IGBP ('t Mannelje and Jones, 2000). Se tomarán muestras de las fracciones verde y muerta para análisis de N, FDN, DIVMO, proteína cruda y FDA

Los datos de composición botánica y en particular los de rendimiento en parcelas, permitirán caracterizar las curvas de producción estacional de la vegetación y relacionarla con parámetros del suelo y climáticos, requeridos para elaborar una herramienta de gestión

La relación entre la producción animal obtenida en los dos experimentos de pastoreo y el correspondiente rendimiento de materia seca en los correspondientes experimentos de parcelas ubicados en la misma localización, permitirá una primera aproximación a la producción animal esperable en el resto de los sitios para los respectivos distritos agroclimáticos.

En cada parcela (agronómica, de conservación y de pastoreo) se medirá la nodulación y su efecto sobre el balance nitrogenado del suelo.

Línea: Desarrollo de herramientas de apoyo a la gestión (modelo de simulación)

Objetivo: Generar herramientas computacionales que permitan evaluar diferentes escenarios productivos considerando el factor animal, pradera, económico, manejo y medio ambiental, con la evaluación bioeconómica de la incorporación de la tecnología desarrollada en el proyecto.

Resultados Verificables: Herramientas computacionales de apoyo a la gestión predial desarrolladas, validadas y transferidas a los usuarios.

Para el caso del desarrollo del trabajo propuesto en este proyecto se realizara las siguientes actividades:

Se analizará el algoritmo de cálculo del modelo de simulación para ovinos en crecimiento considerando los requerimientos de mantención y producción de Energía Metabolizable, Proteína digestible y consumo de materia de seca. Se adaptará la secuencia de cálculo del modelo GRAZE® para evaluar la dinámica productiva.

Una vez definidos los componentes relevantes del sistema es necesario organizarlo en un sistema lógico, de tal manera de sintetizarlo y definir el grado de agregación y de conexión entre los componentes. Esta síntesis se realizará a través de un modelo matemático, en el cual se especificará en forma cuantitativa las variables más relevantes y sus interrelaciones en cada nivel de agregación, según la metodología descrita por Aguilar *et al.*, 2003 (Anexo I).

La relevancia de las variables estará definida básicamente por el uso que se hará del modelo, es decir, las variables más relevantes serán aquellas que tengan incidencia en las facetas del sistema real que el usuario desee evaluar.

Se validará y experimentará con el modelo considerando los objetivos específicos planteados para el componente animal. Para esta actividad se comparan datos generados en el modelo de simulación (datos estimados) con datos reales del sistema (datos observados): estos últimos datos pueden provenir de la literatura o generados a partir de ensayos de campo. Para la validación del modelo se utilizan dos métodos, el primero de ellos corresponde a la comparación de valores obtenidos en ensayos experimentales y publicados en revistas del rubro, con los entregados por el modelo. El segundo método corresponde a la comparación de los valores reportados por el modelo con los registros de un sistema físico de producción. El grado de concordancia existente entre las estimaciones del modelo y los datos experimentales, fue cuantificado mediante la comparación de los resultados de la simulación con los resultados provenientes de experimentos mediante procedimientos estadísticos (Black *et al.*, 1993).

Se realizará un Análisis estadístico considerando comparación de medias mediante la distribución Student y de varianzas mediante la prueba de F para los resultados generados por el Modelo de Simulación (datos estimados) con datos observados en la literatura. Además se realizará un modelo lineal para comparar los datos anteriormente señalados con el fin de establecer el coeficiente de correlación entre las variables generadas por el modelo y las variables observadas. Se entregaran recomendaciones para disminuir el grado de incertidumbre en la estimación de los parámetros productivos entregados en las salidas del modelo.

La utilización del modelo validado implica la experimentación, donde se utiliza el modelo con datos reales o hipotéticos con el fin de evaluar escenarios y obtener inferencias que permitirán establecer criterios de uso de los recursos involucrados en el sistema en estudio. Este análisis permite seleccionar las propuestas cuya probabilidad de viabilidad bio-económica determinen la mayor rentabilidad bajo un marco de manejo sustentable de los recursos (León-Velarde y Quiroz, 1994). La información generada por la investigación,

incluyendo su adaptación ambiental cuantificada en el punto anterior, será utilizada como datos de entrada en el modelo de simulación desarrollado para el sistema de producción ovina en respuesta a diferentes estrategias de manejo (pastoreo, conservación) de los recursos forrajeros.

Línea: Desarrollo de línea de difusión masiva

Objetivo: Transferir y capacitar en la tecnología desarrollada y validada a los usuarios directos e indirectos del sistema ovino de la XII Región.

Resultado verificable: Resultados, bienes y servicios generados en la innovación tecnológica desarrollada transferida mediante actividades de difusión, capacitación y elementos de difusión masiva.

El proyecto contempla la realización de "paneles de discusión", y de "paneles de captura de información", ellos servirán para establecer mecanismos de diálogo y comunicación fluidos con los beneficiarios directos del proyecto y con consumidores finales, el establecimiento de un lenguaje común comprendido por todos los participantes, identificación de expectativas de todas las partes, el involucramiento gradual de los mismos, y la comunicación de los objetivos y avances de cada etapa del proyecto.

En etapas más avanzadas, el proyecto incluye actividades de "evaluación" de diferente naturaleza, incluyendo la evaluación de los prototipos o unidades de trabajo, todo lo cual está íntimamente ligado a un proceso de transferencia de conceptos, conocimientos, modos de operar las herramientas desarrolladas, retroalimentación por parte de los beneficiarios y clientes finales e incorporación de las visiones e interpretaciones de los mismos a los sistemas de gestión.

En varias etapas del proyecto se incluyen viajes de campo los cuales no sólo servirán para recoger información y validar resultados, sino también para

compartir el estado de avance, la potencialidad de la tecnología desarrollada y la visión compartida entre las instituciones participantes sobre el desarrollo de los diferentes prototipos, requerimientos de estos, y numerosos aspectos productivos, ambientales, éticos y estéticos relativos al uso de los recursos de tierras en la región objeto de estudio.

Se realizarán Seminarios - Talleres especializados en desarrollo de nuevas tecnologías productivas, implementación e investigación, evaluación de resultados y mecanismos de transferencia eficaz al sector productivo, con participación de instituciones regionales.

Se realizarán días de campo, que consistirán en visitas a la experiencia piloto, lo que permitirá conocer el comportamiento de las unidades pilotos. Además se presentará el sistema de manejo que se ha realizado y sus diferencias más relevantes con el sistema tradicional.

Se realizará publicaciones de resultados intermedios y finales del proyecto en revista de transferencia tecnológica, como Chile Agrícola, y en revistas con comité editorial: Agricultura Técnica, Ciencia e Investigación Agraria y Livestock Production, Grass and Forage production, y Agricultural Systems, con los resultados del proyecto finalizado.

Se realizará un seminario final de divulgación de resultados dirigido a productores, empresas faenadoras y comercializadoras, profesionales e investigadores relacionados con el tema, para divulgar los principales resultados obtenidos y la forma de implementar esta tecnología a nivel predial.

Línea: Estudio de prefactibilidad técnica y económica para la tecnología desarrollada.

Objetivo: Definir los mecanismos de escalamiento con las necesidades físicas y económicas para incorporar la tecnología desarrollada en diferentes zonas agroecológicas de la XII región.

Resultado verificable: Estudio de prefactibilidad técnico económica desarrollado.

La información generada por las actividades de investigación se generalizará utilizando un SIG en el cual se dispondrá de la información cartográfica, de suelos y climática disponible. La información que se podrá generalizar incluye:

- Ámbitos de adaptación y crecimiento de las especies introducidas.
- Tasas de crecimiento, de modo de identificar áreas homogéneas del punto de vista de estos parámetros.
- Tasas de cambio en los parámetros de valor nutritivo de las praderas nativas.
- Niveles esperables de producción animal (crecimiento de corderos) en el ecosistema transición/vega, por distrito agroclimático para (potencialmente) cuatro mezclas de gramíneas/leguminosas.
- Niveles esperable de conservación de forrajes para algunas especies/variedades promisorias en el ecosistema transición/vega, por distrito agroclimático y la respectiva eficiencia de conservación.

Las actividades son:

a) Análisis bioeconómico de la información generada: En esta etapa se evaluará la información generada, con el objetivo de definir pautas de escalamiento de los prototipos productivos desarrollados. Este análisis permitirá priorizar los factores relevantes del sistema de producción por uso de análisis multivariado para definición de variables prioritarias.

Se determinará el resultado económico a nivel del rubro y su incidencia sobre el resultado económico en las unidades pilotos, a partir de la recuperación de información de actividades y costos de registros, asignación de costos (centros de costos), registro y cuantificación de entradas del rubro y determinación de márgenes y rentabilidad de la inversión en la tecnología.

Se realizará un Análisis de sensibilidad del sistema de producción, con el objetivo de estimar el efecto de cambios en variables de relevancia económica, sobre el valor de producción del sistema o sobre los costos asociados, para lo cual se utilizará la información de mercado y productivas (generada en el proyecto).

Además en esta etapa se identificarán y cuantificarán las fortalezas y debilidades para la incorporación de la tecnología desarrollada en diferentes unidades productivas de la región.

b) Estructuración de mecanismos para la incorporación de la tecnología desarrollada: Uso de la información generada acerca del comportamiento adaptativo y productivo de la alfalfa evaluada. Se realizará un análisis de requerimientos del sistema predial tipo para la introducción de las nuevas tecnologías generadas en el proyecto. Este estudio implica la cuantificación de parámetros y su priorización a nivel predial, como son asignación de superficie, distribución de uso, relación de superficie, composición y

productividad de las praderas, e infraestructura funcional para el desarrollo de sistemas de producción.

La utilización de la información generada en el proyecto (productiva y económica) permitirá para definir estrategias de operación y gestión a nivel predial para las unidades participantes.

b) Principales problemas metodológicos enfrentados

La operación del proyecto presentó limitaciones para implementar la metodología de campo, por efecto de carencias de capacidades para ejecutar mediciones con la rigurosidad temporal requerida. Esta situación fue atenuada con la concentración de actividades en la unidad experimental de la empresa responsable del proyecto, dejando las unidades asociadas como unidades demostrativas y no de investigación. Además, se determinó en el segundo proceso de reitemización de los flujos técnicos y financieros del proyecto implementar un estudio físico de suelos para correlacionar los parámetros de producción primaria y secundaria registrados en diferentes sitios con las características físicas del suelo, como indicador de éxito para la selección de sitios con el menor riesgo.

El algoritmo de cálculo del modelo de crecimiento de praderas se basó en el modelo GRAZE® que se ha diseñado para condiciones agroambientales de secano templado y no de secano (estepa) fría, situación que ha disminuido la precisión en la estimación de la tasa de crecimiento y disponibilidad instantánea, como variables de salida del modelo.

Además, la evaluación de escalamiento sólo consideró la información predial generada, ya que la extrapolación regional de la tecnología validada debe considerar información edáfica de conductividad y características físicas de suelos, no disponible en éste proyecto.

c) Adaptaciones o modificaciones introducidas durante la ejecución del proyecto, y razones que explican las discrepancias con la metodología originalmente propuesta.

No se incorporaron modificaciones de forma a la metodología original del proyecto, sólo se incorporan complementariedades relacionadas con estudios complementarios de calidad de carne de corderos para determinar el efecto del incremento del plan nutricional en las características de la carcasa, junto con el estudio complementario de física de suelos relacionado con los sitios con intervención con alfalfa. Además, los ensayos de pastoreo de alfalfa fueron ampliados a uso directo con ovejas en lactancia con crías al pié, considerando la mayor eficiencia metabólica de producción de leche y su transformación en incremento de peso de corderos lactantes y el acoplamiento de la curva de producción de materia seca de la alfalfa, en términos de cantidad y calidad nutricional, con los estadios fisiológicos de mayor demanda nutricional de los ovinos. La hipótesis de éste ensayo se evaluó en términos de % de corderos que alcanzan el peso de venta en menor tiempo de engorda pre y post destete.

Para la finalización del proyecto, se modificó la metodología incorporando un auditor externo para evaluar la metodología implementada y resultados obtenidos en el proyecto, con una mirada de experto en la relación suelo-planta-animal. Para tal efecto, se estableció un contrato de servicios con el Dr. Derrick Moot, profesor asistente Agriculture and Life Science Division de Lincoln University Nueva Zelanda, experto internacional en alfalfa en condiciones templadas y frías de altura.

3. Descripción de las actividades y tareas ejecutadas (análisis brecha)

Actividad programada: Línea fertilidad de suelos		Actividad ejecutada	Comentarios
Fecha de inicio	Noviembre 2002	Toma de muestra de suelo para evaluar dinámica de nutrientes. Evaluación de análisis químico de perfiles de suelos	La actividad fue realizada externalizando los análisis bajo la metodología descrita. Los resultados fueron sistematizados en tablas Excel y fueron utilizados para definir las estrategias de corrección de fertilidad para siembra y mantención. La información incorporó suma de bases y elementos minerales trazas para mejorar la recomendación. El último análisis fue realizado en Octubre 2007.
Fecha de termino	Octubre 2007		
Fecha de inicio	Junio 2007	Evaluación física de suelos relacionados con sitios con intervención pratense.	El estudio permitió correlacionar respuesta productiva del sitio con sus características físicas edáficas, destacándose las correlaciones con características de porosidad del suelo y conductividad hidráulica con retención de humedad, y por lo tanto producción primaria y secundaria de la alfalfa
Fecha de término	Octubre 2007		

Actividad programada: Línea Evaluación pratense		Actividad ejecutada	Comentarios
Fecha de inicio	Noviembre 2002	Evaluación de producción primaria y secundaria de parcelas de pastoreo existentes	Durante el período se realizaron tres ensayos de engorda de corderos correlacionando variables de producción primaria con resultados bio-económicos, incorporando variables ambientales, productivas y zootécnicas
Fecha de término	Junio 2007		
Fecha de inicio	Septiembre 2003	Evaluación de producción primaria de nuevas variedades de alfalfa evaluadas	Durante el período se implementaron ensayos de parcelas agronómicas para analizar la emergencia y persistencia de variedades de alfalfa.
Fecha de término	Junio 2005		
Fecha de inicio	Septiembre 2003	Evaluación de ensayos de conservación de forrajes	Durante el período se evaluó nutricional, productiva y económicamente la incorporación de rollos de henilaje de alfalfa
Fecha de término	Junio 2007		
Fecha de inicio	Noviembre 2005	Evaluación de ensayos de uso de alfalfa con ovejas en lactancia (con cría al pie)	Durante el período se evaluó la distribución de peso de las canales de corderos entregados a la planta faenadora en los últimos 6 años y se comparó con la estrategia de uso de alfalfa con ovejas en lactancia
Fecha de término	Marzo 2007		
Fecha de inicio	Noviembre 2006	Estudio de evaluación de canales ovinas	Esta actividad no se ejecutó
Fecha de término	Marzo 2007		
Fecha de inicio	Noviembre 2006	Evaluación de nodulación radicular de alfalfas	Esta actividad se incorporó en la auditoría del experto Derrick Moot
Fecha de término	Marzo 2007		
Fecha de inicio	Noviembre 2006	Diseño de manual de	La actividad se realizó

Fecha de término	Marzo 2007	referencia para establecer alfalfa en condiciones de siembra directa	integrando información técnica de selección de sitios, manejo de fertilidad de suelos, siembra, evaluación de emergencia y utilización de alfalfa bajo una cadena forrajera
------------------	------------	--	---

Actividad programada: Línea Desarrollo de herramientas de apoyo a la gestión		Actividad ejecutada	Comentarios
Fecha de inicio	Noviembre 2004	Diseño, estructuración y validación de modelo de uso de alfalfa con corderos en pastoreo con ó sin suplementación a potrero	Se ejecutó una herramienta para evaluar el comportamiento del peso vivo de corderos en condiciones de pastoreo de alfalfa con ó sin suplementación. El modelo incluyó el comportamiento de regulación de temperatura corporal en el cordero por efecto de la temperatura y viento incidente
Fecha de término	Junio 2007		
Fecha de inicio	Noviembre 2004	Diseño, estructuración y validación de modelo de uso de alfalfa con borregas de reemplazo en pastoreo con ó sin suplementación a potrero	Se ejecutó una herramienta para evaluar el comportamiento del peso vivo de borregas en condiciones de pastoreo de alfalfa con ó sin suplementación. El modelo incluyó el comportamiento de regulación de temperatura corporal en la borrega por efecto de la temperatura y viento incidente
Fecha de término	Junio 2007		
Fecha de inicio	Noviembre 2004	Diseño, estructuración	Se ejecutó una

Fecha de término	Junio 2007	y validación de modelo de uso de alfalfa con ovejas gestantes	herramienta para evaluar el comportamiento del peso vivo de ovejas gestantes en condiciones de pastoreo de alfalfa con ó sin suplementación. El modelo incluyó el comportamiento de regulación de temperatura corporal en la oveja por efecto de la temperatura y viento incidente
Fecha de inicio	Noviembre 2006	Diseño, estructuración y validación de modelo de uso de alfalfa con ovejas lactantes con cría al pié	Se ejecutó una herramienta para evaluar el comportamiento del peso vivo de corderos lactantes en condiciones de pastoreo de alfalfa con ó sin suplementación para las ovejas madres. El modelo incluyó el comportamiento de regulación de temperatura corporal en el cordero por efecto de la temperatura y viento incidente
Fecha de término	Junio 2007		
Fecha de inicio	Noviembre 2004	Diseño, estructuración y validación de modelo experto para selección de sitios para siembra directa.	Se diseñó un algoritmo de inferencia para relacionar variables edáficas, de manejo y climáticas para la selección de sitios para siembra de alfalfa con siembra directa
Fecha de término	Marzo 2007		
Fecha de inicio	Noviembre 2006	Diseño, estructuración y validación de modelo de simulación para emergencia y crecimiento de alfalfa bajo siembra directa	Se evaluó el algoritmo de cálculo del programa GRAZE® para estimar la dinámica pratense de la alfalfa
Fecha de término	Marzo 2007		

Actividad programada: Línea de difusión masiva		Actividad ejecutada	Comentarios
Fecha de inicio	Noviembre 2003	Actividades de difusión periódicas del proyecto	Los objetivos, hipótesis de trabajo y resultados parciales del proyecto fueron presentados: reunión anual de ASOGAMA (2003), Visita experto David Scott (2003), II jornada ovina internacional de Río Verde (2005), reunión con productores - Río Verde AFC (Enero 2005)-
Fecha de término	Junio 2007		
Fecha de inicio	Diciembre 2005	Días de campo	Se realizó un día de campo, modelo workshop en la unidad experimental de Cerro Guido (2005). El segundo día de campo programado para Diciembre 2006 fue aplazado para Diciembre 2007 para aumentar al información a entregar a los productores
Fecha de término	Junio 2007		
Fecha de inicio	Mayo 2005	Reunión pratense regional	Se realizó un taller de trabajo con los equipos técnicos de los proyectos pratenses regionales
Fecha de término	Mayo 2005		
Fecha de inicio	Junio 2007	Taller internacional pratense	Se realizó un taller con charlas del experto Derrick Moot de Lincoln University, Nueva Zelanda en Punta Arenas
Fecha de término	Junio 2007		

Actividad programada: Estudio de prefactibilidad técnica y económica para la tecnología desarrollada.		Actividad ejecutada	Comentarios
Fecha de inicio	Mayo 2005	Análisis bioeconómico de la información generada	Se realizó una ficha de costos para la tecnología evaluada y se contrastaron bioeconómicamente con alternativas alimenticias.
Fecha de término	Octubre 2007		
Fecha de inicio	Mayo 2005	Estructuración de mecanismos para la incorporación de la tecnología desarrollada:	Se diseñó una estrategia de incorporación de la tecnología desarrollada
Fecha de término	Octubre 2007		

4.- Resultados del Proyecto.

4.1. Resultados parciales obtenidos a la fecha

a) Línea de fertilidad de suelos:

Resultado verificable proyecto original: Información sistematizada, como elementos para definir pautas de manejo y para estructurar algoritmo de cálculo de las herramientas computacionales de apoyo a la gestión predial, de la dinámica de nutriente del suelo limitantes para el crecimiento de las praderas en las unidades experimentales.

Resultado 1: Evaluación comportamiento de fertilidad en unidades experimentales

El análisis de la información de análisis de suelo con información 2000-2007 se señala:

- i. La pastura de alfalfa sometida a corte se afecta en forma negativa los niveles de Fósforo (P) disponibles, comportamiento observado en sitio de alta productividad para corte, como el caso de Primera Barranca.
- ii. Los niveles de fósforo (P) son en general medios, concentrando las deficiencias en suelos arenosos como es el caso de los sitios River side, Flat canal y Carrasco sector loma.
- iv. El azufre (S) se encuentra deficitario en sitios arenosos y orilla de lago en general, repitiéndose los mismos potreros del punto anterior.
- v. La deficiencia de Boro (B) se manifiesta en tres potreros, River side triángulo, Carrasco loma y Vega toro 2 A.

vi. Los tenores de Sodio (Na) varían desde medios a altos en suelos sódicos, hasta medios bajos en suelos arenosos, con menor contenido de materia orgánica (MO).

vii. La sumatoria de bases inferior a 20meq, y cercana a 10 meq, corresponde a sitios arenosos con bajos contenidos de Calcio (Ca), sin embargo conservan su alto contenido de Potasio (K) y Magnesio (Mg).

viii. Enmiendas de azufre (S) y/o fósforo (P) se aconseja realizar en Otoño tardío, sin viento y antes del hielo del suelo. Se usa el congelado del suelo para romper moléculas de Fósforo.

ix. Nitrógeno si utiliza para pasturas mixtas es ideal aplicar en Julio, antes del deshielo para asegurar que todo quede dentro del suelo y no se volatilice.

x. El Fosfato di amónico contiene Nitrógeno amoniacal, es altamente demandante de humedad y quema las plántulas cuando la humedad es limitante. Las siembras con menores resultados utilizaron como fuente de corrección de fertilidad de nitrógeno del suelo. El efecto gaseoso del Nitrógeno como amoniaco es el causante del daño a plántulas en el establecimiento, generando un establecimiento de una plántula de Alfalfa frágil.

xi. Es posible asociar los sitios de mayor contenido de Fósforo (P), Azufre (S) y Sumatoria de bases con los mejores resultados de producción primaria. Generalmente este tipo de sitio sufre de hidromorfismo hasta tarde en la temporada de Primavera. Los sitios con mayor contenido de arena, están más expuestos al viento, presentan mayores limitaciones en fertilidad química y física.

xii. Ideal es fertilizar con la sembradora para localizar hasta 400 kg de mezcla / ha.

xiii. El pH de las unidades siempre es adecuado para Alfalfa. No existe evidencia de acidificación, con bajos tenores de Aluminio extractable (Al) y capacidad de fijación de fósforo baja. El potasio (K) no es limitante en ninguno de los análisis.

xiv. El balance entre las bases de intercambio es siempre apropiado, al igual que la sumatoria de bases de intercambio, solo se aprecia deficiencias de Calcio en suelos arenosos.

xv. Existe altos niveles de Magnesio (Mg) en algunas situaciones puntuales. El azufre (S) es limitante especialmente en suelos arenosos circundantes de Lagos o fluvioglaciares sin depositación de arcilla. Existe alta respuesta a la aplicación de Sulfato (SO_4^{-2}).

xvi. El Fósforo (P) es muy estable en profundidad y las respuestas a enmiendas son altísimas dada la baja capacidad de fijación de los suelos.

xvii. No existe limitaciones en fertilidad química en los perfiles analizados durante todo el período comprendido entre 2000 y el 2007.

Los resultados de los análisis históricos, junto con las pautas de corrección de fertilidad de suelos, se presentan en el Cuadro 3 y en el anexo 2 se entregan los estándares utilizados para definir las pautas de corrección de fertilidad de suelos.

Cuadro 3. Análisis de fertilidad de suelos en unidades participantes de proyecto (valores rojos presentan marcada deficiencia inicial).

GANADERA CERRO GUIDO LTDA.
ESTANCIA CERRO GUIDO

RESUMEN ANALISIS DE SUELO

feb-01

POTRERO	pH Agua	MO	P	Al EXT.	Cap.Fij.	K	Ca	Mg	K	Na	Bases	Al int.	% Sat. Al.	S	Zn	B	Ca+Mg/K
Campo rio/ 1° barranca 2000	7,9	5,22	16	17,6	baja	540	11,2	5,1	1,4	3,49	21,21	0,02	0,08	235	2,36	1,73	14,9
Campo 3	8,99	8,07	10	30,1	baja	952	21,7	18,1	2,4	5,16	47,41	0,02	0,04	32,72	0,83	7,49	29,1
Campo 3 chico	8,36	9,08	7	28,3	baja	502	25,7	30,9	1,3	17,8	75,68	0,01	0,02	46,52	1,89	6,14	49,8
Vega Toro 4H	8,16	7,49	9	8,14	baja	887	19,2	11,3	2,3	1,93	34,68	0,01	0,03	327	2,34	2,86	24,2
Partiular	8,11	3,18	16	11,1	baja	394	3,57	4,69	1	4,17	13,57	0,13	0,96	45,64	1,14	4,55	8,2
Primera empastada	6,87	7,31	5	11,3	baja	519	16,2	2,81	1,3	0,12	20,5	0,02	0,09	5,1	2,18	2,29	18,3
Vega Toro 2 A	6,77	2,39	8	11,1	baja	311	4,5	1,31	0,8	0,06	6,69	0,02	0,34	0,13	0,98	0,59	6,1
Flat Canal	7,08	4,86	7,01	7,01	baja	469	9,28	1,92	1,2	0,05	12,47	0,02	0,13	3,17	1,92	1,64	10,9

jul-01

POTRERO	pH	MO	P	Al ext.	Cap.Fij.	K	Ca	Mg	K	Na	Bases	Al int.	% Sat.	S	Zn	B	Ca+Mg/K
Flat Canal alta	6,86	3,99	12	16	baja	343	6,45	1,77	0,9	0,04	9,15	0,01	0,09	3,22	2,49	1,04	8,46
Flat Canal bajo	7,1	3,69	8	14	baja	395	7,51	1,76	1	0,1	10,39	0,01	0,12	2,07	1,55	1,42	9,25
River Side	6,79	2,65	8	18,5	baja	341	4,04	1,32	0,9	0,04	6,29	0,01	0,21	6,7	1,09	0,54	5,56
River Side triángulo	6,34	4,79	8	33,2	baja	310	6,88	2,33	0,8	0,05	10,06	0,01	0,08	7,32	4,39	0,77	9,83
Primera barranca potrero	6,93	2,57	10	23,5	baja	396	15,9	2,68	1	0,11	19,67	0,01	0,03	<1	2,44	1,32	18,51

abr-02

POTRERO	pH	MO	P	Al ext.	Cap.Fij.	K	Ca	Mg	K	Na	Bases	Al int.	% Sat.	S	Zn	B	Ca+Mg/K
River side triángulo	6,47	4,32	5	20	baja	281	7,67	2,3	0,7	0,03	10,72	0,001	0,01	2,26	2,6	0,19	10,86
Carrasco aa plano	8,28	7,07	17	11	baja	871	25,6	4,96	2,2	0,3	32,66	0,01	0,02	10,25	2,19	2,14	27,82
Carrasco aa loma	7,53	3,82	11	10	baja	560	6,41	1,81	1,4	0,03	9,69	0,01	0,11	4,36	1,04	0,55	7,68

abr-03

POTRERO	pH	MO	P	Al ext.	Cap.Fij.	K	Ca	Mg	K	Na	Bases	Al int.	% Sat.	S	Zn	B	Ca+Mg/K
Herradura 30 ha analisis Uach.	8,3	14,7	19,6		Baja	813	26,1	6,57	2,1	1,48	36,23	0,02	0,1	38,7	2,4	9,7	29,3
Herradura 30 ha analisis bioleche	8,01	9,16	10,86		Baja	889	24,4	5,4	2,3	0,84	32,87			42,97	1,52	3,28	26,72
1° Barranca siembra 98 anal bioleche	8,63	7,54	6,8		Baja	663	10,2	6,46	1,7	2,33	20,65			87,17	1,37	2,77	13,96
1° Barranca siembra 00 anal bioleche	8,06	7,17	10,38		Baja	510	13	4,79	1,3	1,34	20,4			71,55	1,03	1,02	16,62
Vega Toro 4 alfalfa anal bioleche	8,01	10,54	11,24		Baja	815	19,2	7,49	2,1	1,43	30,22			153	1,6	2,01	22,79
Vega Toro 4 PN	6,9	54,2	13,9		Baja	665	46,7	7,07	1,7	1,85	57,33	0,03	0,1	158	1,3	24	50,9

abr-04

POTRERO	pH	pH	MO	N	P	K	Na	Ca	Mg	Bases	Al int	Cice	Sat Al	S	B	Fe	Cu
Herradura	7,8	7,1	10,6	18,2	10,3	2,3	0,36	24,7	3,5	30,8	0,02	30,82	0,1	13,4	1,3	44,3	0,9
Vega Toro IV	7,9	7,5	7,2	16,2	7	2,4	1,75	21,4	10,3	35,8	0,02	35,82	0,1	239,2	2	40,6	2,4
Vega Nash	7,7	7,3	19,7	14	8,8	1,4	1,43	36,4	12,4	51,7	0,02	51,72	0,1	82,6	1,1	179,2	5,4
Riverside Norte	6,7	6,1	3,1	12,6	4,9	1	0,03	4,8	1,7	7,5	0,02	7,52	0,1	2,5	0,8	32,3	0,7

may-05

Potrero	pH	pH CaCl ₂	MO	P	K	Na	Ca	Mg	Bases	Alint	CICE	Sat Al	S	B	Zn	Fe	Cu
Palike	7,1	6,6	3,6	24,1	1,2	0,2	10,5	4,40	16,34	0,01	16,35	0,06	2,0	1,72	0,53	33,9	2,14
Marcou	8,4	7,6	4,4	15,1	2,1	0,1	28,1	3,00	33,21	0,01	33,22	0,03	2,0	1,17	0,27	11,7	1,82

mar-06

POTRERO	pH		MO	N	P	K	Na	Ca	Mg	Bases	Al int	Cice	Sat Al	S	B	Fe	Cu
Vega Toro IV campo 4	7,3		16,34	35,33	25,8	1	0,8	32,1	6,24	40,18	0	40,18	0,1	271	1,25		
Herradura Kark	5,88		6,77	2,03	9,52	1,8	0,14	13,1	4,6	19,64	0	19,64	0,1	7,39	0,89		
Primera Barranca - B	7,37		5,43	8,89	16,04	1,5	0,97	12,6	5,66	20,73	0	20,73	0,1	161	1,02		
Vega Toro IV campo V	7,53		13,17	16,7	28,04	1,9	0,62	26,5	6,67	35,68	0	35,68	0,1	115	1,63		
Primera Barranca - A	6,8		4,27	9,55	17,28	1,5	0,48	11,4	3,6	17,02	0	17,02		18,04	0,74		

ANLISIS DE SUELO 2002 - 2003
COMPLEJO TORRES DEL PAINE

POTRERO		pH	MO	P	Al ext.	Cap.Fij.	K	Ca	Mg	K	Na	Bases	Al int.	% Sat.	S	Zn	B	Ca+Mg/K	Ca/Mg	K/Mg
Castillo viejo 02		6,05	5,6	5	131	baja	188	4,13	1,4	0,5	0	6,06	0,02	0,28	12,6	1	0,73	7,07	2,93	0,34
Castillo viejo 03		6,2	13,6	8,2		baja	430	7,87	2,3	1,1	0	11,29	0,04	0,4	2,8	3	4,1	9,94	3,45	0,48
Castillo viejo 04	Siemb 02	6,5	6,7	5		baja	313	5,39	1,5	0,8	0	7,72	0,02	0,26	2,4	1		7,25	3,62	0,54
	Siemb 03	6,5	7	12,3		baja	301	4,98	1,3	0,8	0	7,08	0,02	0,28	2	1		6,65	3,86	0,60
	Siemb 04	6,6	5,9	4,8		baja	207	4,1	1,1	0,5	0	5,73	0,02	0,35	2	0		6,12	3,83	0,50
Faja del rio (KARK)		6	17,4	6,2			450	12,9	4,8	1,2	0,4	19,33	0,03	0,2	2	6	3,5	16,93	2,70	0,25

Año	Fuentes comerciales: productos utilizados (kg/ha)						Aporte nutrientes (kg/ha)							
	Super fosfato triple	Fosfato diamónico	Fertiyeso	Azufre	Roca fosfórica	Calfos n	N	P	K	Ca	Mg	Na	S	SO4
2000		100	100				18	46	32				0	16
2001				100	100		0	22	0				99	0
2002				100	100		0	22	0				99	0
2003		200	100				36	92	32				0	16
2004		200	100				36	92	32				0	16
2005	200		100				0	92	32				0	16
2006						300	12	75	57				15	30

Resultado 2: Evaluación Física del Suelo en Tres Sitios de Estepa de la Región de Magallanes, Provincia Ultima Esperanza

Introducción: En el mes de Junio del 2007, se realizó un estudio de suelos utilizando parámetros físicos y mecánicos, en la Ganadera Cerro Guido como parte del proyecto FIA C2002PI 35, sobre un área que fue limpiada y regenerada con *Medicago sativa* (alfalfa) entre los años 2000 – 2004. La zona tenía una marcada influencia fluvioglacial, con un declive topográfico característico de este tipo de formación. El objetivo del estudio fue determinar la condición física y mecánica actual, de tres sitios que pertenecen al área Coironal de la comuna Torres del Paine. La empresa Ganadera Cerro Guido ha manejado los sitios, interviniendo el suelo mediante cero labranza (Siembra directa), para regenerar con *Medicago sativa* el pastizal o coironal degradado. Todos los sitios han sido intervenidos agrícolamente al menos dos veces desde su formación.

Cuadro 4. . Historial de los sitios.

	Ubicación	Año de Intervención (regeneración)	Respuesta a Intervención
Flat Canal	Orilla Lago Toro	2002	Bueno
River Side	Terraza Río Las Chinas (Parte Superior Orilla Lago Toro)	2005	s/respuesta
Primera Barranca	Planicie Intermedia valle del río Las Chinas	2000	Excelente

Con el fin de caracterizar el suelo en forma particular, se estudiaron en los tres sitios mencionados las siguientes propiedades Físico-Mecánicas:

- Densidad aparente.
- Densidad real.
- Porosidad total.
- Curva característica o de retención de humedad.
- Conductividad hidráulica.

Estructura del Suelo: El suelo es un sistema trifásico que contiene un limitado número de componentes que se distribuyen al azar en su perfil. Los componentes se agrupan en una fase sólida, una fase líquida y una fase gaseosa. Según las relaciones que se den entre ellas, la estructura resultante tendrá propiedades particulares, que se reflejarán en la forma y capacidad para conducir y contener el agua y el aire en el suelo, para soportar determinadas cargas sin llegar a compactarse y facilitar la exploración radicular, entre otras cosas. De esta forma la expresión del potencial productivo de un cultivo es dependiente de las características del suelo donde se desarrolle.

Dentro de las características del suelo que influyen en la formación de estructura, están la textura y la mineralogía de las arcillas, la materia orgánica, materiales inorgánicos no cristalinos, solutos adsorbidos o de intercambio presentes en el sistema poroso, plantas y microorganismos del suelo y la profundidad del perfil, así como los cambios en el contenido de agua del suelo. La magnitud de la influencia de estas características varía por acción del clima, del manejo y del uso del suelo.

Las propiedades del suelo dadas por la estructura, son de vital importancia para el desarrollo de las plantas, ya que determinan la capacidad de enraizamiento, controlan la disponibilidad de oxígeno, de agua y la resistencia a la penetración de las raíces.

Del punto de vista mecánico, la resistencia de un suelo al tráfico o laboreo, esta determinada por la cantidad de puntos de contacto entre las partículas. A mayor cantidad de puntos de contacto, mayor resistencia al peso de maquinarias o animales, pero, también a mayor cantidad de puntos de contacto, se reducen los vacíos (poros) por donde circula el agua y el aire, y se dificulta el crecimiento de las raíces.

La estructura ejerce una fuerte influencia sobre los procesos hidráulicos y de transporte de minerales, ya que la porosidad total está asociada a la conectividad de los poros (conductividad hidráulica). Gran cantidad de poros pero no conectados dificultan la absorción de minerales por parte de la planta. La conectividad de los poros se quiebra cuando se aplica una fuerza que excede a la de la resistencia mecánica del suelo, ya que ésta provoca deformaciones que cambian el ordenamiento de las partículas de suelo y de esta forma la dirección de los poros. En un suelo no intervenido, los poros tienen una orientación vertical en profundidad. En ellos se produce un intercambio gaseoso y una conducción de agua entre la superficie y la profundidad del perfil de suelo. Cargas sobre la superficie que superen la capacidad de soporte del suelo, producirán deformaciones en el volumen de suelo, que generarán entre otras cosas, una orientación en sentido horizontal de los poros, dificultándose con esto el intercambio de agua y aire en el perfil del suelo. Por ejemplo, en un suelo deformado a 20 cm., las raíces de alfalfa que se concentran a 35 cm. y más, necesitarán de mayor energía para poder obtener el agua y el aire, cuyo flujo se ha visto alterado por la deformación.

El proceso más conocido es la compactación, que es la condición final de deformación de un suelo en el que se han alterado las relaciones entre la fase sólida y de vacíos, provocando una pérdida en su volumen, un aumento en la densidad aparente, una redistribución del espacio poroso hacia tamaños más finos y una disminución en la velocidad de infiltración, lo cual acelera la erosión y disminuye el potencial productivo del negocio agrícola. Ejemplos clásicos son los suelos en los que se obtenían rendimientos elevados y que hoy requieren de fertilizaciones excesivas para alcanzar dichos rendimientos, producto de una menor respuesta de las plantas a los nutrientes. Esta situación se asocia a la degradación de la estructura del suelo que provoca generalmente una disminución de la porosidad gruesa, un exceso de porosidad fina que retiene muy fuertemente el agua y una discontinuidad porosa que impide un correcto intercambio gaseoso en las raíces. También, se produce pérdida de volumen de suelo producto de drenajes mal diseñados, en suelos con horizonte orgánico, la

materia orgánica se oxida producto del drenaje y el suelo se asienta, formación de pie de arado en distintas profundidades, entre otros problemas físicos. Los éxitos logrados con las técnicas de fertilización han sido tan relevantes bioeconómicamente, que han provocado una laxitud operacional del axioma que cualquier fertilización sólo tiene éxito cuando el balance hídrico para un cultivo es adecuado. Sin una hidratación adecuada del cuerpo vegetal y de agua disponible en la cercanía de las raíces, la planta no es capaz de absorber los nutrientes del suelo.

Material y Método: Se muestrearon 3 sitios, Flat Canal, River Side y Primera Barranca, a dos profundidades, 5 y 30cms (Cuadro 5).

Cuadro 5. Número de cilindros por profundidad y por sitio.

Sitios	Nº cilindros (5cms)	Nº cilindros (30cms)
Flat Canal	6	6
River Side	6	6
P.Barranca	4	3

El muestreo se realizó en forma aleatoria, procurando extraer muestras de zonas topográficamente representativas de la realidad del sitio (Figura 2).

Figura 2. Toma de muestra de cilindros.



Resultados Densidad Aparente (g/cc): Esta variable (dap) refleja la relación entre el volumen de sólidos y el volumen de vacíos de un suelo. La densidad de un suelo varía dependiendo del material textural que lo conforma y más importante aún, del manejo que éste tenga: laboreo excesivo, tránsito de maquinaria o animales en suelo húmedo, etc. Un aumento de la densidad aparente se traduce primeramente en una disminución de los macroporos o poros de drenaje y dependiendo de la intensidad de la lluvia (cm^3/s , cm^3/h .), el efecto de la disminución de los poros de drenaje puede traducirse en un escurrimiento superficial del agua, con la consiguiente pérdida de suelo por arrastre. Dependiendo del tipo de suelo, el aumento de la densidad aparente tiene distintas implicancias en las propiedades del suelo. Por ejemplo, en un suelo arenoso, la disminución de los poros de drenaje por efecto del aumento de la densidad aparente, es positivo porque reduce las pérdidas de agua y temperatura que se producen comúnmente en estos suelos debido a su gran cantidad de poros gruesos de drenaje rápido. Los valores de densidad aparente están en el rango normal para suelos arenosos y limosos (Cuadro 6 y Figuras 3-4).

Cuadro 6. Valores de densidad aparente a las dos profundidades estudiadas.

	Flat Canal	River Side	Primera Barranca
5 cm	1,1 g/cm ³	1,1 g/cm ³	0,8 g/cm ³
30 cm	1.3 gr./cm ³	1,4 g/cm ³	1,2 g/cm ³

Figura 3. Densidad aparente a los 5 cm en los tres sitios.

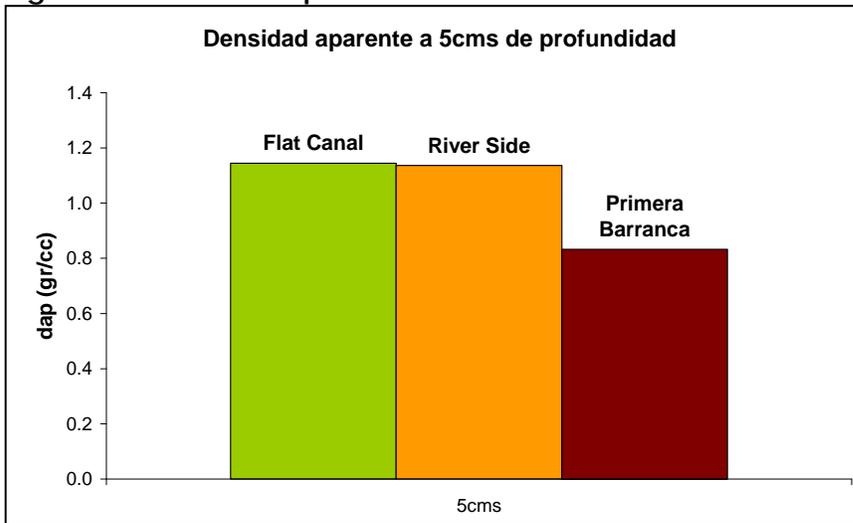
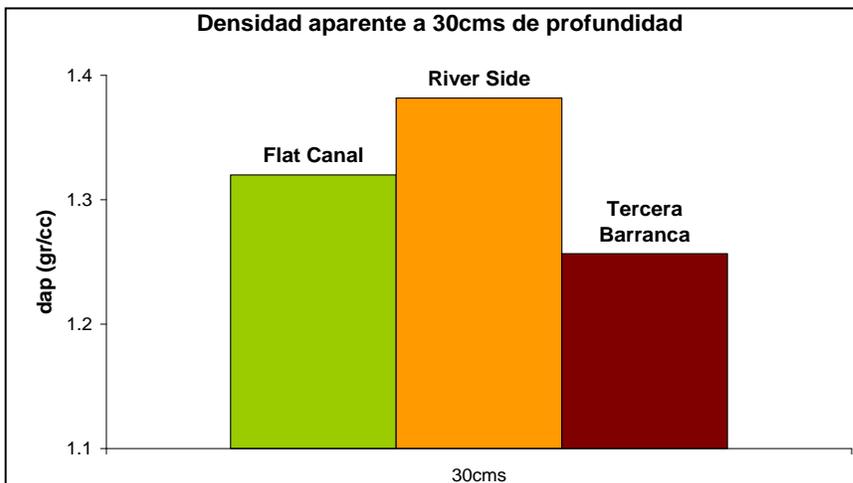


Figura 4. Densidad aparente a los 30 cm en los tres sitios.



El sitio Primera Barranca presenta la menor densidad aparente en las dos profundidades. Primera Barranca es un sitio ubicado en una planicie intermedia del Valle del río Las Chinas, esta ubicación lo condiciona a un determinado tipo de textura, con materiales más finos, como limo y arcilla. El menor peso de estas partículas en comparación a las arenas y la mayor cantidad de vacíos (poros) que se generan por el ordenamiento heterogéneo de sus partículas produce que estos suelos tengan naturalmente una menor densidad aparente. Esto implica una mayor facilidad para la penetración radicular, y una mayor aireación.

Los sitios Flat Canal y River Side presentaron una densidad aparente muy similar (Figura 3). Ambos sitios se encuentran colindantes, cercanos al lago, y dada esta ubicación es que presentan una mayor cantidad de materiales gruesos (arenas). La arena tiene un peso específico mucho mayor a los otros materiales, y esto explicaría la mayor densidad aparente de estos sitios en comparación a Primera Barranca.

El aumento general de la densidad aparente a los 30 cm de profundidad se puede deber a:

- Migración natural de partículas finas en profundidad.
- Capa pedregosa o pie de arado en profundidad.
- Agregación por efecto de las raíces de las plantas.
- Preparación de suelo profunda.
- Siembra Cero Labranza.

Un aumento de la densidad aparente indica únicamente, que ha habido un reacomodo de las partículas del suelo, producto de los procesos señalados anteriormente y que el espacio de vacíos se ve reducido. Lo importante es determinar qué fracción porosa se ha visto afectada por este aumento de la dap, para saber si ha sido afectada la disponibilidad de agua para las plantas. Dentro del rango de densidades aparentes, Flat Canal tiene un valor medio y River Side tiene un valor alto para suelos arenosos. Siendo River Side el sitio menos intervenido de los tres, hace suponer que algún factor medio ambiental podría ser el causante de su mayor densidad. Por ejemplo la mayor cantidad de grava de distinto tamaño encontrada en el perfil de suelo de River Side, en comparación a Flat Canal, podría ser la causal de este alto valor de dap, ya que no se encontró una capa de suelo compactada, como tampoco algún material impermeable o la roca madre que estuviese provocando esta situación.

Distribución de poros: Los valores de densidad aparente reflejan la relación que existe entre el volumen de sólidos y el volumen de vacíos de un suelo. Los vacíos que se generan en el suelo son llamados poros, y existen de distinto tamaño. Por éstos el agua y el aire son conducidos. La distribución de poros sirve como un indicador de la calidad del suelo, ya que indica el tamaño y la cantidad de poros presentes (Cuadro 7).

Cuadro 7. Clasificación de distintas fracciones de poros por tamaño, y función.

Tipo de poros	Diámetro Equivalente (µm)	Tensión de agua (hPa)	Base de orientación
Poros de drenaje rápido	> 50	$6 \cdot 10^1$	
Poros de drenaje lento	50-10	$6 \cdot 10^1 - 3 \cdot 10^2$	Capacidad de Campo (valor más frecuente)
Poros de agua útil	10-0,2	$3 \cdot 10^2 - 1,5 \cdot 10^4$	Capacidad de Campo (valor máximo)
Poros de agua inútil	< 0,2	$1,5 \cdot 10^4$	Punto de marchitez Permanente

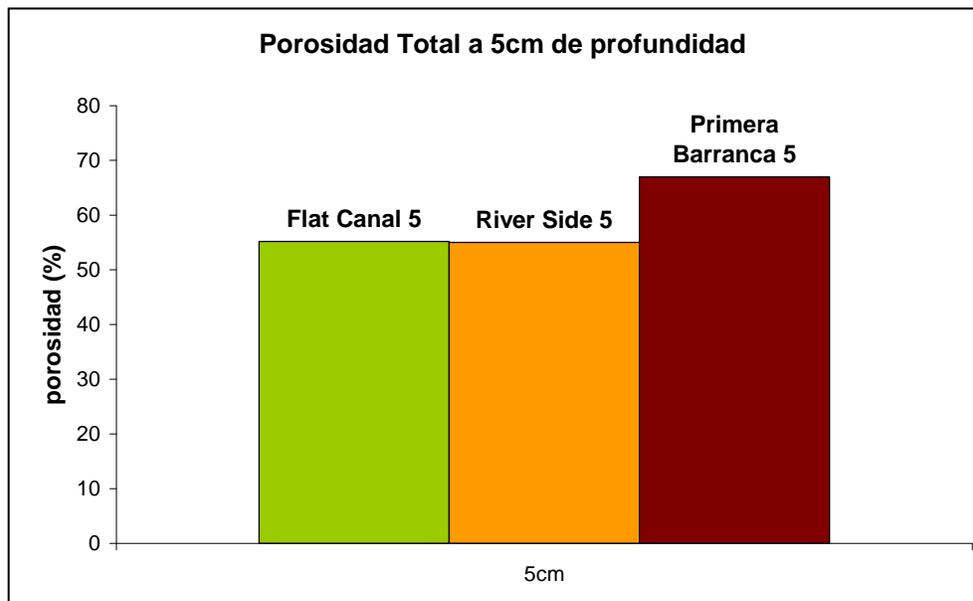
Fuente: Ellies, 2002

Los poros de drenaje rápido (PDR) son los de mayor tamaño, y tienen como función drenar en forma rápida el agua, evitando el escurrimiento superficial. Los poros de drenaje lento (PDL) tienen una doble función, almacenar agua y drenar a una velocidad menor (por menor tamaño), posibilitando a las plantas absorber agua de estos sitios. Los poros de agua útil (PAU) es donde se acumula el agua proveniente del drenaje, y se encuentra disponible para ser absorbida por las raíces de las plantas. Los poros de agua inútil (PAI) son poros muy pequeños, donde el agua se encuentra retenida a una gran tensión, imposibilitando a las plantas absorber agua de estos sitios. Un aumento en la densidad aparente

disminuye la cantidad de poros totales y modifica la cantidad de poros en cada fracción, condicionando a otras propiedades del suelo como su capacidad conductora de agua y aire, capacidad de almacenamiento de agua, profundidad de enraizamiento, capacidad de soporte, entre otros.

Al condicionar el volumen de exploración del sistema radicular de los vegetales, o dificultarlo, se genera un esfuerzo mayor para la planta para llevar a cabo sus procesos de crecimiento y desarrollo, generan un estrés, que sumado a otros factores como falta de agua o sobre pastoreo, pueden causar la muerte de la planta.

Figura 5. Porosidad Total de los 3 sitios estudiados a 5 cm de profundidad.

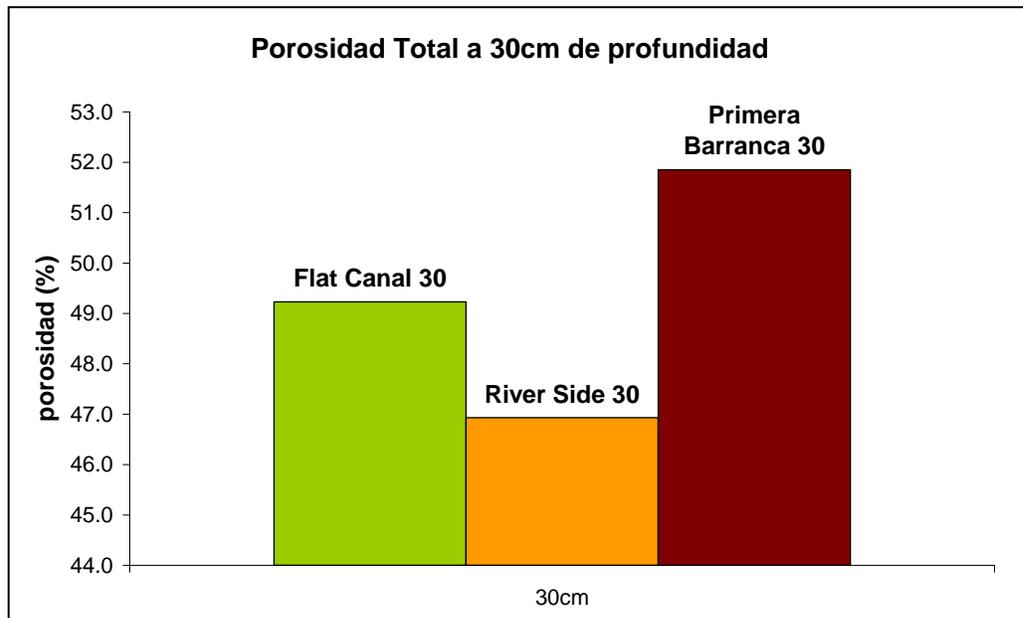


En Figura 5, Primera Barranca tiene una mayor porosidad total (67%) y Flat Canal y River Side tienen una menor porosidad (55%). La porosidad total en suelos arenosos generalmente varía en torno a un 55%, y en suelos limo-arcillosos en torno a un 65%.

La porosidad total se relaciona con las densidades aparentes observadas en Figura 3-4, donde a mayor densidad aparente, menor volumen de vacíos o menor

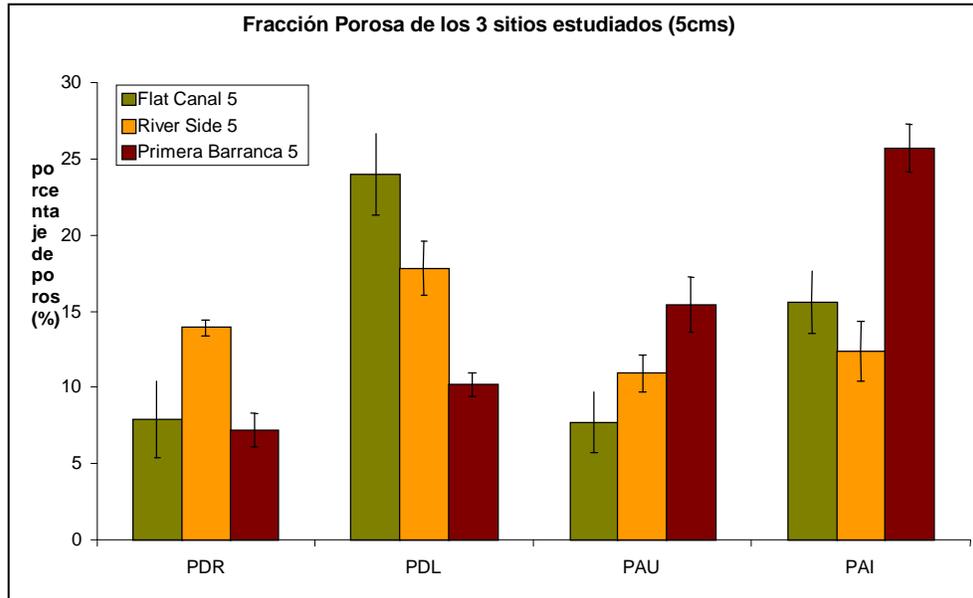
porosidad (Flat Canal y River Side), y a menor densidad aparente, mayor porosidad total (Primera Barranca), donde los poros tienen distintos tamaños los cuales se agrupan en distintas fracciones y cada variación en la densidad aparente del suelo, provoca una redistribución de las fracciones porosas.

FIGURA 6. Porosidad Total a 30 cm.



Las raíces de alfalfa se concentran muy densamente en los primeros 30-60cm de suelo. Por lo tanto es muy importante determinar la capacidad del suelo para almacenar agua a esta profundidad. La porosidad total en los 3 sitios disminuye (Figura 6) en forma general. Esta situación se puede explicar por la acción natural del peso del suelo sobre adyacente, que provoca un aumento de la densidad aparente, con la consiguiente disminución de los vacíos. A esta profundidad se acentúa la diferencia entre Flat Canal-River Side y Primera Barranca, debido a la diferencia de cantidad de partículas de limo, arcilla y arena. En forma particular, la mayor densidad aparente detectada en River Side, provoca una menor cantidad de poros. En cambio Primera Barranca tiene una mayor capacidad porosa, reflejado en una menor densidad aparente.

Figura 7. Distribución de las distintas fracciones porosas a 5cm.



Los puntos de contacto que se generan entre partículas en los suelos arenosos, es menor, debido a que las partículas son de mayor tamaño (menor superficie específica). Esto explica la mayor proporción de poros de drenaje en este tipo de suelos. En suelos con partículas más finas, aumenta la superficie específica, y disminuyen los poros de drenaje y aumentan los de almacenamiento de agua (PAU) y los de mayor retención (PAI).

La distribución de los poros en Flat Canal y River Side (Figura 7) es característica para un suelo arenoso, con una mayor cantidad de poros de drenaje (PDR y PDL), y baja cantidad de PAU y PAI. Flat Canal tiene marcadamente menor PDR y mayor PDL. Esta situación se asocia comúnmente a una migración de poros, de PDR a PDL. En algún momento se sobrepasó la capacidad de soporte de este suelo ya sea con maquinaria o con animales, lo que produjo un aumento en la densidad aparente y una redistribución de las fracciones porosas. Sin embargo en terreno no se apreciaba una situación negativa, como estructura del tipo laminar, o raíces con crecimiento lateral (producto de una capa dura con alta resistencia a la penetración). A los 5 cm es común encontrar en el suelo una alta dap por efecto del tránsito, lo importante es que esta no sea de tal magnitud que el suelo

no sea capaz de drenar el agua, por baja cantidad de PDR (provocando un escurrimiento superficial con la consiguiente erosión), y que esta capa dura no se trasloque en profundidad (sobrepasando nuevamente la capacidad de soporte del suelo, enterrando este problema en profundidad). El beneficio de esta migración de poros en Flat Canal, es que hay una mayor acumulación de agua, lo que permite a las plantas aprovecharla más. En general, los suelos arenosos naturalmente adolecen más la sequía, ya que drenan rápidamente el agua, y almacenan bajos volúmenes (baja cantidad de PAU), por lo que las plantas se pueden ver rápidamente estresadas.

Primera Barranca tiene un comportamiento característico de suelos con mayor cantidad de limo y arcilla, con mayor porcentaje de poros pequeños, PAU y PAI. Esta situación genera una mayor capacidad para almacenar agua y tenerla disponible para la planta.

Cuadro 9. Distribución de poros (cc) a 5cm.

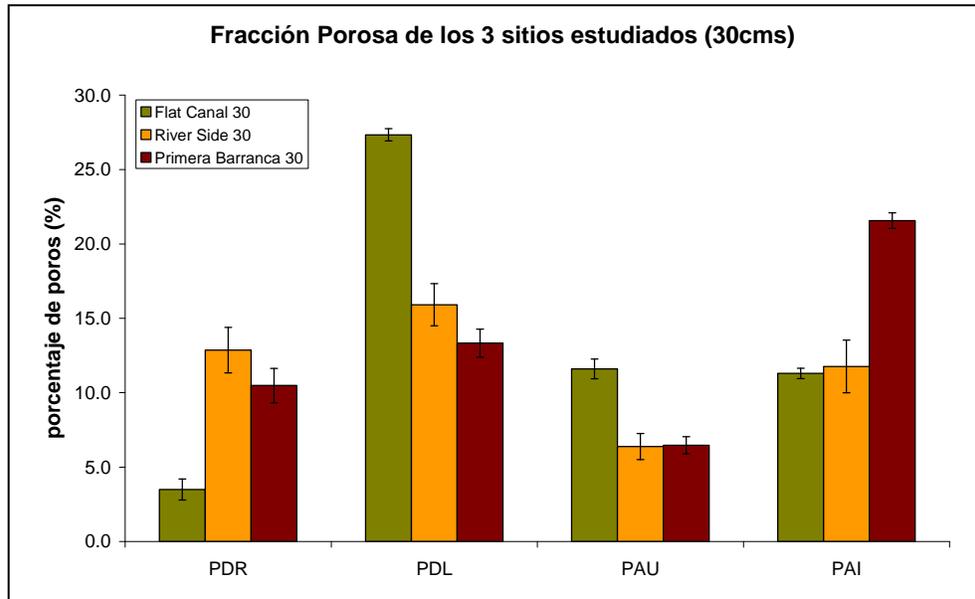
5cm	Flat Canal 5 (cc)	River Side 5 (cc)	Primera Barranca 5 (cc)
PDR	19,8	34,8	18,0
PDL	60,0	44,5	25,4
PAU	19,3	27,3	38,6
PAI	39,0	30,9	64,3
TOTAL	138,0	137,5	146,3

En el Cuadro 9 se aprecia la capacidad volumétrica en cc de las distintas fracciones porosas a 5cm. Al revisar el registro de precipitaciones (Anexo 3), se concluye que son escasas las eventualidades en que se sobrepasa la capacidad del suelo para drenar el agua, sin embargo cuando no existe un agente aglutinante de las partículas del suelo, como arcillas, materia orgánica, exudados de raíces, u otros, la capacidad del suelo de infiltrar el agua es baja y se puede producir una pérdida por escorrentía, efecto común en zonas áridas.

En este cuadro se aprecia la migración de PDR a PDL en Flat Canal, y la mayor capacidad de poros de drenaje en River Side. Esta distribución de poros en River Side, ligado a las escasas lluvias, transforma a este sitio en un suelo susceptible a

sequía, ya que drena rápidamente el agua, desaprovechándola la planta, y está expuesto a una mayor tasa de evaporación producto del alto porcentaje de macro poros (poros de drenaje).

Figura 8. Distribución de las distintas fracciones porosas a 30cm.



River Side, sigue teniendo un mayor porcentaje de poros de drenaje, y bajo porcentaje de poros de almacenamiento. Esta situación sumado a las características ambientales de la zona, acentúa las condiciones adversas para que la planta pueda absorber agua (Figura 8).

Al igual que a los 5 cm, los poros de drenaje rápido de Flat Canal se han visto también reducidos en esta profundidad. Esta situación indica la acción de algún evento natural o antropogénico que se provocó en superficie y que tiene secuelas en profundidad. Aumentan los poros de drenaje lento, y de esta forma la capacidad de almacenamiento de agua del suelo, por lo que la planta pueda obtener agua del medio, a esta profundidad. El sitio Primera Barranca muestra una distribución de poros con una marcada concentración en la fracción fina. El agua retenida en los poros de agua inútil (PAI) por definición no se considera

como aporte para la planta. Sin embargo, existen investigaciones recientes que señalan que parte de esta agua podría ser aprovechada.

Cuadro 10 . Distribución de poros (cc) a 30cm.

30cm	Flat Canal 30 (cc)	River Side 30 (cc)	Primera Barranca 30 (cc)
PDR	8,7	32,2	26,2
PDL	68,3	39,8	33,3
PAU	29,0	16,0	16,2
PAI	28,3	29,4	53,9
TOTAL	134,3	117,3	129,6

En Figura 8 y Cuadro 10, se aprecia la cuantía de las distintas fracciones de poros. En Flat Canal se aprecia la influencia de una carga al igual que a los 5cm, donde migran poros PDR a PDL. El potrero Primera Barranca muestra una mayor cantidad de poros PAI, esto se debe a que este suelo tiene mayor cantidad de arcilla, debido a la distribución espacial del material textural producto del transporte. Naturalmente, se encuentran en los suelos mayor contenido de arcillas en profundidad, debido a la fuerza de gravedad, que motiva el movimiento de partículas. Así, como mayor cantidad de poros de drenaje se relaciona con mayor contenido de partículas de arena, una mayor cantidad de poros de agua inútil, se relaciona con suelos con mayor contenido de arcilla.

Conductividad Hidráulica: El movimiento del agua en el suelo se produce a través de las distintas fracciones porosas, cuando estas tienen continuidad. Los poros tienen naturalmente una orientación vertical en el suelo, que se puede afectar con alguna carga que se suscite, creando poros sinuosos, o inclusive cortando la continuidad de los poros. Esta situación genera sitios con falta de abastecimiento de agua para la planta.

La Conductividad hidráulica (Ksat) es un parámetro que indica la habilidad de un suelo de permitir el paso de agua a través de su sistema poroso, constituyéndose en indicador de la continuidad y conectividad. Permite estimar la funcionalidad de los poros del suelo, además de servir como parámetro de la estructura del suelo.

Cuadro 11. Conductividad hidráulica en los sitios y profundidades estudiadas.

	5cm	30cm
Flat Canal (cm/s)	0,06	0,01
River Side (cm/s)	0,03	0,08
Primera Barranca (cm/s)	0,01	0,005

Cuadro 12. Rango de Conductividad hidráulica según la textura del suelo.

	Ksat (cm/s)
Arena	0.4 - 0.04
Limo	0.4 - 0.0004
Franco	0.4 - 0.000004
Arcilla	0.4 - 0.00004

Al comparar los datos de los sitios (Cuadro 11) con el rango de Ksat dado por la textura (Cuadro 12), los sitios Flat Canal y River Side tienen un comportamiento que cabe dentro del rango de un suelo más arenoso, considerándose alto el valor de ksat.

El sitio Primera Barranca se comporta como un suelo con mayor contenido de limo. Al aumentar la profundidad el peso del suelo sobre adyacente va deformando los poros, dificultando la conducción del agua, por esta razón ksat disminuye en todos los sitios a 30 cm.

Conclusiones del estudio físico

- Los sitios cercanos al lago Toro, Flat Canal y River Side, tienen valores de densidad aparente, porosidad y conductividad hidráulica similares a los de un suelo arenoso.
- El comportamiento de Primera Barranca en cuanto a las propiedades medidas, es similar a un suelo de textura fina, con limo y arcilla.
- Relacionando las mediciones de las propiedades físicas del suelo, con la respuesta de los sitios a la regeneración con alfalfa se caracteriza por:
 - o El sitio con mejor respuesta, Primera Barranca, tiene la mayor porosidad total, menor densidad aparente, menor conductividad hidráulica, y mayor cantidad de poros PAU y PAI. Esta mezcla de condiciones genera un ambiente donde se conserva más el agua, ya que hay un mayor volumen de almacenamiento y una menor velocidad de drenaje, por lo que el crecimiento y desarrollo de la raíces de alfalfa se ven favorecidas en este sitio.
 - o El sitio con buena respuesta, Flat Canal, tiene baja porosidad total, mediana-alta densidad aparente, bajo porcentaje de poros PDR, alto porcentaje de poros PDL, y alta conductividad hidráulica. La migración de poros PDR a PDL que puede haber ocurrido por causa natural o antrópica, está fuertemente marcado hasta los 30cm. Esta situación favorece la disponibilidad y absorción de agua por la planta, ya que hay un mayor volumen de acumulación, y el drenaje es más lento.
 - o El sitio que no tuvo respuesta, River Side, tiene baja porosidad total, alta densidad aparente, alto porcentaje de poros de drenaje, bajo porcentaje de volumen de almacenamiento y una rápida

conductividad hidráulica. Dadas sus características físicas, este suelo se comporta como un "colador", y ante la falta de agua, provoca un estrés hídrico, que podría ser el causante de la baja respuesta a la siembra directa de alfalfa. Sin embargo esto no es posible de determinar con este estudio.

- La reducción de la porosidad gruesa en los suelos arenosos, se considera positiva para el balance hídrico entre el suelo y la planta, se estaría reflejando en la respuesta al establecimiento de *Medicago sativa* en el sitio Flat Canal.
- La migración de poros en Flat Canal es un hecho fortuito. Sin embargo esto se puede realizar controladamente, mediante el manejo de parámetros cuantificables como la capacidad de soporte, que permite determinar hasta qué punto compactar un suelo.
- La trascendencia de este tipo de estudios, es claramente generar un mayor conocimiento y entendimiento de factores físicos y mecánicos del suelo que son determinantes para la producción. Este tipo de evaluaciones se podría realizar en forma rutinaria, previo a elección de sitio para siembra y en forma más extensiva para generar información necesario para orientar el diseño de producción de diferentes áreas del predio.

b) Línea de evaluación pratense:

Resultados verificables proyecto original:

i. Cuantificación de la nodulación y actividad fijadora de nitrógeno de las bacterias fijadoras de nitrógeno: Está actividad no se realizó y está fundamentado en las modificaciones de la metodología original del proyecto.

ii. Aumento de la producción primaria y secundaria de la pradera en las unidades experimentales.

Generalidades del proceso de siembra: La alfalfa expresa su potencial productivo en suelos con drenaje libre y pH superior a 6,0. No tolera anegamientos ni toxicidad por Aluminio (Al) y/o Hierro (Fe) y se comporta bien al sembrarla (siembra directa) en suelo limpio de arbustos, cubierto por especies de escasa competencia aérea y radicular. Un cultivo con éxito de alfalfa requiere Nitrógeno (N), Fósforo (P), y particularmente Potasio (K) y Azufre (S). La alfalfa también tiene requerimientos de Zinc (Zn), Boro (B), Molibdeno (Mo) y Cobre (Cu). La siembra debe ser en Primavera bajo condiciones de alta humedad en el suelo y temperatura sobre 5 ° C tomada a las 8:00 AM a 5 cm de profundidad. Las condiciones de siembra se observan en esta región entre fines de Septiembre y mediados de Octubre para la zona esteparia y segunda quincena de Octubre y todo Noviembre para la zona húmeda y parte de la isla Tierra del Fuego. La velocidad de la sembradora no debe ser superior a 8 km/ h, siendo el ideal que una persona caminando pueda observar detenidamente la acción de los discos de corte y de siembra al caminar junto a la sembradora, equivalente a 5 - 6 km/ h. La calibración de la sembradora se realiza antes de ingresar al potrero, utilizando una romana de precisión y obteniendo por medios manuales la dosis de semilla y fertilizante en forma ajustada. Luego debe realizarse dos a tres pruebas de terreno con equivalentes a 0,5 ha cada prueba.

La siembra debe asegurar que la semilla ingrese al surco de la sembradora cero labranza (siembra directa). La profundidad deseada oscila entre 1–3 cm dependiendo exclusivamente de la humedad en el terreno y la susceptibilidad de tapar el surco de siembra por acción de viento y/o lluvia. La dosis de semilla pura recomendada es entre 8 – 12 kg / ha para pluviometrías que oscilan entre 280 mm y los 450 mm al año. Las principales variedades estudiadas comercialmente presentes en Chile son todas de Dormancia 4 – 5.

En general, las recomendaciones de fertilidad utilizadas Como se observó en el ítem de análisis de suelo y nutrición, siempre dependiente de los resultados de las muestras de suelo, es recomendable utilizar una combinación:

P ₂ O ₅ :	50 – 75 kg / ha Idealmente 70 % como Fósforo orgánico de solubilidad media y 30 % como fósforo inorgánico soluble en agua y por esto de reacción rápida.
K ₂ O:	Solo si las muestras son deficitarias.
S – SO ₄ :	30 – 45 kg / ha
S :	05 – 15 kg / ha
CaO	40 – 60 kg / ha
N	8 – 10 kg / ha

La nodulación efectiva y actividad de *Rhizobium spp.* son parámetros críticos para el correcto funcionamiento de la pastura de alfalfa. La semilla debe contar con un sistema pelletizado de inoculación con el género "AL" de *Rhizobium spp* y cubierto de cal fresca y seca y un sistema de despacho y entrega del material muy seguro para la "plántula de alfalfa que se desea establecer".

En siembra directa (SD), se ha observado que la principal competencia durante el establecimiento del cultivo es por agua y a nivel de la rizosfera de la pradera que existe. Es en este medio ambiente, entre los 0 – 5 cm de profundidad, donde las especies residentes han desarrollado un sistema radicular denso que compete

fuertemente por atrapar el máximo de humedad remanente del Invierno. Este escenario condiciona el establecimiento de la semilla a una profundidad de 1 – 3 cm dependiendo del espesor también de las raíces de la pradera residente. En este ambiente, lo que se busca es que la “plántula” de alfalfa, emita su raíz pivotante y se independice de la maza de raíces que se encuentra siempre ente 0 – 5 cm del perfil del suelo. Si hay agua en profundidad y si el suelo tiene la condición de permeabilidad que deja percolar parte del agua lluvia hacia un reservorio en profundidad, entonces la alfalfa buscará este recurso tan profundo hasta niveles de 6 metros.

Resultados: La incorporación de alfalfa en la cadena forrajera ha permitido la obtención de resultados en carga animal, incremento de peso vivo, precocidad de crecimiento, disminución de gastos operacionales por suplementación estratégica.

a) Carga animal: La utilización de la alfalfa sembrada en cero labranza permitió manejar cargas instantáneas de 20-40 corderos destetados/ha, dependiendo del efecto año, siendo los valores normales de engordas en vegas entre 3-12 corderos/ha en el sistema tradicional. Los valores esperados son 400-500 kg de cordero vivo/ha con rendimientos de canal caliente de 45%. Los ensayos con el uso de alfalfa generaron incrementos de peso vivo post destete de 10,3% en comparación a engordas de corderos en sistemas tradicionales de vega, con una carga instantánea superior de 7,5 veces por unidad de superficie (ha).

b) Incremento de peso por cordero: Estadísticamente no hay diferencias de incremento de peso por animal ($P>0,1$), pero si favorablemente a la producción por unidad de superficie ($P<0,01$) y a la mantención de kg de peso vivo de corderos ($P<0,01$), ambas variables favorables para el escenario con alfalfa. El escenario con cargas altas con pastoreo en alfalfa genera por hectárea, el equivalente en términos de energía

metabolizable de mantención de 4,5-5,0 kg de avena por día para los 750-760 kg de peso vivos incrementales de presión de pastoreo.

c) Precocidad en crecimiento de corderos: La hipótesis de trabajo del proyecto original estaba asociada con el uso de la alfalfa en pastoreo directo con corderos destetados, con el objetivo de suministrar un mayor flujo de nutrientes digestibles para incrementar la tasa de crecimiento y disminuir el tiempo de engorda de los corderos. Esta hipótesis fue validada y explicada en los dos puntos anteriores, sin embargo durante la ejecución del proyecto al evaluar la composición nutricional y disponibilidad de la alfalfa se determinó la factibilidad de utilizar la alfalfa bajo los siguientes criterios y premisas de manejo:

- **Utilización:** pastoreo directo con ovejas en lactancia con crías al pie
- **Base conceptual:** La disponibilidad de nutrientes de la alfalfa presenta los mejores valores entre noviembre-diciembre. La metabolización de nutrientes desde el consumo a leche presenta eficiencias entre 68-72%. El mismo parámetro para el proceso de incremento de peso vivo de los corderos mediante consumo directo es entre 38-44% (AFRC,1993). Además, la movilización de tejido corporal de ovejas en lactancia genera que cada punto de pérdida de condición corporal, equivalente a 8 kg de peso vivo, representa un fardo de alfalfa, en términos de energía metabolizable.
- **Hipótesis:** La utilización de alfalfa con ovejas en lactancia con corderos al pié disminuiría el tiempo de engorda de corderos postdestete
- **Objetivo:** Aumentar el porcentaje de corderos con peso de faena antes del 31 de enero
- **Resultados:** Durante las temporadas de entrega de corderos 2001-2005, el porcentaje de corderos entregados no superó el 25% del total (Cuadro 13).

Cuadro 13. Porcentaje de entrega de corderos finalizados previo al 31 de Enero.

2001-2002	18,0%
2002-2003	15,6%
2003-2004	16,7%
2004-2005	22,8%
2005-2006	67,3%
2006-2007	66,0%

Desde la temporada 2005-2006 se inicio el uso directo de alfalfa con ovejas en lactancia con corderos en pie, incrementándose el número de corderos entregados con fecha previa al 31 de enero, escenario favorable para disminuir la carga animal instantánea predial (Cuadro 13). El peso promedio de las canales ha disminuido con la utilización del nuevo sistema de manejo para el escenario de pesos que generan cortes (incremento valor agregado), aunque el nº de corderos totales faenados ha aumentado, al igual que los kg de peso de canal entregados por la unidad (Cuadros 14 y 15).

Cuadro 14. % de corderos con peso de canal sobre los 12,5 kg (valor para generar cortes).

	>12,5 kg canal
2001-2002	52,90
2002-2003	54,91
2003-2004	36,98
2004-2005	21,05
2005-2006	36,73
2006-2007	27,80

Cuadro 15. Comportamiento de faena de corderos temporadas 2001-2007.

Temporada	N° corderos Faenados	kg canal caliente	N° corderos faenados antes 31 de Enero	% cordero faena adelantada	kg faena antes 31 de Enero	% kg faena antes 31 de Enero	kg peso vivo mantención Febrero-Marzo ¹	kg MS requerida para mantención ²	ha de vega para mantención ³
2001-2002	11.493	149.501	2.066	18,0%	28.436	19,02%	302.662	1.452.776	969
2002-2003	13.891	185.114	2.161	15,6%	32.875	17,8%	380.599	1.826.874	1.218
2003-2004	15.064	183.228	2.514	16,7%	35.758	19,5%	368.675	1.769.638	1.180
2004-2005	15.613	173.374	3.552	22,8%	44.016	25,4%	323.394	1.552.291	1.035
2005-2006	14.677	177.448	9.883	67,3%	125.763	70,9%	129.215	620.230	413
2006-2007	15.026	166.556	9.918	66,01%	116.396	69,9%	125.402	601.931	401

¹Estimado para corderos 25 kg de peso vivo, ² Estimado con 50% eficiencia de pastoreo, ³ Estimado con una disponibilidad promedio de 1.500 kg MS/ha para vegas.

iii. Banco de variedades de *Medicago sativa* validadas y seleccionadas para diferentes zonas agroclimáticas de la XII región.

Durante la ejecución del proyecto se realizó ensayos de parcelas agronómicas para evaluar la emergencia y persistencia de las variedades comerciales existentes en el país. Los resultados mostraron que existe una correlación entre dormancia de la variedad de alfalfa y el establecimiento de la misma, al igual que paletizado de la semilla e incorporación de *Rizobium spp* y establecimiento (Cuadro 16). Además, en ésta línea de trabajo se evaluó la persistencia y productividad de los materiales vegetales sembrados desde 2000 (Cuadro 17). Tanto la información del cuadro 16 y 17 fueron utilizados para la auditoria del experto Dr. Derrick Moot. En general, los potreros que lograron un establecimiento adecuado al tercer año, presentaron sobre las 240 plántulas (pl)/m² y los fracasos en el establecimiento están relacionados con el paletizado de la semilla, fuente de nitrógeno de partida durante la siembra y capacidad de retención de humedad del sitio. Los parámetros utilizados para evaluar un adecuado establecimiento fueron una población al establecimiento de 240 pl / m², al primer invierno de 40 - 100 pl / m² y al segundo invierno un mínimo de 20 - 40 pl / m².

Cuadro 16. Evaluación de variedades de *Medicago sativa* en parcelas agronómicas.

TRATAMIENTO VARIEDADES	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 10	promedio/ m ²	DS/m ²	CV,%
WL 326	187	264	132	132	187	198	110	209	165	231	182	47,9	26,4
Robust	220	286	220	286	209	231	209	154	77	110	200	68,4	34,1
Joya	77	99	55	187	187	154	253	220	110	132	147	64,2	43,5
Baldrich 350	297	187	264	220	143	165	231	165	110	220	200	57,0	28,5
Rebound	165	220	187	154	308	187	154	418	150	132	208	89,4	43,1
Amerigrace	209	154	231	220	99	165	308	165	132	330	201	74,1	36,8
TRATAMIENTOS FERTILIZACION	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 10	promedio/ m ²	DS/m ²	CV,%
M-4	165	165	77	143	187	88	121	55	88	165	125	45,9	36,6
M-1	209	308	143	154	253	176	220	374	176	231	224	72,1	32,1
M-1A	286	539	231	275	264	231	286	198	363	352	303	97,7	32,3
M-5	297	187	220	330	220	275	176	176	154	176	221	59,9	27,1
M-5A	264	242	297	407	154	330	275	319	242	220	275	69,0	25,1
M-4A	231	418	385	253	231	253	198	264	264	165	266	78,1	29,3
EL PUESTO	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 10	promedio/ m ²	DS/m ²	CV,%
M-1	187	264	176	286	165	418	264	132	198	242	233	82,0	35,1
S / M-1	220	187	220	242	374	220	220	176	198	286	234	57,8	24,6

Cuadros 17. Resumen de siembras con cero labranza realizadas en la unidad Cerro Guido (2000-2005)

AÑO 2000						kg/ha			
POTRERO	Superficie (ha)	Variedad	Dosis alfalfa kg/ha	Fertilizante	Dosis fertilizante (kg/ha)	N	P	K	S
Particular	20	Pioneer 54HQ53 / Amerigrace	8	DAP	100	18	46	0	3,2
Campo 3	16	Robust	8	DAP	80	14,4	36,8	0	0
Campo 3 chico	2	WL HQ 325	15	DAP	100	18	46	0	16
Vega Toro 4	15	Amerigrace / Robust	8	DAP	100	18	46	0	0
Vega Toro 2	2	Pioneer 54HQ53	6	DAP	100	18	46	0	16
1° empastada alto	1	WL HQ 325	10	DAP	100	18	46	0	16
1° Barranca bajo	8	WL HQ 325	15	DAP	100	18	46	0	16
Flat Canal	2	Pioneer 54HQ53	10	DAP	100	18	46	0	16
Total	66								

Año 2001						kg/ha			
POTRERO	Superficie (ha)	Variedad	Dosis alfalfa kg/ha	Fertilizante	Dosis fertilizante (kg/ha)	N	P	K	S
Flat Canal	33	Joya	12	Roca	100	0	80	0	16
Flat Canal	33	WL HQ 325	12	Yeso	100	0	0	0	0
Flat Canal	25	Pioneer 54HQ53	12	-	0	0	0	0	0
Flat Canal	0,25	aa Rebound	12	-	0	0	0	0	0
River side	0,25	Alfagrace	12	-	0	0	0	0	0
River side	0,25	WL HQ 325	12	-	0	0	0	0	0
River side	0,25	Joya	12	-	0	0	0	0	0
River side	0,25	Pioneer 54HQ53	12	-	0	0	0	0	0
Baño viejo	0,25	Joya	12	-	0	0	0	0	0
Castillo viejo (Complejo Torres del Paine)	0,25	Joya	12	Roca	100	0	80	0	16
Total	93								

Año 2002						kg/ha			
POTRERO	Superficie (ha)	Variedad	Dosis alfalfa kg/ha	Fertilizante	Dosis fertilizante (kg/ha)	N	P	K	S
Triángulo	10,2	Rebound	15	Roca	100	0	80	0	16
Triángulo	47,8	WL HQ 325	16	-	0	0	0	0	0
Flat Canal	39,48	WL HQ 325	15	-	0	0	0	0	0
El Largo	63,72	WL HQ 325	16	-	0	0	0	0	0
Loma Entre Lagos	20	WL HQ 325	16	-	0	0	0	0	0
1° Barrnaca	33,67	WL HQ 325	16	-	0	0	0	0	0
River side	0,52	WL HQ 326	14	-	0	0	0	0	0
Vega Toro 4	0,52	WL HQ 326	14	-	0	0	0	0	0
Herradura	0,48	WL HQ 326	16	-	0	0	0	0	0
Carrasco 1	0,52	WL HQ 326	14	-	0	0	0	0	0
Carrasco 2	1,36	WL HQ 326	15	-	0	0	0	0	0
Total	218								

Año 2003						kg/ha			
POTRERO	Superficie (ha)	Variedad	Dosis alfalfa kg/ha	Fertilizante	Dosis fertilizante (kg/ha)	N	P	K	S
Baño viejo	1,88	Baldrich 350	21	MAP	178	18	89	0	14
				YESO	89				
Largo	20,76	Baldrich 350	18	MAP	200	20	100	0	16
				YESO	100				
Largo	30,12	Joya	15	-					
Largo	18,68	WL HQ 326	15	-					
Vega Toro 3	40,6	Joya	15	MAP	200	20	100	0	16
Vega Toro 3	9,64	Baldrich 350	15						
Las Chinas	15	Joya	15	MAP	100	10	96	0	16
				SFT	100				
				YESO	100				
Las Chinas	9,72	Robust	15	-					
Las Chinas	15,12	WL HQ 326	15	-					
Puesto del river side	4,92	WL HQ 326	15	MAP	200	20	100	0	16
				YESO	100				
Total	166								

SIEMBRA DIRECTA 2004

POTRERO	Superficie (ha)	Variedad	Dosis alfalfa kg/ha	Fertilizante	Dosis fertilizante (kg/ha)	kg/ha			
						N	P	K	S
Baño viejo	1,88	Baldrich 350	21,2	MAP	178	18	89		14
				YESO	89				
Largo	20,76	Baldrich 350	17,7	MAP	200	20	100		16
	30,12	Joya	14,95						
	18,68	WL HQ 326	14,96						
Vega Toro 3	40,6	Joya	15,17	MAP	200	20	100		16
	9,64	Baldrich 350	14,76						
Las Chinas	15	Joya	14,97	MAP	100	10	96		16
				SFT	100				
				YESO	100				
				9,72	Robust				
15,12	WL HQ 326	15,07							
Puesto del river side	4,92	WL HQ 326	15,24	MAP	200	20	100		16
				YESO	100				
Herradura	16,68	Ensayos							
Total	183								

SIEMBRA DIRECTA 2005

POTRERO	SUPERFICIE	VARIEDAD	DOSIS	FERTILIZANTE	DOSIS	kg/ha			
						N	P	K	S
Vega Toro IV - 1	45,3	Ameristand	15,12	Mezcla 2004	260	17	55	7	
	6,8	Baldrich-350	6,61		110	7	23	3	
	3,0	WL-326	15		250	17	53	7	
	18,8	WL-327	15,5		210	14	44	6	

Matriz Potreros cero labranza con alfalfa

Nombre potrero	Año siembra	Condición potrero antes siembra	Tipo de suelo	Exposición	Siembra (ha)	Retención de campo ²
Primera Barranca	2000	PN rezago de dos primaveras	Franco arcilloso	Plano		media a alta
Particular	2000	PN degradada	Limoso	Plano		media baja
Campo 3	2000	PN sobre utilizada	Franco limoso	Plano		media baja
Vega Toro IV	2000	PN sobre utilizada	Limoso	Plano		media alta
Flat canal II	2001	PN intervenida degradada	Arenoso	Plano		baja
Triángulo	2002	PN intervenida semi degradada	Arenoso	Plano		baja
Flat canal II	2002	PN intervenida y degradada	Arenoso	Exp Oeste		baja
El Largo I	2002	PN intervenida y degradada	Franco arcilloso	Exp Oeste		media
Loma Carrasco	2002	Alfalfa degradada	Franco arcilloso	Exp Norte		media alta
Primera barranca	2002	PN rezagada y con corte de limpieza	Arenoso	Plano		alta
El Largo II	2003	PN intervenida y degradada	Franco arcilloso	Exp SurOeste		media
Vega Toro III	2003	PN utilizada	Arenoso	Plano		baja
Las Chinas	2003	PN degradada	Franco limoso	Plano		baja
Puesto River side	2003	PN sin utilización	Franco arcilloso	Plano		alta
Herradura	2003	PN sobre utilizada	Franco arcilloso	Plano		baja

Matriz Potreros cero labranza con alfalfa

Nombre potrero	Dosis de siembra (ha)	Mes de siembra	Variedad alfalfa utilizada	Fertilización post primer ciclo vegetativo	Tecnología cero labranza ³
Primera Barranca	15	Octubre	WL HQ 325	0 - 0	Rezago dos temporadas
Particular	8	Septiembre	Pioneer 54HQ53	0 - 0	Utilización durante usual
Campo 3	8	Octubre	Robust	0 - 0	sembradora great plain SD Proyecto FIA
Vega Toro IV	8	Octubre	Amerigrace / Robust	0 - 0	sembradora great plain SD Proyecto FIA
Flat canal II	12	Septiembre	Joya / WL HQ 326 / Pioneer 54HQ53	0 - 0	sembradora great plain SD Proyecto FIA
Triángulo	15	Septiembre	Rebound / WL HQ325	0 - 0	sembradora great plain SD Proyecto FIA
Flat canal II	15	Septiembre	WL HQ 325	0 - 0	sembradora great plain SD Proyecto FIA
El Largo I	15	Octubre	WL HQ 325	0 - 0	sembradora great plain SD Proyecto FIA
Loma Carrasco	15	Octubre	WL HQ 325	0 - 0	sembradora great plain SD Proyecto FIA
Primera barranca	15	Octubre	WL HQ 325	0 - 0	sembradora great plain SD Proyecto FIA
El Largo II	15	Septiembre	Baldrich 350 / Joya / WL HQ 326	0 - 0	sembradora great plain SD Proyecto FIA
Vega Toro III	15	Septiembre	Joya / Baldrich	0 - 0	sembradora great plain SD Proyecto FIA
Las Chinas	15	Octubre	Joya / Robust / WL HQ 326	0 - 0	sembradora great plain SD Proyecto FIA
Puesto River side	15	Octubre	WL HQ 326	0 - 0	sembradora great plain SD Proyecto FIA
Herradura	15	Octubre	WL HQ 326	0 - 0	sembradora great plain SD Proyecto FIA

El análisis de conservación de materia seca de los ensayos realizados demostró que el establecimiento de alfalfa es una alternativa rentable, ya que con una amortización de 7 años productivos, el costo por kg de materia seca conservada es \$26, que para el escenario 2004 permitió un ahorro equivalente neto a 520 ton. de grano de avena que permite una alimentación invernal de 8.500 ovejas con 60 kg/temporada invernal (Cuadro 18).

Cuadro 18. Conservación de materia seca año 2005.

Período de crecimiento	ha	cortes	Índice de cobertura de alfalfa/potrero	Disponibilidad instantánea estimada (kg MS/ha)	Disponibilidad conservada estimada (kg MS/ha)	Rollos conservados (500 kg)	
20 Nov 05 Ene	Fita canal alto	65	1	0,75	2.500	97.500	195
05 Dic 25 Ene	Largo norte	64	2	0,85	1.400	121.856	244
05 Dic 25 Ene	largo sur	70	1	0,85	2.000	95.200	190,4
20 Nov 05 Ene	trinagulo	58	1	0,65	1.500	45.240	90
15 Dic 15 Mar	1 barranca	60	2	0,75	3.000	216.000	432
15 Dic 15 Feb	vega toro 4	15	2	0,75	2.500	45.000	90
16 Dic 15 Feb	particular	20	2	0,65	2.000	41.600	83,2
05 Dic 25 Ene	Carrasco	160	1	0,40	2.000	102.400	205
	Totales	512			Kg MS	764.796	1.530
					Kg MV (27% MS)	1.213.962	

- iv. **Manual de referencia para establecer *Medicago sativa* bajo condiciones de siembra directa y normas orgánicas de manejo de la pradera residente:** Este resultado fue entregado en el compilado del material de difusión del informe final

Línea Desarrollo de herramientas de apoyo a la gestión (modelo de simulación)

Resultados Verificables: Herramientas computacionales de apoyo a la gestión predial desarrolladas, validadas y transferidas a los usuarios.

Esta línea desarrolló una serie de herramientas computacionales, que se describen sus algoritmos de cálculo en los anexos 4-6, que permitieron:

- a) Predecir el crecimiento de corderos destetados en pastoreo con alfalfa o vega con o sin suplementación.
- b) Valorizar el efecto de viento incidente sobre el crecimiento de corderos destetados
- c) Valorizar el plan alimenticio de borregas en crecimiento al utilizar suplementación invernada
- d) Valorizar las características de un sitio para establecimiento de alfalfa
- e) Valorizar bio económicamente el plan alimenticio invernada
- f) Valorizar el efecto de utilización de pastoreo de alfalfa en ovejas lactantes.

El modelo genérico para ovinos está sistematizado en el material de difusión asociado con éste informe final. Algunos resultados relevantes por la utilización de los modelos se presentan a continuación:

Durante el primer período de engorda de corderos (14/01/2005-28/01/2005), el comportamiento observado del incremento de peso vivo de corderos fue entre 60-100 g/día (Cuadro 19). La disponibilidad instantánea de materia seca cuantificada no era limitante para consumo voluntario de los corderos (>1.500 kg MS/ha), al igual que la digestibilidad (65%) y aporte de pared vegetal de la pradera (FDN 40% en base seca). El consumo esperado, que fue modelado con el modelo de crecimiento de corderos era de 1,1 kg MS/cordero día, que permitiría incrementos de peso vivo del orden de 200 g/día, situación que no fue observada.

Cuadro 19. Comportamiento del peso vivo de 6 lotes de corderos en fase engorda post destete.

	14-28 enero 2005	28 enero-8 febrero 2005	8 -22 febrero 2005
Promedio (kg/día)	0,073	-0,063	0,330
DS	0,026	0,061	0,146
CV,%	35,2	-97,2	44,2

Las causas probables por un menor incremento de peso vivo fue una alta tasa de disipación de calor en corderos por efecto ambiental del viento, equivalente a 1,4 Mcal/EM/día (12°C promedio y 45 km/hora promedio, información obtenida con datos de la estación meteorológica Cerro Guido (Figura 9). Esta disipación está en el límite el balance entre calor interno generado por el animal y requerimiento energético por disipación del calor, lo que implica que en algunas horas del día, los vientos debieron superar la tasa de intercambio calórico del animal, generando que una fracción del consumo de energía metabolizable por parte del cordero, fuera utilizada para termorregular, como primera actividad

metabólica, para posteriormente incrementar peso vivo. Este escenario de pérdida se observó con un mayor efecto durante la primera quincena de febrero. El análisis el comportamiento de la temperatura ambiental promedio y el comportamiento del viento muestra correlaciones asociadas entre amplitud térmica en función del viento ($r:- 0,138$), habría que analizar el comportamiento de la temperatura ambiental y el viento en las horas específicas del día, como mecanismo para determinar correlaciones de N° horas con viento superior al promedio y relaciones descriptivas entre temperaturas reales y velocidad del viento a tiempos determinados (Figuras 10-11 y 12).

Figura 9. Comportamiento de temperatura promedio diaria en unidad Cerro Guido (Enero-Febrero 2005)

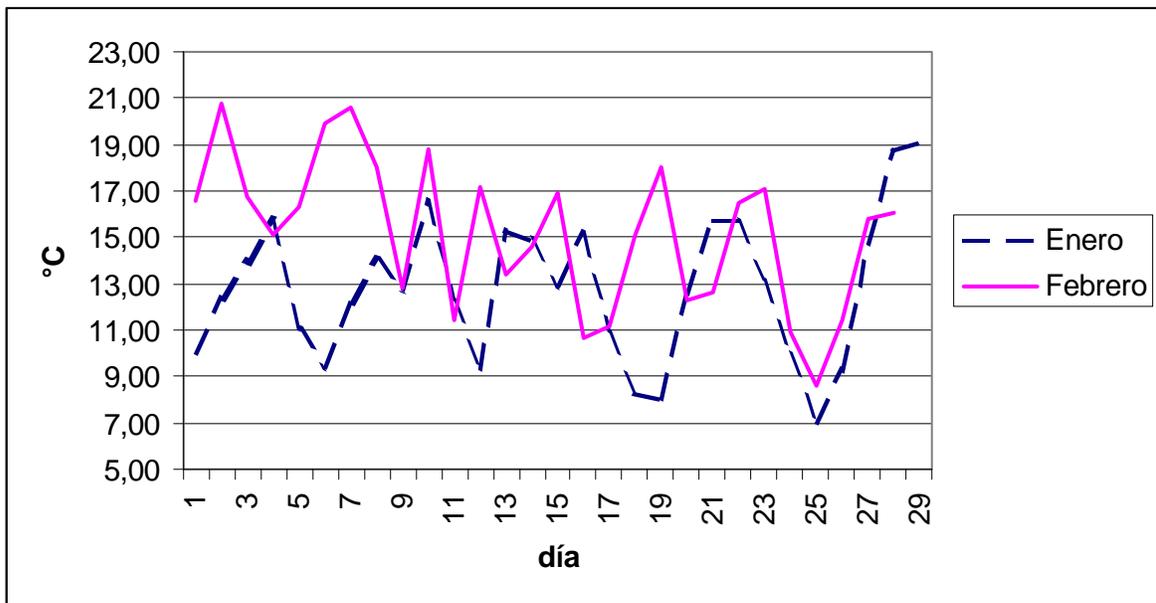


Figura 10. Comportamiento de amplitud térmica diaria en unidad Cerro Guido (Enero-Febrero 2005)

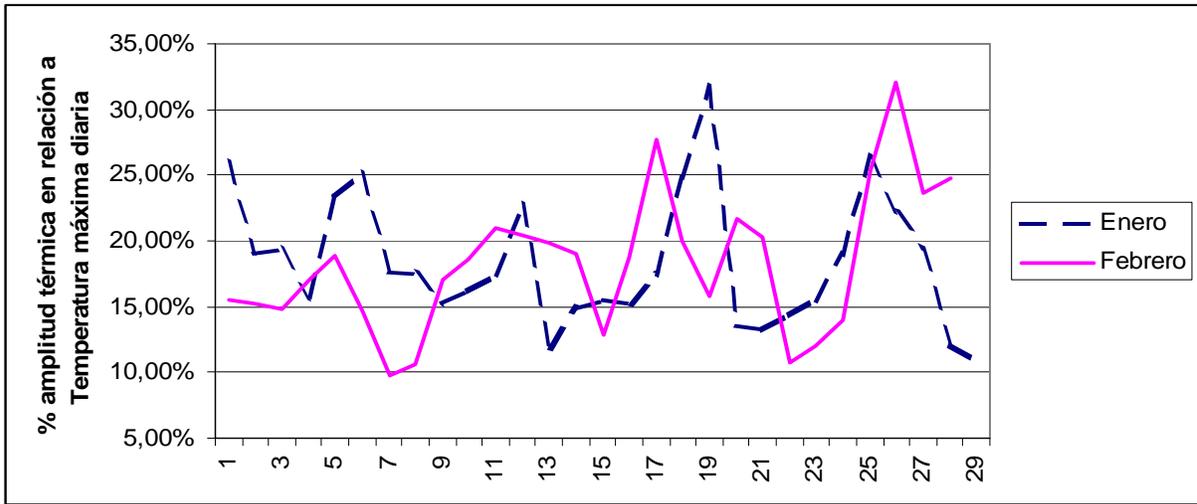


Figura 11. Velocidad promedio del viento (Enero-Febrero 2005)

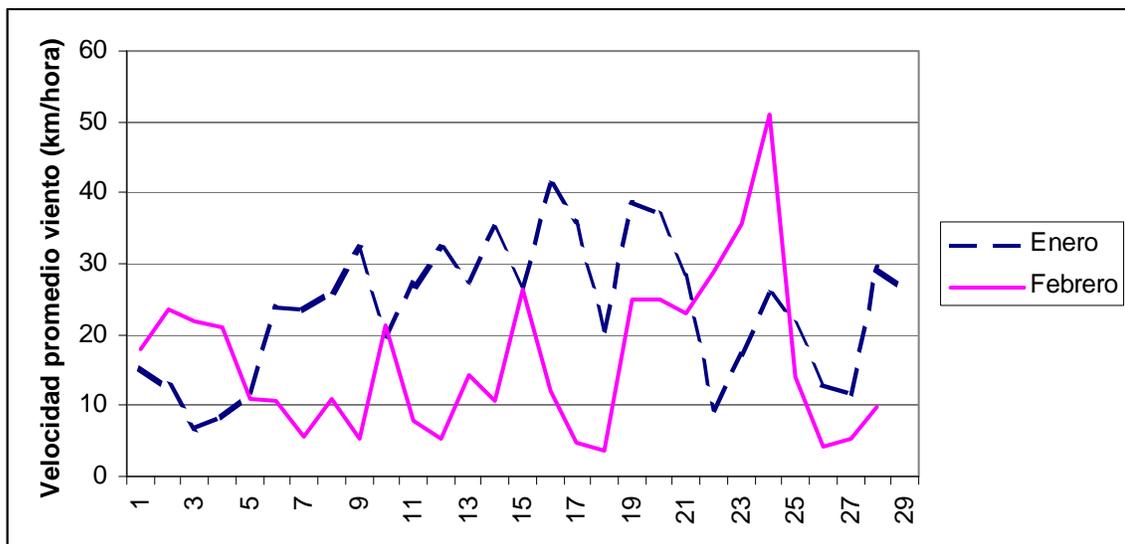
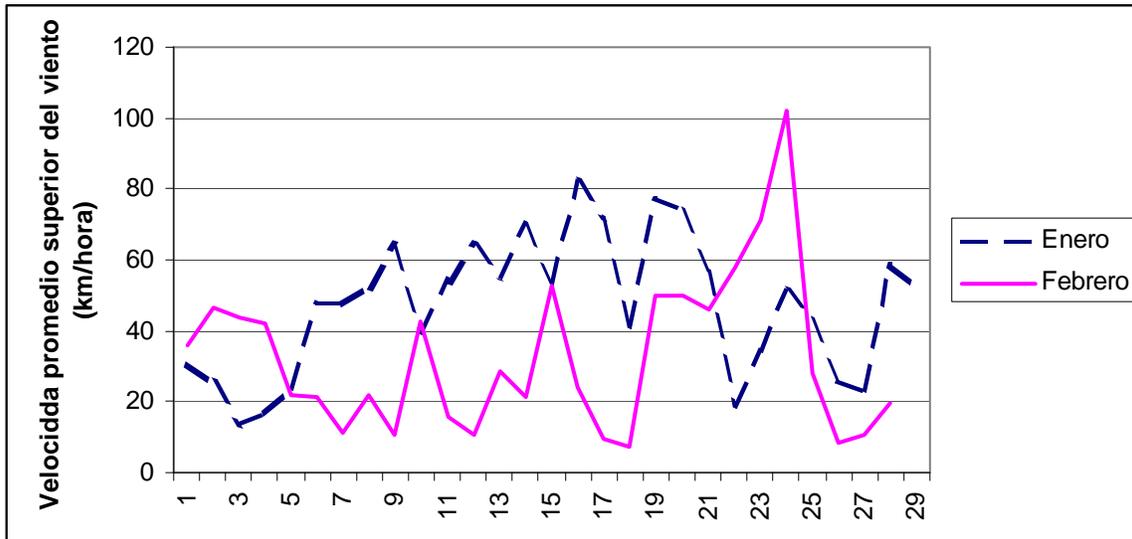


Figura 12. Velocidad promedio de ráfagas del viento (Enero-Febrero 2005).



A partir de éste análisis, se procedió a definir una hipótesis de trabajo para aumentar el incremento de peso vivo, durante los meses de febrero y marzo del 2005 considerando un balance nutricional suplementario de 0,1 kg de grano de avena a potrero /cordero/día incrementaría la ganancia de peso del orden de 0,12 kg/día (mayor producción de microorganismos ruminales por sinergia proteína degradable en el rumen (alfalfa) y carbohidratos solubles (granos) disminuyendo el efecto ambiental (T° y velocidad del viento) sobre la tasa de crecimiento real del cordero.

La experiencia se implementó a partir de la segunda quincena de febrero del 2005 se suministró 0,1 kg de grano de avena animal/ día, generándose los siguientes resultados bio-económicos

- Sin grano: 36,08 kg promedio
- Con grano: 38,8 kg promedio
- Incremental: 2,72 kg de peso vivo
- Kg de canal: 1,4 kg canal incremental (42% rendimiento canal fría)
- Ingreso incremental: \$1.948

- Costo incremental por avena = \$ 315 (sin considerar efecto horas hombre en suplementación)
- Relación incremental: 6,18

Las recomendaciones finales generadas por la experiencia se relacionan que en una primera etapa, en los potreros pequeños de engorda con alfalfa, colocar malla rache contra el viento predominante (altura dependerá del ancho cara opuesta a la malla) y en una segunda etapa implementar cortinas de vientos naturales con arbustos forrajeros y/o árboles. Además, considerando la relación costo/beneficio evaluar el uso de bloques de sales minerales + melaza. Con éstas estrategias se esperaría disminuir el tiempo de engorda de corderos entre 3-7 semanas (dependerá de la variabilidad del lote de corderos en peso vivo), aumentar en un punto porcentual el rendimiento de la canal, por una menor edad de faenamiento y liberar potreros de engorda de corderos (alfalfa) para alimentación animal (conservación)

Considerando los resultados obtenidos en la engorda de corderos durante la temporada estival 2004-2005, se procedió a desarrollar un modelo para describir y estimar el comportamiento del peso vivo en corderos, en función del aporte de energía metabolizable y proteína degradable y no degradable en el rumen, como herramienta para evaluar *ex antes* el período diciembre 2005-abril 2006 se analizó un sistema de engorda post destete de corderos, que considera una primera etapa, el uso intensivo de la vega Toro, por un período de 5 semanas. La carga animal estimada para el período es de 25 corderos/ha, con una disponibilidad instantánea de 1.000 kg MS/ha. La tasa de crecimiento neta de la pradera, durante el período es de 15 kg MS/ha, con una digestibilidad aparente del 65% y con 12% PC. Se utilizó simulación de crecimiento de los corderos considerando que el peso promedio destete a diciembre del 2005 de 20 ± 2 kg (Cuadro 20). Cada grupo simulado recibió 0,1 kg avena por día, en igualdad de condiciones que la experiencia observada en la engorda 2005.

Cuadro 20. Grupos de engorda de corderos destetados: Efecto período alimentación en vega.

Pesos	Grupo 1 destete (promedio - 2 DS)	Grupo 2 destete (promedio - DS)	Grupo 3 destete (promedio)	Grupo 4 destete (Promedio + DS)	Grupo 5 destete (Promedio + 2DS)
Inicial (destete)	16	18	20	22	24
Final (35 días vega + 0,10 kg avena día)	19,8	22,4	24,5	26,7	29,0

Los 5 grupos teóricos se les suministro una estrategia de heno de avena con grano de avena y lupino post uso de vega toro (Cuadro 21).

Cuadro 21. Ración entregada a corderos para finalización de engorda.

Alimento	Kg MV/cordero/día	Valor comercial,\$ kg MV	\$ ponderado ración
Heno de avena	0,75	35	26
Grano de avena	0,2	105	21
Lupino	0,15	120	18
Total	1,1		65

Se procedió a simular los períodos de engorda para estimar los requerimientos de insumos y costos marginales asociados con el incremento de peso vivo (Cuadro 22).

Cuadro 22. Simulación de engorda de corderos

	Grupo 1 destete (promedio - 2 DS)	Grupo 2 destete (promedio - DS)	Grupo 3 destete (promedio)	Grupo 4 destete (Promedio + DS)	Grupo 5 destete (Promedio + 2DS)
Peso inicial (post vega)	19,8	22,4	24,5	26,7	29,0
Peso final	34,7	36,3	40,1	39,2	41,4
Período de engorda (semanas)	12	10	10	8	8
Peso canal ¹	13,9	14,5	16,0	15,7	16,7
Incremental promedio estancia (13 kg)	0,9	1,5	3,0	2,7	3,7

¹ 40% rendimiento canal fría

El análisis económico de las alternativas evaluadas considero una población de 16.000 corderos, por lo tanto:

Cuadro 23. Comportamiento de la suplementación de corderos.

	Grupo 1 destete (promedio - 2 DS)	Grupo 2 destete (promedio - DS)	Grupo 3 destete (promedio)	Grupo 4 destete (Promedio + DS)	Grupo 5 destete (Promedio + 2DS)
N° corderos	800	3.200	8.000	3.200	800
Kg Incrementales	720	4.800	24.000	8.640	2.960
Kg ración acumulados	73.920	246.400	616.000	197.120	49.280
Costos acumulados,\$	4.804.800	16.016.000	40.040.000	12.812.800	3.203.200
Ingresos incrementales,\$	1.053.000	7.020.000	35.100.000	12.636.000	4.329.000
Balance (ingreso-costo)	-3.751.800	-8.996.000	-4.940.000	-176.800	1.125.800

La relación promedio beneficio/costo es 0,78 (22% de pérdida bruta), evento que genera pérdidas del orden del 22% por la utilización de esta plan alimenticio. Mediante la simulación se determinó que las acciones evaluadas ex antes no eran las adecuadas y se propuso analizar los siguientes aspectos:

- a) El 50% superior (peso vivo) de corderos obtenidos de las vegas enviar a pastorear con cerco eléctrico a la avena + canoas con sales minerales + 50 g lupino por cordero durante 4 semanas (Sacar dos lotes). Considerando para este caso, el grupo 4 y 5, requiriéndose para el grupo 5, 30 días de engorda y para el 4, 45 días de engorda. Ambos grupos, obtendrían entre 37-38 kg/PV (15 kg de canal).

b) El 50% inferior (peso vivo) de corderos obtenidos en vega iniciar un tratamiento similar y establecer un golpe nutricional, que permita generar 6-8 kg de incremento de peso vivo en un mes. Se recomienda generar un feedlot a potrero protegido del viento incidente mayor mediante una malla rache. El feedlot debe programarse en 8 semanas de avena pastoreada con cerco eléctrico + sales minerales y 4 semanas finales de ración feedlot para el grupo 1, en cambio para el grupo 2 y 3, con 6 semanas de avena pastoreada con cerco eléctrico + sales minerales y 4 semanas finales de ración feedlot. La ración de feedlot propuesta se presenta en el cuadro 24.

Cuadro 24. Ración entregada a corderos para finalización de engorda. Sistema feedlot diferido.

Alimento	Kg MV/cordero/día	Valor comercial,\$ kg MV	\$ ponderado ración
Heno de avena	0,5	35	25
Grano de avena	0,4	105	42
Lupino	0,2	120	24
Grasa vegetal by pass	0,045	450	20
TOTAL	1,145		111

El estudio sería implementado en la engorda 2005 (diciembre 2005-marzo 2006) y se basará en la suplementación con granos de cereales y el destete tardío de corderos, considerando que durante el período noviembre-diciembre la oferta de los potreros tempraneros en crecimiento de alfalfa sean utilizados en pastoreo con ovejas y crías al pie, para maximizar el uso de nutrientes por parte de la oveja, en las primeras etapas de crecimiento vegetativo de la alfalfa.

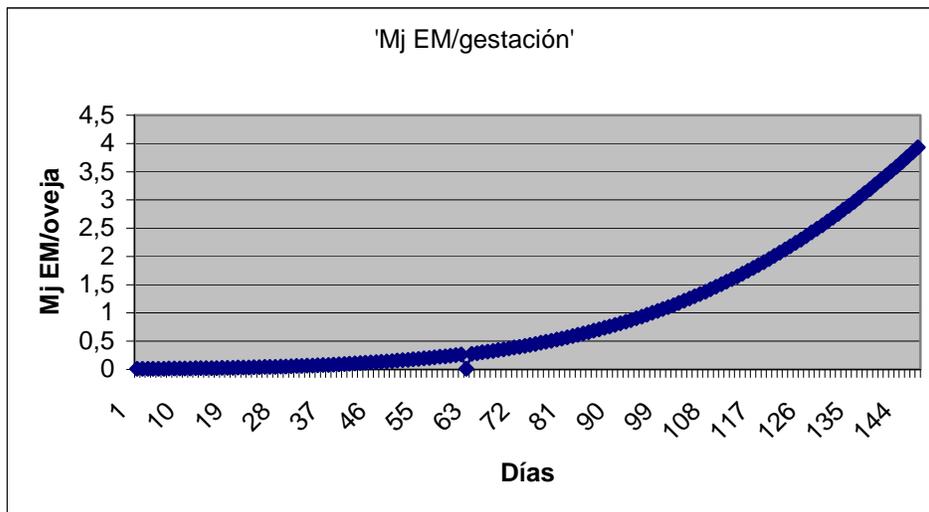
También mediante simulación se evaluó la estrategia de suplementación de ovejas gestantes incorporando el uso de alfalfa conservada, como parte de la

base forrajera más la suplementación con grano de avena entero. Se determinó que el requerimiento de gestación de la oveja es 34 Mcal de EM para el feto y membranas anexas, siendo el comportamiento acumulado relevante en los últimos 60 días de gestación (Cuadro 25 y Figura 13).

Cuadro 25. Comportamiento del requerimiento energético para gestación.

Días de gestación acumulados	Días de gestación faltantes	% Energía gestación acumulada (relación con días de gestación faltante)
60	90	96
90	60	86
120	30	58
150	0	100

Figura 13. Comportamiento del requerimiento de energía para gestación



La demanda energética se incrementa a partir del día 60 de gestación, donde se acumula el 86% del requerimiento de gestación. Al evaluar la suplementación estratégica, se consideró al grano de avena como fuente de energía complementaria como escenario de evaluación mediante el modelo de simulación desarrollado en el proyecto (Cuadro 26 y 27).

Cuadro 26. Requerimiento energía gestación

Días de suplementación	EM requerida (Mcal/periodo)	Kg totales de avena	Kg/oveja/día
60	28	10,6	0,170
30	19	9,1	0,230

Cuadro 27. Costos suplementación 60 días (incluye \$60 kg avena por flete)

Propuesta grano de Avena oveja (60 días)	
Sin grano	
Peso vivo inicial	48
Peso vivo final	46,4
Costo total estrategia,\$	0
Costo marginal,\$/kg	0
50 g/oveja/día	
Peso vivo inicial	48
Peso vivo final	48,3
Costo total estrategia,\$	12.075.000
Costo marginal,\$/kg PV incrementado	1150
kg totales período	105.000
100 g/oveja/día	
Peso vivo inicial	48
Peso vivo final	48,5
Costo total estrategia,\$	25.200.000
Costo marginal,\$/kg	1440
kg totales período	210.000
150 g/oveja/día	
Peso vivo inicial	48
Peso vivo final	49,2
Costo total estrategia,\$	36.225.000
Costo marginal,\$/kg	862
kg totales período	315.000
200 g/oveja/día	
Peso vivo inicial	48
Peso vivo final	49,4
Costo total estrategia,\$	50.400.000
Costo marginal,\$/kg	1029
kg totales período	420.000

Considerando la masa reproductiva de 35.000 vientres de la Estancia Cerro Guido, los incrementales de corderos destetados esperados se presentan en el cuadro 28.

Cuadro 28. Incrementales corderos destetatos

% corderos	Incremental	N° corderos	Kg cordero vara ¹	Ingreso incremental,\$ ²
	5	1750	21.000	28.728.000
	10	3500	42.000	57.456.000

¹ 12 kg promedio – ² 1kg vara= US\$ 2,4

Las conclusiones generadas por el estudio indican que para el período el período 2005-2006 se debe concentrar esfuerzos de suplementación en ovejas gestantes sobre suplementación de corderas en crecimiento, para generar liquidez en el sistema. Durante el día 45 al 90 gestación incorporar los rollos de forraje (alfalfa) disponibles para los animales, ya que generan un mayor calor interno en las ovejas, facilitando la termorregulación. Entre el día 60-90 de gestación utilizar grano de avena, que genera una mayor eficiencia de uso de la energía consumida para gestación y los requerimientos acumulados representan casi el 90% del requerimiento total de gestación.

Línea: Desarrollo de línea de difusión masiva

Resultado verificable: Resultados, bienes y servicios generados en la innovación tecnológica desarrollada transferida mediante actividades de difusión, capacitación y elementos de difusión masiva.

Durante la ejecución del proyecto se realizaron una serie de actividades de difusión, que incluyeron presentaciones a productores de la hipótesis, alcances y metodología del proyecto: Reunión de ASOGAMA (2003), II Seminario de ganadería Río Verde, Seminario AFC (2007) y jornadas ganaderas INDAP 2005. Además, el proyecto apoyó la consultoría tecnológica realizada por el Dr. David Scott en su análisis de la relación suelo-planta realizada en distintas unidades prediales de la XII región.

Además, el proyecto lideró un taller pratense y la realización de un taller internacional con la participación del Dr. Derrick Moot.

Toda la información ha sido sistematizada y entregada en el material de difusión adjunto a éste informe final.

4.2. Matriz de Hitos del proyecto

Línea de trabajo	Producto	Hitos parcial	Hito final	Comentarios
Fertilidad de suelos	Pautas de manejo para fertilidad de suelos	Análisis de suelos parciales temporada 2000-2007	Estudio físico de suelos Auditoria experto Derrick Moot	Los resultados de la línea de I&D correlacionó las características físicas y edáficas de los sitios intervenidos, como herramienta de selección de sitios y disminución de riesgos para selección de sitios a intervenir con siembra directa con alfalfa
Producción pratense	Aumento de la producción primaria y secundaria del sistema	Resultados de procesos de engorda de corderos destetados temporadas 2002-2007 Resultados de parámetros productivos de las unidades productivas	Valorización bio-económica del efecto alfalfa en sistema productivo Auditoria experto Derrick Moot	Los resultados de la línea demostraron que la hipótesis general del proyecto era viable mediante la aplicación del modelo tecnológico validado en el proyecto
Herramientas de gestión	Paquetes de estimación bio-económicos validados	Algoritmos de cálculos validados	Modelos en formatos Visual Basic y Excel transferibles a usuarios	Por medio del proyecto se fortaleció y diversificaron las herramientas de gestión desarrolladas por otras iniciativas

				de la Fundación para la Innovación Agraria en la región.
Difusión masiva	Paquete tecnológico de difusión entregado a usuarios	6 jornadas de difusión talleres 1 día de campo	1 taller internacional 1 día de campo final (pendiente Diciembre 2007)	El proyecto se insertó en las necesidades regionales y en la dinámica de trabajo regional relacionada con aumento de productividad predial
Estudio de prefactibilidad económica	Estudio de escalamiento predial	Análisis bio-económicos parciales de las unidades prediales participantes en el proyecto	Estudio de escalamiento	El modelo tecnológico validado es aplicable a otras unidades prediales considerando las condiciones edafoclimáticas de las mismas.

4.3. Actualización del análisis económico

Estado inicial del proyecto: Las existencias ovinas de la XII Región representan el 60% nacional. El sistema tiene por objetivo suministrar proteína animal y lana caracterizándose por ser extractivo, en donde la base de sustentación es el ecosistema pratense. El comportamiento durante la década 1990-2000 demostró una tendencia al alza en la participación regional en la producción nacional de carne de cordero, representando un valor cercano al 85% (Figura 14). Esta tendencia ha mostrado una aceleración en los últimos 5 años a una tasa creciente aproximadamente del 3% anual (ODEPA, 2002).

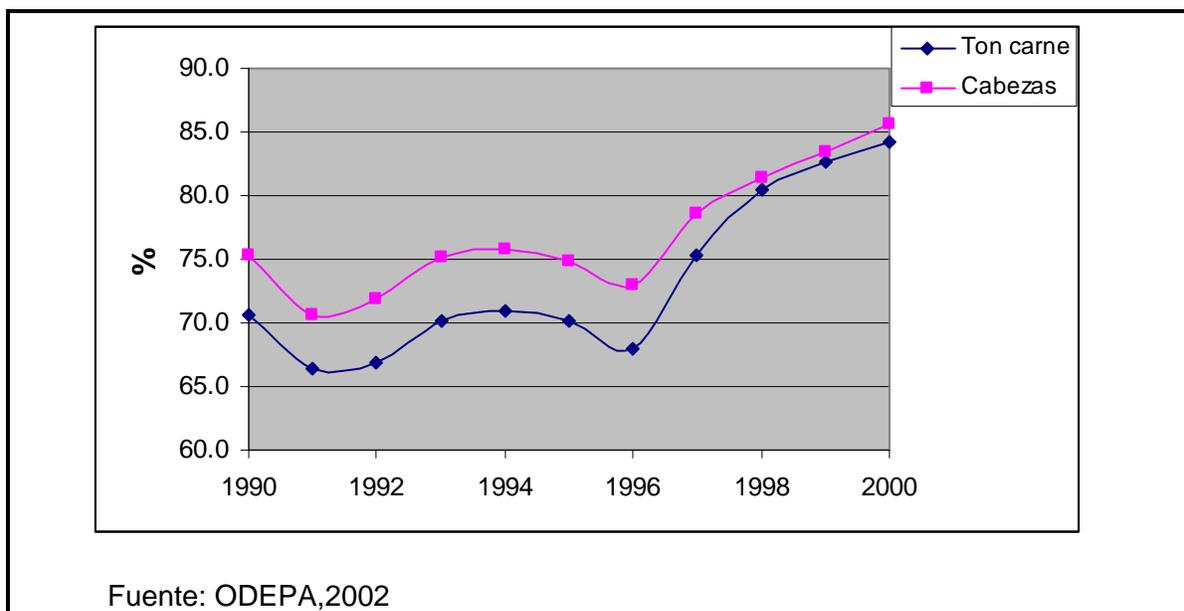


Figura 14. . Participación de la XII región en el rubro ovino nacional, 1990-2000.

Los ingresos por exportación de carne ovina, también han presentado una tendencia al alza con un valor promedio de MUS\$ 6.428/ton FOB. La importancia del rubro ovino sobre la dinámica económica regional, también se refleja en la absorción de mano de obra que representa entre el 12-15% de la fuerza laboral (ODEPA, 2002).

Cuadro 29. Participación de la carne ovina en ingresos por exportación regional.

Año	% de Participación en Exportaciones regionales (US\$ FOB)	% de Variación anual
1995	18	
1996	21	17,6
1997	27	28,0
1998	31	17,8
1999	38	21,6
2000	35	-8,6

Fuente: adaptado de ODEPA, 2002.

El principal mercado de exportación, es la Comunidad Europea, que demanda canales entre 16-18 kg, por lo tanto corderos de un peso vivo entre 40-45 kg. Alrededor del 60% de este peso vivo se obtiene en condiciones de pastoreo, posterior al destete en un período de 90 –120 días, entre enero-abril, período en el que disminuye sostenidamente la tasa de crecimiento de la pradera.

Las iniciativas de innovación del rubro ovino han estado dirigidas principalmente a incrementar el potencial de aumento de peso y rendimiento carnicero de los corderos mediante cruzamiento con líneas paternas terminales. Este proceso ha generado un biotipo animal más pesado, eficiente y precoz con aumento de los requerimientos nutricionales por efecto de una mayor tasa potencial para aumentar peso vivo. Este nuevo escenario productivo ha permitido identificar la necesidad de aumentar la eficiencia de uso de la pradera, por lo tanto se demanda incrementar la oferta de nutrientes digestibles, lo que podría estimular corderos más pesados (mayor peso vivo) satisfaciendo las necesidades insatisfechas de una cuota internacional de la Comunidad Europea, destacándose que en un futuro cercano esta cuota aumentará.

Recientemente se han desarrollado iniciativas para introducir en la Región de Magallanes, razas especializadas en la producción de carne, como Texel, Coopworth y Polled Dorset, para evaluar su adaptación y productividad, así como su cruzamiento con razas locales.

Estado actual mercado internacional: Según estimaciones de la FAO, la población ovina en el mundo registró un crecimiento de un 1,8% en el año 2005, llegando a 1.081 millones de cabezas, destacando el continente asiático con 342 millones, que es la tercera parte del censo mundial, siendo China, Irán, India y Turquía, los países que tienen mayor participación en el censo asiático. África es el segundo continente más importante con 206 millones de ovejas, destacando Sudáfrica, Sudán, Etiopía, Argelia y Marruecos. Oceanía es el continente de los grandes rebaños que resultan ser muy competitivos en costos. En América destacan en competitividad Uruguay, Argentina y Brasil.

**Cuadro 30. Población ovina en los países con mayores stocks en el mundo
(Fuente: FAO)**

PAIS	Nº DE CABEZAS
CHINA	155.371.000
UNION EUROPEA (25)	103.193.000
AUSTRALIA	94.500.000
INDIA	62.500.000
NUEVA ZELANDA	40.049.000
PAKISTAN	24.700.000
ARGELIA	18.700.000
BRASIL	14.182.000
ARGENTINA	12.450.000
URUGUAY	9.508.000
ARABIA SAUDITA	7.000.000
MEXICO	6.820.000
ESTADOS UNIDOS	6.090.000
CHILE	3.680.000
JORDANIA	1.475.000
CANADA	1.005.000
EMIRATOS ARABES	590.000
SUIZA	441.000
ISRAEL	390.000
OMÁN	370.000
QATAR	200.000
MALASIA	120.000

Los países con mayor dotación de ovinos son, China con alrededor de 156 millones, seguido del stock de 103 millones de ovinos que reúnen los 25 países que conforman la Unión Europea, luego se ubican, entre otros, Australia con 94 millones de cabezas, India con 62 millones y Nueva Zelanda con 40 millones. En nuestra región, Brasil tiene un rebaño de 15 millones, Argentina alrededor de 13 millones de ovinos y Uruguay con aproximadamente 10 millones. En el bloque de América del Norte, México y estados Unidos presentan alrededor de 7 y 6 millones de ovinos respectivamente y Canadá con una población ovina bastante menor, la que bordea el millón de cabezas.

La carne ovina representa aproximadamente un 5% del consumo mundial de carne, porcentaje similar a la participación que ésta tiene en el comercio mundial de las carnes. En el cuadro siguiente se puede apreciar los principales productores de carne ovina en el mundo.

Cuadro 31. Principales países productores de carne ovina del mundo y participación porcentual del mercado (Fuente FAO)

PAIS	Ton. (Miles)	% Mercado
CHINA	2.201	27%
UNION EUROPEA (25)	1.034	13%
AUSTRALIA	561	7%
NUEVA ZELANDA	509	6%
IRAN	348	4%
TURQUIA	267	3%
INDIA	239	3%
SIRIA	207	3%
PAQUISTAN	182	2%
ARGELIA	165	2%
SUDAN	144	2%
OTROS	2.264	28%
TOTAL	8.120	100%

La producción mundial de carne ovina en los últimos años ha sido alrededor de 8,12 millones de toneladas vara, de ellas solo un 11% a 12 %, se comercializa internacionalmente. El comercio internacional de carne ovina se concentra en pocos países, Australia y Nueva Zelanda, son responsables de mas del 92% de las exportaciones, sin considerar el comercio intra Unión Europea. El 8% restante es responsabilidad de otros países entre los cuales está Chile que exporta alrededor de 5.000 toneladas anuales.

Australia exportó el año 2006, 337 mil toneladas vara de carne de ovino y Nueva Zelanda, el mismo año, exportó alrededor del 65% de su producción, es decir 465 mil toneladas vara. Mientras las exportaciones de Australia tienen como destinos principales Estados Unidos (16%), Japón (9%) , Arabia Saudita (9%) y luego la Unión Europea, Nueva Zelanda tiene como principal destino la Unión Europea (48%), como resultado de la cuota que dicho bloque le tiene asignado. El segundo destino en importancia de las exportaciones de Nueva Zelanda es Estados Unidos, pero el volumen destinado a este último país no alcanza al 20%. La gran diferencia en el producto ovino de estos dos países, está dado en que Nueva Zelanda genera un producto netamente pastoril, mientras que Australia por su tradición productora de lana, coloca en los mercados internacionales carne de ovino adulto.

Las importaciones de carne de ovino están claramente lideradas por la Unión Europea que desde terceros países importó el año 2006 más de 310 mil toneladas vara. El comportamiento del comercio internacional desde la perspectiva de las importaciones se presenta en el cuadro 32.

Cuadro 32. Principales importadores de carne ovina del mundo y participación porcentual del mercado (Fuente: FAO)

PAIS	Ton. (Miles)	% Mercado
UNION EUROPEA (25)	313	36%
EE. UU.	89	11%
JAPON	51	6%
ARABIA SAUDITA	51	6%
CHINA	46	4%
MEXICO	31	3%
CANADA	18	2%
FED. RUSA	5	1%
BRASIL	3	0%
OTROS	258	31%

El mercado internacional de carne de corderos implica la venta de canales enteras y/o cortes que varían según los mercados destinos. Entre los años 1999 y 2003 los valores promedios de peso por canal que se comercializan en los diferentes países importadores se presentan en el Cuadro 33, desagregando que canales livianas corresponden a pesos inferiores a 10 kilos, medianas hasta 16 kilos y pesadas mayores a 16 kilos.

CUADRO 33. Peso Promedio de canales compradas por diferentes países

PAISES	PESO CANAL
ESPAÑA	7 - 8 KILOS
COREA	10 - 12 KILOS
CANADA - MEXICO	12 - 13 KILOS
ARABIA SAUDITA	14 - 15 KILOS
ALEMANIA -FRANCIA- E ARABES	15 - 16 KILOS
REINO UNIDO	17 - 18 KILOS
USA - JAPON	28 - 30 KILOS

El 69% del total de la carne ovina que es importada en el mundo se comercializa congelada, el resto es enfiada y por tanto adquiere un mayor valor. Asimismo el 65% de la carne ovina comercializada se presenta con hueso y el 35% restante sin hueso.

Producción y Mercado Nacional

En Chile la producción de carne ovina obedece a dos realidades diametralmente opuestas, por una parte la desarrollada en las zonas australes destinadas al mercado externo fundamentalmente y en la que predominan grandes explotaciones y la otra, ubicada en las zonas centro, centro sur y sur, con explotaciones significativamente mas pequeñas y su producción, hasta hace uno o dos años, enfocada exclusivamente al mercado nacional.

En la zona austral se concentra hoy el proceso exportador que da cuenta de gran parte la cuota que la Unión Europea le tiene asignada al país. Asimismo es la zona austral la responsable de la recuperación del consumo de carne ovina en Chile, a través de la campaña desarrollada sobre el cordero magallánico.

Los sistemas productivos de la zona sur y centro sur del país, además de ser mayoritariamente de tamaño pequeño y dedicadas al autoconsumo, obedecen a actividades marginales o complementarias de las explotaciones agropecuarias. Estas presentan un bajo nivel de productividad, de producción y comercialización estacional marcada por la venta al detalle y la informalidad. Como es de esperar la producción de estas explotaciones pequeñas generan un producto heterogéneo y sin tener ningún parámetro de calidad establecido para su evaluación. En esta macrozona también se albergan explotaciones de tamaño medio, las que en una proporción bastante menor, participan en mayor grado en canales de comercialización mas formales, pero afectadas por una demanda estacional, lo que atenta contra su desarrollo y especialización. La situación antes descrita es muy distinta a la zona austral, aquí las explotaciones ovinas se ven limitadas preferentemente por el tamaño y producción primaria de los sistemas, donde existe desde hace años un sistema formal de comercialización, de grandes volúmenes y vinculado al sector industrial procesador, el que cuenta con una amplia experiencia e infraestructura habilitada para exportar.

Este escenario, de una zona especializada en producción a escala mayor orientada a la exportación y otra, más amplia territorialmente, donde predominan explotaciones significativamente más pequeñas y con su producción bastante estacional, orientada al consumo interno, tiende a cambiar, especialmente en este último caso. En efecto, producto de la demanda por carne ovina en mercados de mayor valor y la experiencia que Plantas Faenadoras han adquirido a partir de la exportación de carne bovina , hacen prevalecer proyectos de desarrollo de líneas de proceso de ovinos que, diseñadas para cumplir con todas las exigencias de BPM, Sistemas de Aseguramiento de Calidad y de Seguridad Alimentaria que exigen mercados externos, han generado el inicio de un proceso de especialización que la producción ovina no tenía en estas zonas.

Esta nueva situación puede significar que se revierta lo que muestra la información proporcionada por el último censo agropecuario, que da cuenta de una significativa reducción de las existencias ovinas, desde 5,7 millones de

cabezas en el año 1976 , cifra correspondiente al V Censo Agropecuario, a solo 3,7 millones en 1997 (VI Censo), lo que significa una disminución del 35%. Tal es así la posibilidad de cambio en la tendencia del stock nacional que, de acuerdo a análisis de antecedentes de las últimas temporadas, se estima que el inventario nacional se habría recuperado a una dotación de 4 millones a mediados del 2006.

Igualmente, de acuerdo a las cifras oficiales del INE y referidas al último censo, mas del 50% de las existencias de ganado ovino se encuentran en la Región de Magallanes y aún cuando no se han efectuado mediciones en los últimos años, se estima que la distribución reflejada en el Cuadro 34, hasta ahora no ha sufrido grandes variaciones, sin embargo es dable esperar que, en los próximos años, se modifique esta relación, debido al fomento que este rubro está teniendo en la zona centro sur y sur del país.

Cuadro 34. Existencia de Ovinos por regiones y participación porcentual

REGION	EXISTENCIAS	PARTICIPACION
1	46.000	1,2
2	15.000	0,4
3	8.000	0,2
4	71.900	2,0
5	56.300	1,5
R.M.	29.700	0,8
6	184.000	5,0
7	203.800	5,5
8	182.100	4,9
9	245.000	6,6
10	391.500	10,6
11	337.600	9,1
12	1.923.700	52,2
TOTAL	3.695.200	100,0

El análisis del cuadro anterior, permite concluir que la distribución de las existencias, en el comportamiento o distribución de la faena se reflejan dos efectos relacionados con la localización de las plantas faenadoras y con el hecho que existe mucho comercio y faena informal entorno al rubro.

En los últimos dos años se han conocido iniciativas tendientes a organizar productores en la zona centro y centro sur, de manera de iniciar un proceso de certificación de predios, de homogenización de productos y fundamentalmente de generación de volumen que permita contraer compromisos comerciales con países de la Unión Europea, principalmente Francia y España, y también con México.

En el ámbito de la producción nacional, recién en la temporada 2006 se revirtió una tendencia sostenida de disminución de la producción de carne de ovino, en efecto el año 2005 se registró una faena nacional de 9.227 toneladas, un 3,27% menor que la alcanzada en el año 2004, sin embargo ya a noviembre de 2006 la faena nacional registraba 9.928 toneladas, cifra que se empujó a las 11.130 toneladas en diciembre 2006. Estas cifras pueden obedecer a dos factores, primero al hecho que en años anteriores se evidenció una retención de vientres en la zona austral, que ahora estaría dado sus frutos y por otro lado al hecho que al iniciarse el proceso de compra de corderos de exportación en la zona central del país, se deben haber incorporado a la faena formal corderos que en años anteriores se comercializaban informalmente. Este último factor no es posible de cuantificar ya que solo se obtienen antecedentes y evidencias por localidades y no por registros establecidos. Igualmente esta situación produce distorsión al calcular el consumo *per cápita*, pues los valores obtenidos para este indicador surgen a partir de los datos de faena o comercialización formal.

Un análisis en base a los registros semestrales permiten visualizar un importante diferencia en el comportamiento, en relación a años anteriores, ello se refleja en datos siguientes:

Cuadro 35. Beneficio y Producción de Carne en Vara ganado ovino (Fuente: INE)

AÑO	BENEFICIO (cabezas)	VARIACION (%)	CARNE EN VARA (Toneladas)	VARIACION (%)
2000	786.915	-2,9	11.141	-12,6
2001	740.648	-5,9	10.884	-2,3
2002	729.850	-1,5	9.857	-9,4
2003	675.738	-7,4	9.652	-2,4
2004	663.838	-1,8	9.539	0,9
2005	657.341	-1	9.227	-3,3
2006	768.667	16,9	11.130	20,6
1º Semestre				
2001	577.998	0,2	8.425	4,2
2002	560.732	-3	7.363	-12,6
2003	529.794	-5,5	7.454	1,2
2004	527.163	-0,5	7.471	0,2
2005	503.919	-4,4	6.952	-6,9
2006	616.481	22,3	9.008	29,6

El INE da a conocer que las exportaciones de carne ovina registraron en el primer semestre de 2006, un incremento en su volumen de un 8,8 %, sin embargo se observa un 2,1 % de disminución en sus montos. Los principales países de destino en cuanto a montos, son España (40,6 %), Suecia (12,3 %), Holanda (11,9 %), Israel (5,7 %), Alemania (5,2 %) y México (5,0 %). El 19% restante se distribuye en otros 13 países. Como se ha señalado precedentemente, Chile cuenta con una cuota sin arancel otorgada por la Unión Europea y que asciende a 5.000 toneladas.

En el cuadro 36 se aprecia el comportamiento de las exportaciones de carne ovina, llamando la atención que a pesar del incremento en el volumen exportado en el primer semestre de 2006, se evidenciaba una pérdida significativa en el precio alcanzado, sin embargo en el consolidado del año 2006, se manifiesta un

crecimiento de algo más del catorce por ciento, respecto del año 2005, en el ingreso de divisas por este concepto.

Cuadro 36. Exportación de carne ovina entre 2000 y 2006 (Fuente: Odepa/Aduanas)

AÑO	VOLUMEN (Toneladas)	VARIACION (%)	VALOR (Millones de US\$)	VARIACION (%)
2000	3.828	-16,7	7,4	-10,8
2001	4.785	25	10,5	41,1
2002	4.296	-10,2	11,4	8,5
2003	5.105	18,8	16,4	43,9
2004	5.375	5,3	20,1	22,6
2005	5.586	3,9	24,3	20,9
2006	6.589	17,9	27,9	14,8
1º Semestre				
2001	3.666	24,4	8,2	40,9
2002	2.844	-22,4	7,6	-6,3
2003	3.836	34,9	12,8	68,4
2004	4.052	5,6	15,9	24,2
2005	4.074	0,5	19,1	20,1
2006	4.434	8,8	18,7	-2,1

El diferencial 2005 - 2006 en la faena nacional versus el diferencial para el mismo período que se verifica en los volúmenes exportados dan lugar a un importante incremento en el consumo interno. Desde luego que dado un consumo tan bajo, cualquier incremento genera significativo porcentaje de crecimiento, igualmente es válido comentar que estos consumos aparentes deben ser aceptados con el elemento adicional que en el no se refleja el consumo generado por la faena y comercialización informal (Cuadro 37).

Cuadro 37. Consumo *per cápita* aparente de carne ovina en Chile 2000- 2006
 (Fuente: ODEPA)

AÑO	CONSUMO (Kilogramo / habitante)	VARIACION ANUAL (%)
2000	0,4	-20,0
2001	0,4	0,0
2002	0,4	0,0
2003	0,4	0,0
2004	0,3	-25,0
2005	0,2	-33,0
2006	0,3	50,0

En definitiva el año 2006 se registró una oferta significativamente mayor que el año anterior, sobrepasando las 11 mil toneladas. Los despachos al exterior se acercaron a los 28 millones de dólares y el consumo *per cápita* podría llegar a 0,3-0,4 kilos por habitante al año (Cuadro 37).

La dinámica de las exportaciones ovinas del país, considerando valores, volúmenes y glosas de exportaciones se presentan en la serie de cuadros 38.

Cuadros 38. Comportamiento exportaciones ovinas

Código SACH	Producto (glosa)	2000		2001		2002		2003		2004		2005		2006	
		TON	MUS\$	TON	MUS\$	TON	MUS\$	TON	MUS\$	TON	MUS\$	TON	MUS\$	TON	MUS\$
2043000	Carne ovina canales o medias canales de cordero, congeladas	1.739,10	3.102,40	1.821,20	3.583,90	1.606,00	4.009,30	936,78	2.739,40	874,71	2.674,50	1.187,90	4.005,10	1.279,70	4.074,20
2044300	Carne ovina deshuesada congelada (total)	396,30	994,6	408,50	1.362,10	279,27	997,4	452,78	1.871,00	610,75	3.053,20	524,04	2.415,20	801,35	3.714,90
2044310	Carne ovina filete deshuesado, congelado					10,03	93,1	18,99	191,4	11,95	120,5	15,25	127,1	18,18	123,4
2044320	Carne ovina lomo deshuesado, congelado					21,86	206,3	37,08	436,8	22,64	312	17,26	225,7	11,79	115,2
2044200	Carne ovina, los demás cortes (trozos) sin deshuesar congeladas (total)	1.070,40	2.470,60	2.290,80	5.086,40	2.308,70	6.118,80	3.715,60	11.757,60	3.723,00	14.036,00	3.701,40	17.284,60	3.536,70	15.542,90
2044210	Carne ovina, paleta sin deshuesar, congelada					567,66	1.089,70	851,99	1.988,60	1.053,70	2.747,80	1.098,90	3.604,10	867,28	2.778,30
2044220	Carne ovina, pierna sin deshuesar, congelada					763,29	2.374,20	1.123,80	3.953,90	897,53	3.952,10	1.077,30	5.798,60	857,55	4.269,60
2044230	Carne ovina, silla sin deshuesar, congelada					24,51	94,3	70,28	386,3	73,33	490,5	68,81	595,7	38,32	253,4
2044390	Las demás carnes de ovino, deshuesadas, congeladas					247,40	698	396,72	1.242,80	576,16	2.620,60	491,52	2.062,40	771,38	3.476,30
2044100	Las demás carnes ovinas en canales o medias canales, congeladas	495,36	493,2	216,01	251,7	75,26	108,7	151,5	0,5	165,83	293,9	78,44	132	58,89	107,3
2044290	Los demás cortes de carne ovina, sin deshuesar, congelados					953,24	2.560,60	1.669,50	5.428,80	1.699,20	6.845,60	1.456,30	7.286,30	1.773,50	8.241,70

Código SACH	Producto (glosa)	2000		2001		2002		2003		2004		2005		2006	
		US\$ FOB/kg	Tasa anual,%												
2043000	Carne ovina canales o medias canales de cordero, congeladas	1,78		1,97	10,3%	2,50	26,9%	2,92	17,1%	3,06	4,6%	3,37	10,3%	3,18	-5,6%
2044300	Carne ovina deshuesada congelada (total)	2,51		3,33	32,9%	3,57	7,1%	4,13	15,7%	5,00	21,0%	4,61	-7,8%	4,64	0,6%
2044310	Carne ovina filete deshuesado, congelado					9,28		10,08	8,5%	10,08	0,1%	8,33	-17,4%	6,79	-18,5%
2044320	Carne ovina lomo deshuesado, congelado					9,44		11,78	24,8%	13,78	17,0%	13,08	-5,1%	9,77	-25,3%
2044200	Carne ovina, los demás cortes (trozos) sin deshuesar congeladas (total)	2,31		2,22	-3,8%	2,65	19,4%	3,16	19,4%	3,77	19,1%	4,67	23,9%	4,39	-5,9%
2044210	Carne ovina, paleta sin deshuesar, congelada					1,92		2,33	21,6%	2,61	11,7%	3,28	25,8%	3,20	-2,3%
2044220	Carne ovina, pierna sin deshuesar, congelada					3,11		3,52	13,1%	4,40	25,2%	5,38	22,2%	4,98	-7,5%
2044230	Carne ovina, silla sin deshuesar, congelada					3,85		5,50	42,9%	6,69	21,7%	8,66	29,4%	6,61	-23,6%
2044390	Las demás carnes de ovino, deshuesadas, congeladas					2,82		3,13	11,0%	4,55	45,2%	4,20	-7,7%	4,51	7,4%
2044100	Las demás carnes ovinas en canales o medias canales, congeladas	1,00		1,17	17,0%	1,44	23,9%	0,00	-99,8%	1,77	53601,2%	1,68	-5,0%	1,82	8,3%
2044290	Los demás cortes de carne ovina, sin deshuesar, congelados					2,69		3,25	21,1%	4,03	23,9%	5,00	24,2%	4,65	-7,1%

Código SACH	Producto (glosa)	2000		2001		2002		2003		2004		2005		2006	
		Ton/año	Tasa anual,%												
2043000	Carne ovina canales o medias canales de cordero, congeladas	1739		1821,20	4,7%	1606	-11,8%	937	-41,7%	875	-6,6%	1188	35,8%	1280	7,7%
2044300	Carne ovina deshuesada congelada (total)	396		408,50	3,1%	279	-31,6%	453	62,1%	611	34,9%	524	-14,2%	801	52,9%
2044310	Carne ovina filete deshuesado, congelado	0		0,00		10		19	89,4%	12	-37,1%	15	27,6%	18	19,2%
2044320	Carne ovina lomo deshuesado, congelado	0		0,00		22		37	69,6%	23	-38,9%	17	-23,8%	12	-31,7%
2044200	Carne ovina, los demás cortes (trozos) sin deshuesar congeladas (total)	1070		2290,80	114,0%	2309	0,8%	3716	60,9%	3723	0,2%	3701	-0,6%	3537	-4,4%
2044210	Carne ovina, paleta sin deshuesar, congelada	0		0,00		568		852	50,1%	1054	23,7%	1099	4,3%	867	-21,1%
2044220	Carne ovina, pierna sin deshuesar, congelada	0		0,00		763		1124	47,2%	898	-20,1%	1077	20,0%	858	-20,4%
2044230	Carne ovina, silla sin deshuesar, congelada	0		0,00		25		70	186,8%	73	4,3%	69	-6,2%	38	-44,3%
2044390	Las demás carnes de ovino, deshuesadas, congeladas	0		0,00		247		397	60,4%	576	45,2%	492	-14,7%	771	56,9%
2044100	Las demás carnes ovinas en canales o medias canales, congeladas	495		216,01	-56,4%	75	-65,2%	152	101,3%	166	9,5%	78	-52,7%	59	-24,9%
2044290	Los demás cortes de carne ovina, sin deshuesar, congelados	0		0,00		953		1670	75,1%	1699	1,8%	1456	-14,3%	1774	21,8%

Comportamiento comercial Ovino

Código SACH	Producto (glosa)	2000		2001		2002		2003		2004		2005		2006	
		TON	MUS\$	TON	MUS\$	TON	MUS\$	TON	MUS\$	TON	MUS\$	TON	MUS\$	TON	MUS\$
2043000	Carne ovina canales o medias canales de cordero, congeladas	1.739,10	3.102,40	1.821,20	3.583,90	1.606,00	4.009,30	936,78	2.739,40	874,71	2.674,50	1.187,90	4.005,10	1.279,70	4.074,20
2044300	Carne ovina deshuesada congelada (total)	396,30	994,60	408,50	1.362,10	279,27	997,40	452,78	1.871,00	610,75	3.053,20	524,04	2.415,20	801,35	3.714,90
2044200	Carne ovina, los demás cortes (trozos) sin deshuesar congeladas (total)	1070,4	2470,6	2290,8	5086,4	2308,7	6118,8	3715,6	11757,6	3723	14036	3701,4	17284,6	3536,7	15542,9
2044100	Las demás carnes ovinas en canales o medias canales, congeladas	495,36	493,20	216,01	251,70	75,26	108,70	151,50	0,50	165,83	293,90	78,44	132,00	58,89	107,30
		2000		2001		2002		2003		2004		2005		2006	
		TON	MUS\$	TON	MUS\$	TON	MUS\$	TON	MUS\$	TON	MUS\$	TON	MUS\$	TON	MUS\$
	Total	3.701	7.061	4.737	10.284	4.269	11.234	5.257	16.369	5.374	20.058	5.492	23.837	5.677	23.439
	US\$ FOB/kg	1,91		2,17		2,63		3,11		3,73		4,34		4,13	
	Tasa US\$,%			13,8%		21,2%		18,3%		19,9%		16,3%		-4,9%	
	Tasa cantidad,%			28,0%		-9,9%		23,1%		2,2%		2,2%		3,4%	

4.4. Actualizar criterios y supuestos utilizados en la formulación del análisis económico del proyecto.

a) Propuesta original: El Período de innovación tecnológica es de 4 años (2002-2006) y el horizonte de evaluación fue de 10 años de proyecto productivo (2007-2016). La justificación del horizonte está dada porque la incorporación de especies forrajeras responden a ciclos biológicos con periodos de evaluación anuales, donde la temporada de producción inicial se considera a partir de la tercera de implantación, por lo tanto el período de evaluación responde a ciclos biológicos. Los parámetros a considerar en la valuación fueron:

Aumento de peso de canales de corderos provenientes de la zona de vega/transición y estepa generando mayores ingresos unitarios: El aumento de peso se ha estimado en 10% en comparación a la situación basal actual. Este aumento de peso se fundamenta en el aumento de la productividad de materia seca de la pradera generada por la innovación tecnológica. Un aumento de 5000 kg MS/ha representa para un período de 90 días de engorda un aumento del 100% en la oferta de pasto para los corderos (70% de eficiencia de uso de la pradera). El universo de corderos que se faenan en la XII región es aproximadamente de 500.000, de los cuáles el 30% proviene de la zona húmeda, vega y transición y el resto de la estepa. El aumento de peso permitiría para el caso de corderos de estepa cambiar de segmento de precio por kg de canal al lograr el mínimo de 13 kg de canal para dar mayor valor agregado mediante cortes de la canal. Se ha estimado que el universo que adoptaría la tecnología estaría entre 10-20% del universo y que la innovación tecnológica de mejoramiento de praderas representa 5% de la superficie total del predio.

La producción de corderos en la XII región es un sistema fundamentado en el uso de la pradera. Tiene como característica principal que el período de engorda corresponde a los meses de enero-mayo, época en la cuál la tasa de producción de materia seca por unidad de superficie de suelo disminuye. Sólo entre 15-20%

de las canales logran alcanzar el peso mínimo de 13 kg, con lo cuál recibe el kg de peso vivo un sobreprecio de 23%. Debe mencionarse que el peso promedio de canales de corderos obtenidos en sistema de estepa, que representa el 70% de lo cordero generados en la región, es de 11 kg. La participación restante es de corderos obtenidos con praderas con mayor presencia de humedad (zona húmeda- vega/transición) con pesos promedios de 15 kg de canal. La mayor tasa de crecimiento de la pradera se produce entre octubre-noviembre y los corderos dependen únicamente de la pradera como fuente de nutrientes para aumentar peso vivo a partir de diciembre. Por lo tanto, la productividad de la pradera en términos de disponibilidad y digestibilidad de la materia seca es el principal limitante para la expresión del potencial de genético de crecimiento de los corderos.

Las iniciativas de innovación del rubro ovino han estado dirigidas principalmente a aumentar el potencial de aumento de peso y rendimiento carnicero de los corderos mediante cruzamiento con líneas paternas carniceras. Este proceso ha generado un biotipo animal más pesado con aumento de los requerimientos nutricionales por efecto de una mayor tasa potencial para aumentar peso vivo. Este nuevo escenario productivo ha sido estimulado por efecto del mercado de la Comunidad Europea, que demanda canales más pesadas de corderos, con el objetivo de obtener cortes de calidad y mayor valor agregado. Por lo tanto, los limitantes identificados para aumentar la productividad del rubro ovino en la XII región están representados principalmente en la oferta de materia seca de calidad de la pradera en el período de engorda de corderos. Esta situación tiene un efecto sobre el sistema productivo en general, ya que mayor productividad de materia seca por unidad de superficie podría provocar un menor tiempo de engorda de los corderos y una mayor liberación de materia seca para otras categorías animales que lo demandan en el ciclo normal productivo, como es el período de encaste (abril-mayo).

El principal objetivo técnico económico de la presente propuesta es incorporar germoplasma forrajero mejorador a sistemas pastoriles frágiles, como es la estepa, y en sistemas con potencial para el crecimiento de la pradera, por efecto de humedad como son las vegas. Por lo general, los sistemas de producción ovina de transición y de estepa tienen entre 5-10% de la superficie total con capacidad hídrica para crecimiento de especies forrajeras de mayor valor nutricional. Los resultados de la ejecución del proyecto aumentarán la producción de materia seca entre 5000 kg MS/ha. Este en un período de engorda en pastoreo de 90 días del cordero con una eficiencia de uso de 60-70%. El consumo potencial de materia seca de los nuevos biotipos de corderos carniceros terminales utilizados en la zona tienen un consumo de materia seca potencial de 1,2-1,4 kg MS/ día, por lo tanto este aumento representaría al consumo máximo. Considerando las cargas promedios de la zona de vega/transición y estepa de 5 y 3 corderos/ha respectivamente, el aumento de materia seca representaría aumentar en 100% la carga instantánea en comparación a la situación actual. Esta situación representaría de 3,6-5,4 kg de mayor peso vivo durante el período de engorda y considerando un rendimiento al faenamiento del 45 %, el aumento del peso de la canal sería entre 1,6-2,4 kg. Un aumento de 2 kg en la canal de corderos obtenidos en la zona de estepa tiene un efecto positivo doble, primero un aumento del orden del 18% del peso de la canal y un aumento del kg de canal del orden del 23%, al alcanzar el peso mínimo de 13 kg, donde el kg de canal tiene un valor de 1,6 US\$ en comparación a US\$ 1,3 para pesos inferiores a 13 kg.

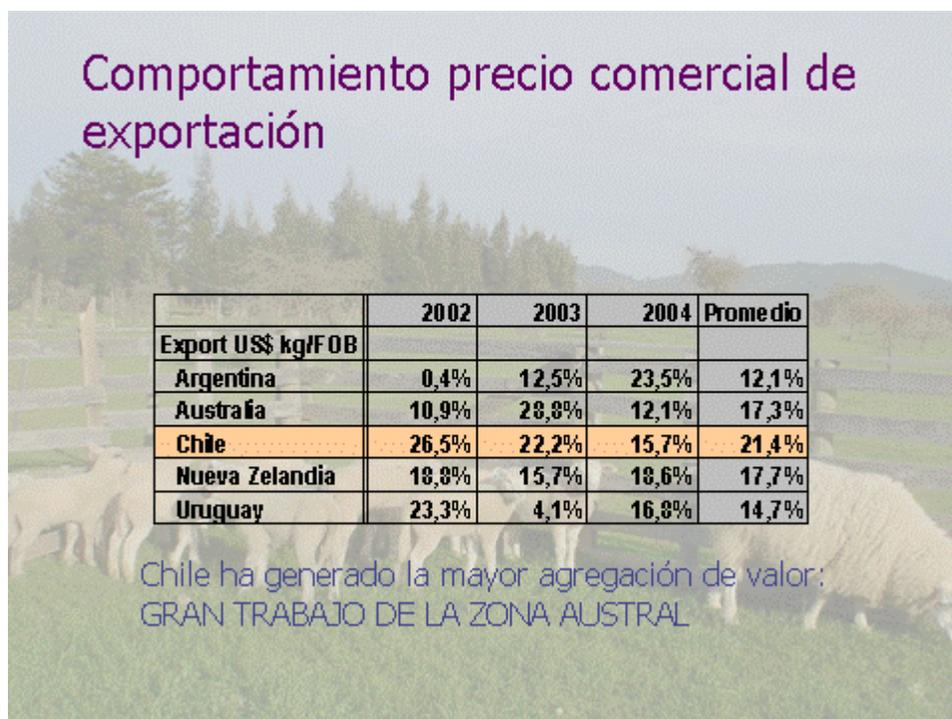
Cabe destacar que la evaluación privada consideró la engorda de 50.000 corderos de las 4 unidades participantes (ejecutantes) con el sistema de pradera natural regenerada con alfalfa mediante cero labranza

b) Análisis de impacto económico logrado a la fecha:

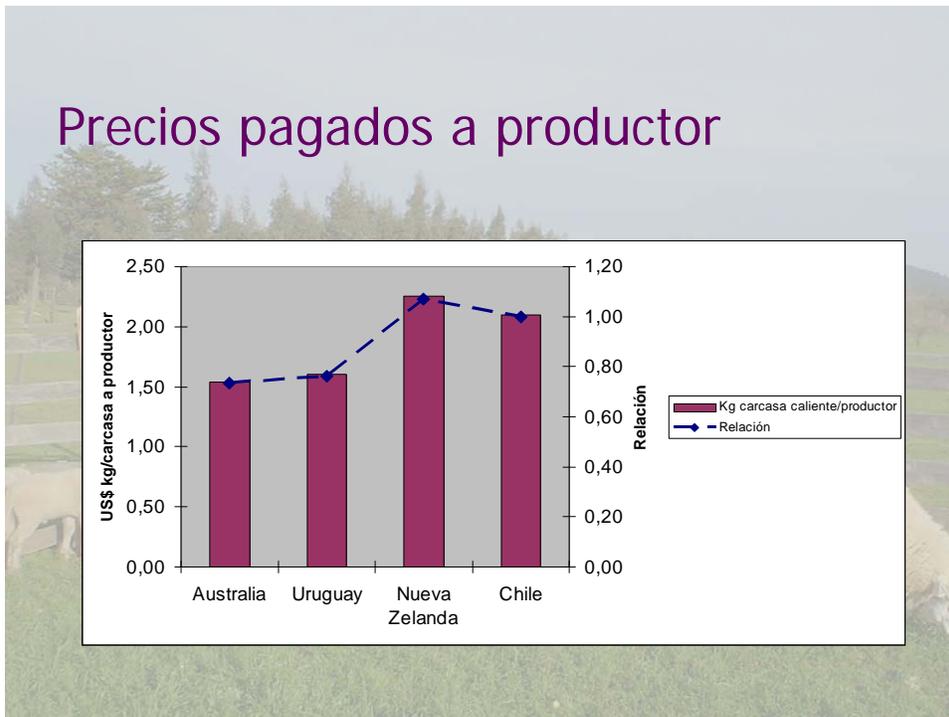
La situación actual de mercado se ha modificado por tres escenarios, que se describen a continuación:

- i. **Precios por peso de canal:** Originalmente, las plantas faenadoras pagaban un sobreprecio del orden de 20-25% del valor de canales para las canales que superan los 13 kg, situación que estimulaba la producción de corderos con mayor valor agregado para la industria vía cortes de canal. Actualmente, este escenario se ha modificado, ya que hay un precio base que se ha incrementado en 45-50%, lo que ha demostrado un aumento del valor agregado de la cadena (Figura 15) y de los precios pagados a productor en comparación a los países líderes de exportación ovina (Cuadro 16)

Figura 15. Incremento de valor FOB de exportaciones ovinas para la Comunidad Europea de países no comunitarios.



Cuadro 16 Precios promedios pagados a productor kg carcasa caliente mercado exportación (2004-2006).



ii. **Incremento de mercado internacional:** El precio de exportación del ovino se mantuvo en alza entre el período 2002-2004 (figura 17) y se prevé comportamientos en alza (figura 18) fundamentalmente explicados por el aumento del consumo en USA y una mayor disminución de las existencias en la Comunidad Europea, por nuevas legislaciones a partir del 2008 (Figura 19).

Figura 17. Comportamiento valor FOB para exportaciones ovinas hacia la Comunidad Europea de países no comunitarios.

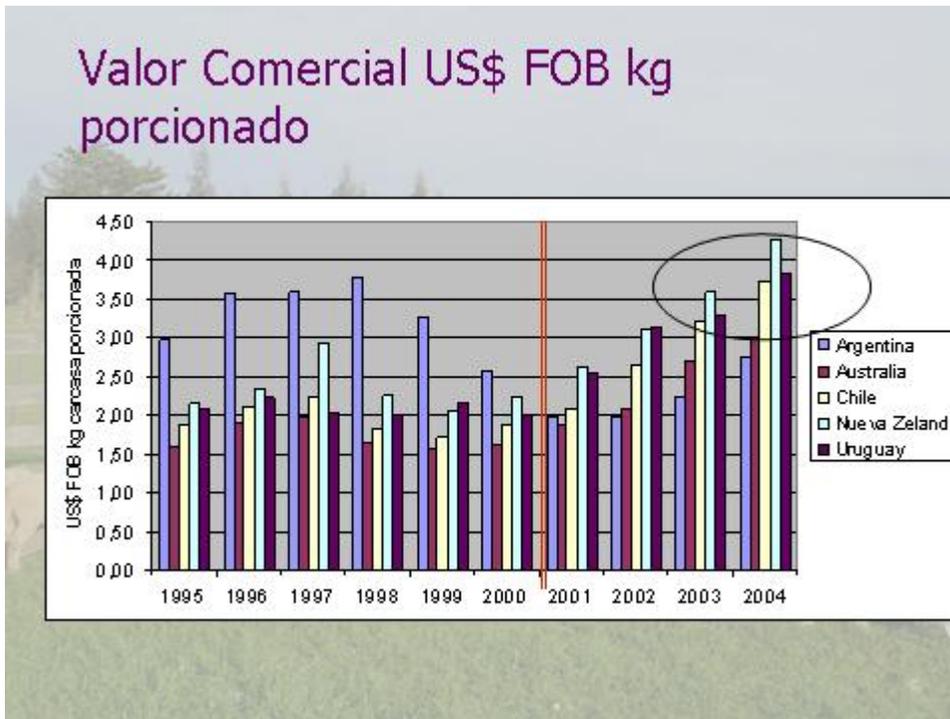
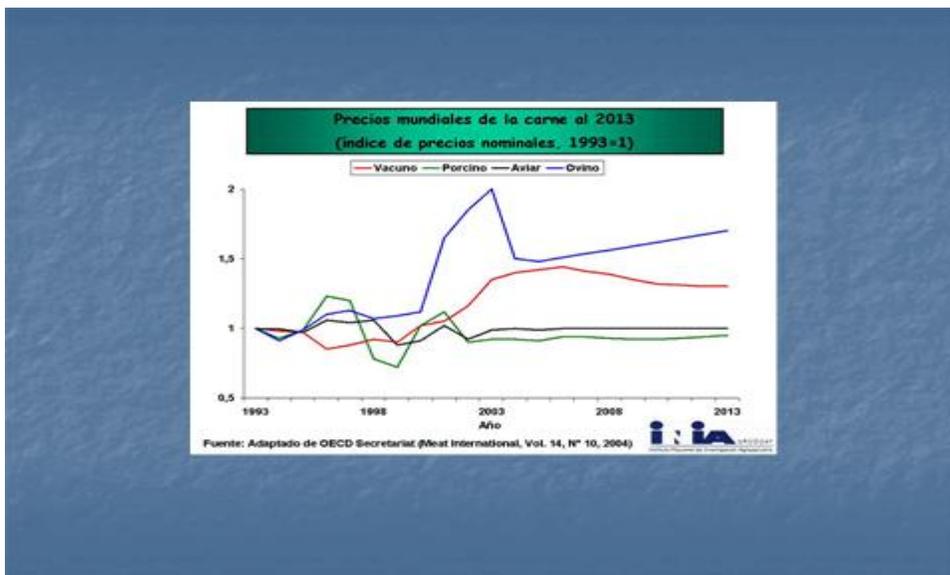


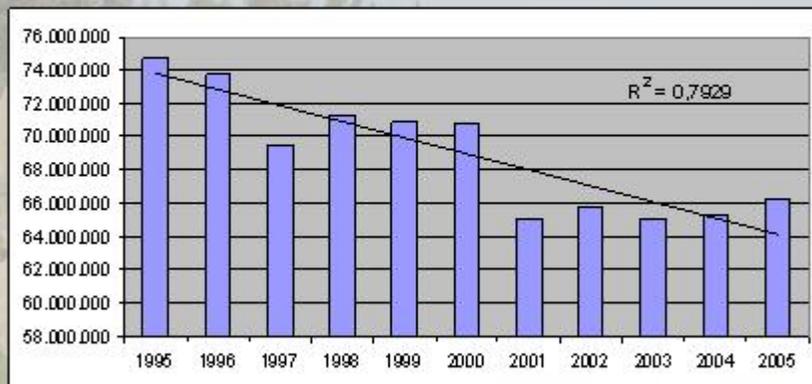
Figura 18. Estimación comportamiento valor de carnes en mercado de exportación.



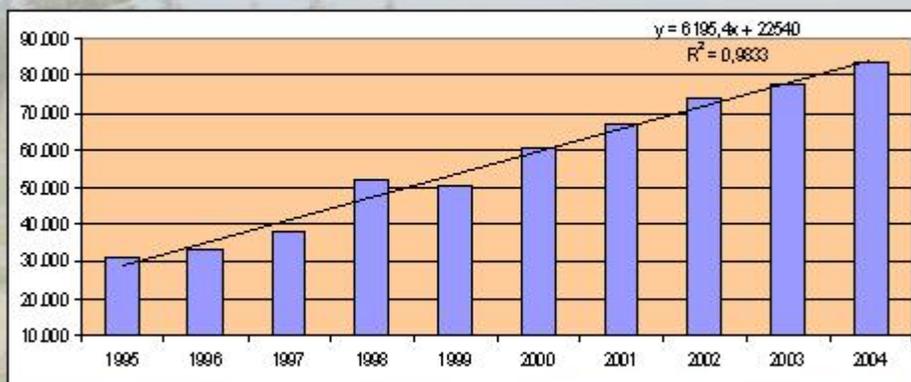
Figuras 19. Comportamientos de mercados ovinos de la Comunidad Europea y USA.



Faena de animales UE



Importaciones ovinas de Estados Unidos (ton carne/año)



↑
Mercado dinámico: Corderos de canales entre 26-32 kg.
Cordero de 6-10 meses con alimentación complementaria

iii. Pérdida de competitividad por efecto tasa cambiaria: La valorización del peso chileno frente a la moneda de exportación (dólar americano) ha disminuido competitividad del sector (Figuras 20 y 21)

Figura 20. Valor dólar observado 1995-2006

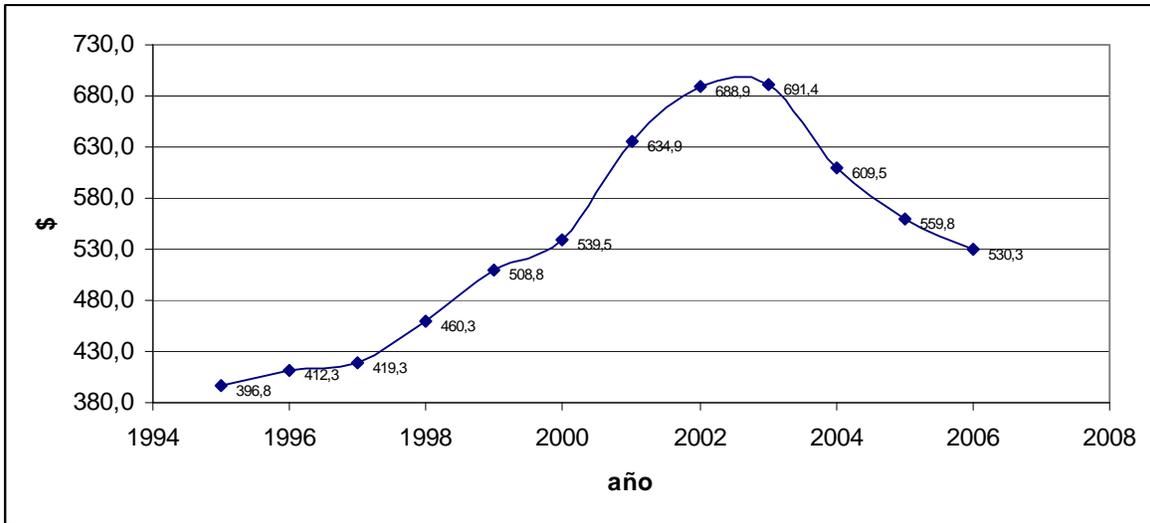
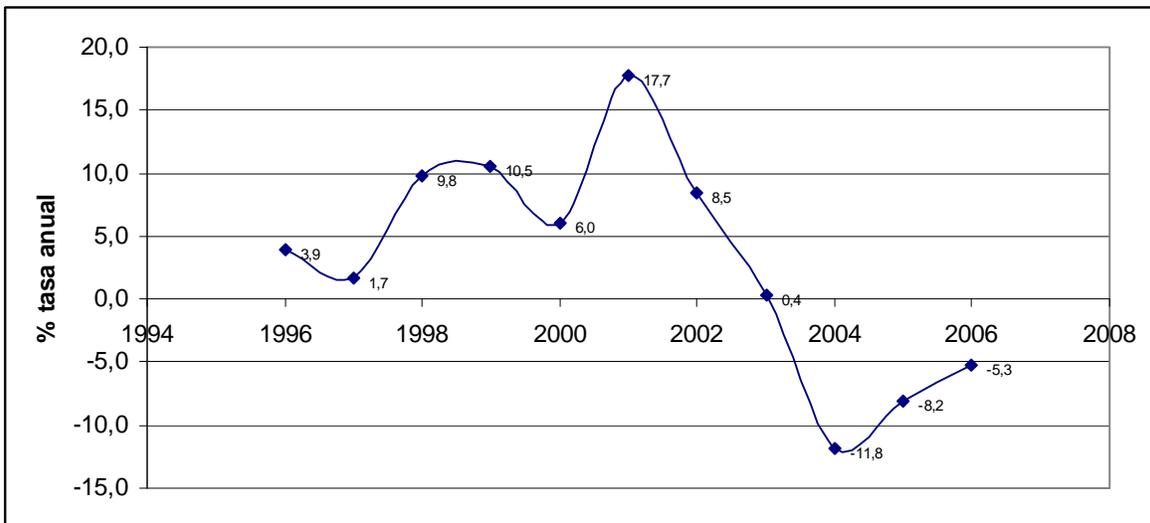


Figura 21. Comportamiento anual del tipo de cambio



4.5. Resultados económicos de la tecnología validada

La utilización de la alfalfa sembrada en cero labranza permitió manejar cargas instantáneas de 20-40 corderos destetados/ha, dependiendo del efecto año, siendo los valores normales de engordas en vegas entre 3-12 corderos/ha en el sistema tradicional. Los valores esperados son 400-500 kg de cordero vivo/ha con rendimientos de canal caliente de 45%.

Los ensayos con el uso de alfalfa generaron incrementos de peso vivo post destete de 10,3% en comparación a engordas de corderos en sistemas tradicionales de vega, con una carga instantánea superior de 7,5 veces por unidad de superficie (ha). Estadísticamente no hay diferencias de incremento de de peso por animal ($P>0,1$), pero si favorablemente a la producción por unidad de superficie ($P<0,01$) y a la mantención de kg de peso vivo de corderos ($P<0,01$), ambas variables favorables para el escenario con alfalfa

Los costos asociados por unidad de superficie se presentaron en el día de campo 2005, sistematizados en el material de difusión del informe final.

Cuadro 39. Costos por implementación de ha/cero labranza.

	\$	%
I. Elección sitio	4.500	3,1
II. Tratamiento Mata barrosa y negra	16.500	11,5
III. Sembradora Cero Labranza	12.500	8,7
IV. Semillas	52.500	36,6
IV. Fertilización inicial	22.500	15,7
V. Fertilización segunda temporada	22.500	15,7
VI. Segundo tratamiento mata	12.500	8,7
Total Implementación	143.500	100

Considerando una eficiencia de uso del 70% e incluyendo la amortización de la siembra y el costo de mantención de la fertilidad de la pradera, el costo por kg de MS de alfalfa a la boca es de \$25, equivalente a un 14% del valor comercial de pellet de alfalfa puesto en Punta Arenas, demostrándose el marcado impacto sobre los costos operacionales, al incorporar potreros con alfalfa con cero labranza.

Cuadro 40. Variables para sensibilización económica de tecnología validada

Años de no uso	3
Años vida útil	10
Producción promedio anual (kg Ms/ha)	3.000
% eficiencia de cosecha	70%
% de uso pastoreo	60%
% de uso en henilaje	40%
% eficiencia como suplemento	80%
Costo ha hasta utilización	143.500
Costo anual mantención fertilidad (año 3-10)	30.000
Amortización de siembra	14.350
Costos por ha/añual	44.350
Equivalente a kg avena	246
\$ kg MS/boca	25,0
Relación alfalfa/pellet de alfalfa	0,14

4.6. Número de publicaciones científicas y ranking de la revista. Al finalizar el proyecto y aceptarse los resultados, se presentarán dos publicaciones científicas ISI, una explicando la metodología y resultados de campo obtenidos y una segunda describiendo el uso de las herramientas computacionales. Además, se harán dos presentaciones a congresos, una al congreso mundial de producción animal 2008 y a la reunión anual de la Sociedad Chilena de Producción Animal.

4.7. Número de patentes generadas: El proyecto no generó nuevos productos, ya que la tecnología validada estaba en relación a procesos no patentables ni protegidos por marcas comerciales.

4.7 Antecedentes completos y detallados del número y tipo de usuarios que solicitó, solicita y solicitará los servicios y/o productos generados: En la actualidad aproximadamente 10.000 ha han sido sembradas en la región con la tecnología de la cero labranza, estimulándose la puesta en marcha de un PROFO de servicio agrícolas, que mayoritariamente ha realizado acciones en la Isla Tierra del Fuego desde el 2004.

5. Impactos del proyecto.

Resultados a la Fecha:

- i. 4 Unidades con 15 ha de alfalfa con cero labranza, sembradas en la primavera del 2003 (Ensayos de pastoreo)

- ii. Información preliminar de la dinámica de crecimiento de 5 variedades de alfalfa (*Medicago sativa*) en condiciones de las 3 zonas agroecológicas de la XII región.

- iii. Dos unidades para monitoreo de condiciones ambientales implementadas.

- iv. Equipo Great Plains® de cero labranza trabajando en la región

- v. Caracterización de la fertilidad del suelo en 4 unidades prediales

- vi. Implementación de ensayo de variedades de alfalfa en tres unidades utilizando 7 cultivares

- vii Algoritmo de cálculo para herramienta computacional de estimación de la producción primaria y secundaria de la pradera de alfalfa

- vii. Esquema del árbol de decisiones para evaluar la selección y modificación de sitios a regenerar con tecnología de cero labranza.

- viii. Algoritmos de cálculos de herramientas de gestión

- ix. Metodología para la regeneración de la pradera natural con alfalfa con sistema de cero labranza validada para tres zonas agroecológicas de la XII región.

Impactos

- i. Consolidación de canales de comunicación entre el equipo técnico y de apoyo en las unidades experimentales

- ii. Incrementos en el balance forrajero anual predial

- iii. Disminución de los costos operativos de alimentación complementaria para ovejas durante el encaste y gestación

- iv. Disminución del tiempo de engorda de corderos y/o aumentos en la carga instantánea de pastoreo de corderos

- v. Incremento en las expectativas en los resultados del proyecto por parte de futuros usuarios de la tecnología.

- vi. Incrementar los pesos de canales de corderos y/o disminuir el tiempo de engorda

- vii. Incorporar la alfalfa como recurso estratégico en la gestión alimenticia predial.

- viii. Mejorar el ambiente, en términos de producción primaria y secundaria de la pradera, para incorporar biotipos animales carniceros en forma masiva mediante cruzamiento terminal.

6. Conclusiones y Discusiones

Hipótesis general del proyecto: La implementación de un sistema de siembra directa (cero labranza) para alfalfa (*Medicago sativa*) permitiría disminuir los riesgos asociados con la emergencia e implantación de la plántula por competencia de humedad con el material vegetativo residente y con la pérdida de la misma por efecto del viento.

El uso de la tecnología de la cero labranza o siembra directa validó la hipótesis de trabajo basándose el éxito en la selección adecuada de sitios, tipo de maquina sembradora y ajuste de la misma en la siembra, análisis similar al realizado en southwestern Australia (Bee y Laslett, 2001) y Nueva Zelanda (Douglas y George, 1998 y Smetham *et al.*, 1995).

Derrick Moot (Anexo 7) señaló que para consolidar la hipótesis de trabajo se requiere disminuir la competencia de la vegetación residente mediante barbechos químicos, actividad que debe realizarse posterior a la selección de sitios para la siembra, recomendándose incorporar estudios físicos de suelos a los clásicos de fertilidad, los último deben incorporar microelementos y suma de bases.

Las líneas de I&D implementadas fueron:

- a) **Fertilidad de suelos:** Los resultados demostraron que en general los suelos no presentaron marcadas limitaciones nutricionales para el establecimiento y crecimiento de la alfalfa, a igual que el pH y nivel de saturación de aluminio, variables siempre observadas favorables para el cultivo de alfalfa. Futuras investigaciones requerirán incorporar estudios de la dinámica del nitrógeno generado por la actividad fijadora de nitrógeno de la alfalfa (Graham. y Vance, 2000), considerando tasa de mineralización e inmovilización, tanto del nitrógeno como el fósforo (Jarvis y Oenema, 2000).

b) Evaluación de germoplasma forrajero: Los resultados de la línea demostraron efectos bio-económicos positivos, tanto en categorías ovina, como en toda la cadena forrajera del sistema. La consolidación de resultados requiere incorporar una evaluación de variedades de alfalfa con dormancia invernal más marcada que los genotipos actualmente en uso, complementado con un estudio de grados termales requeridos para la emergencia y crecimiento activo de las distintas variedades de alfalfa, como mecanismo para incorporar variedades el crecimiento más temprano en primavera para uso de ovejas lactantes y más tardías para conservación y pastoreo directo de corderos destetados (Moot anexo 7 y Moot *et al*, 2000). Información que debe cruzarse con la tasa de evotranspiración de los cultivares por efecto del viento incidente (Sackville, 2001).

La complementación del uso de la alfalfa en las cadenas forrajeras implica estudiar la dinámica de las raíces, en términos de tamaño y fijación de nitrógeno, en función de la intensidad de pastoreo, incluyendo carga instantánea, tiempos de pastoreo y rotación, información que debe correlacionarse con el tipo de suelos y variedades utilizadas (Texeira *et al.*, 2007).

El uso directo de la alfalfa en alimentación de ovejas en lactancia con crías a pié demostró buenos resultados en la engorda de corderos, considerando la mayor eficiencia metabólica de transformación de la energía consumida en leche en comparación al incremento de peso vivo (NRC, 1993) y el efecto positivo en la producción de ácidos grasos volátiles en el rumen –abomaso de corderos (Wardrop y Coombe,1960)

La utilización en ovejas lactantes, primero busca aumentar la producción total de leche de la oveja durante su lactancia (Figuras 22 y 23), destacándose que las 2/3 de la leche total se produce en el primer mes de lactancia y disminuir las pérdidas de peso vivo como tejido movilizado, ya que al suministrar una ración con mayor tener energético (alfalfa) que la pradera natural, disminuye la movilización de tejido y los efectos entre leche producida por movilización de tejido corporal y consumo se equiparán (Figura 24), efecto relevante para la próxima temporada reproductiva, ya que una menor pérdida de peso permite mantener la condición corporal y la regulación hormonal para apoyar el proceso estral.

Figura 22. Efecto de la lactancia de ovejas con restricción y sin restricción de alimenticia (Treacher y Caja, 2002).

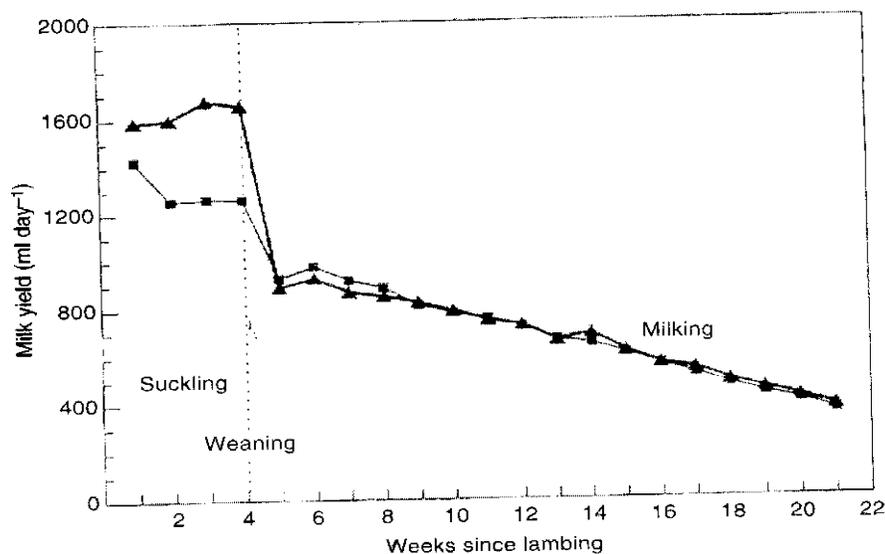


Fig. 10.2. Effects of extent of access by lambs to the ewe: ▲, unrestricted access; ■, access restricted to two 15 min periods per day, on the milk yield of Manchega ewes during suckling and subsequent machine milking (adapted from Gargouri *et al.*, 1993).

Figura 23. Comportamiento de la lactancia de ovejas

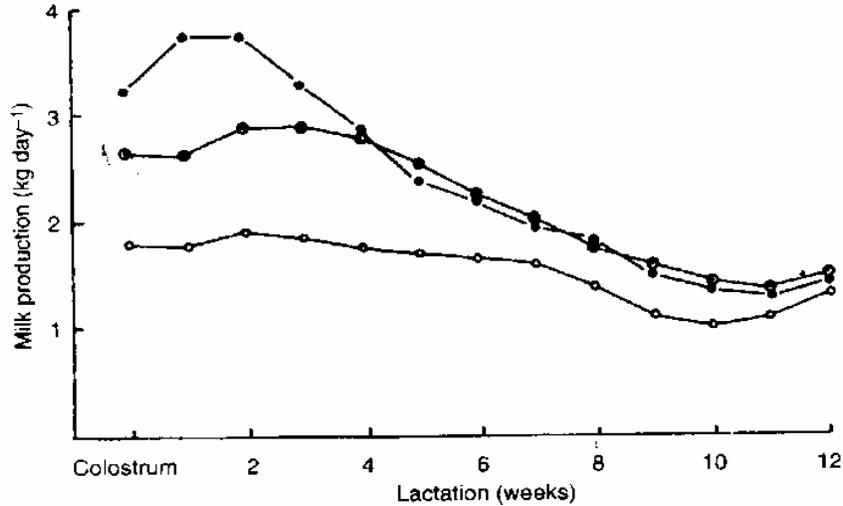


Fig. 10.1. Mean lactation curves of ewes: ●, triplet-suckled; ⊖, twin-suckled; ○, single-suckled (reproduced from Peart *et al.*, 1975, by courtesy of the editor and publishers, *Journal of Agricultural Science, Cambridge*).

Figura 24. Producción de leche de ovejas en función de la pérdida de peso vivo y plan energético alimenticio

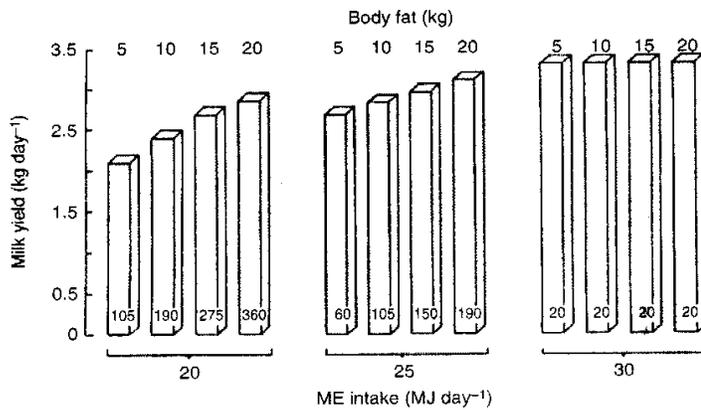
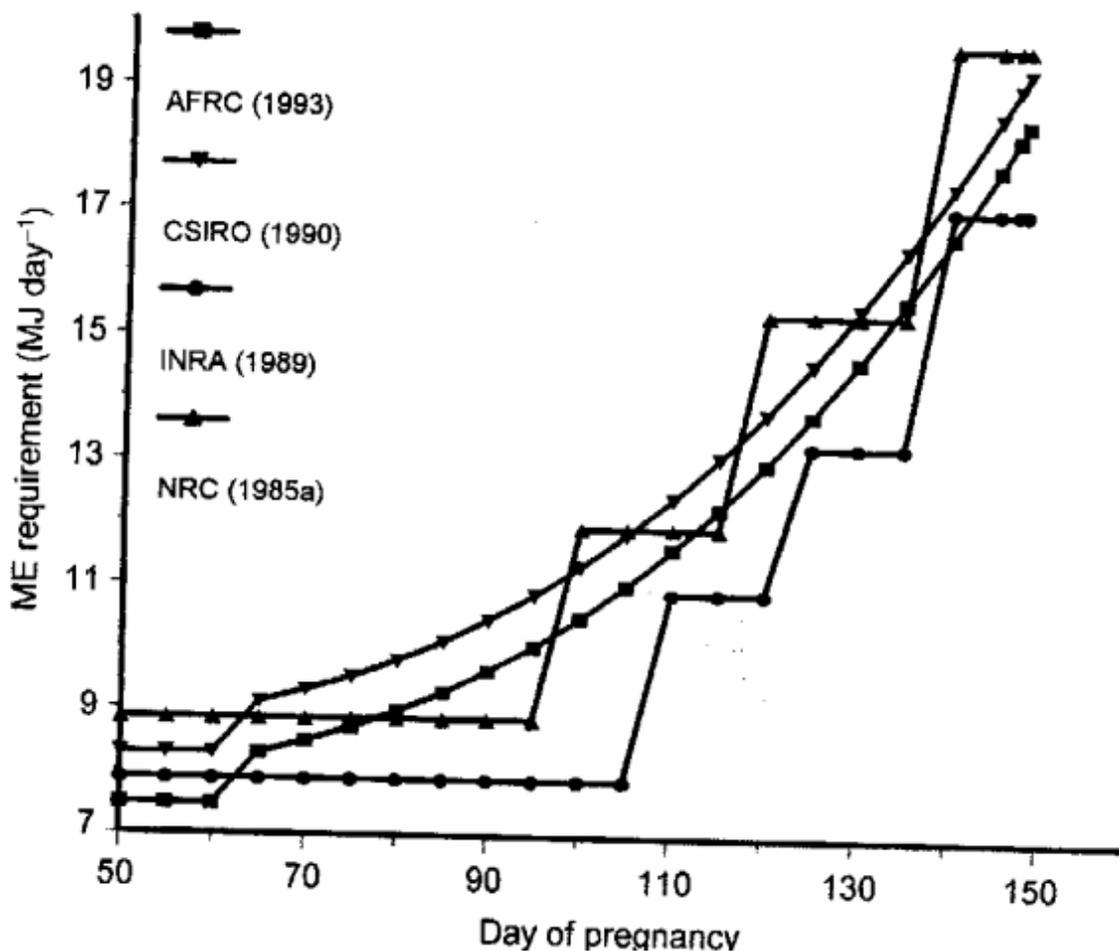


Fig. 10.5. The effect on milk production in twin-suckling ewes of 70 kg body weight of metabolizable energy (ME) intake (20, 25 or 30 MJ day⁻¹) and body fatness (5, 10, 15 or 20 kg of body fat equal to body-condition scores ranging from 1 to 3.5). The values in each histogram are the rates of fat loss (g day⁻¹) from the body. (Reproduced with permission from Robinson, 1990.)

El uso de alfalfa conservada en ovejas en gestación constituye una de las principales llaves de gestión prateense que entrega éste proyecto, al disminuir los costos operacionales de la suplementación invernal y disminuir el riesgo de mortalidad neonatal de corderos, basado en los mayores requerimientos nutricionales al finalizar la gestación (Figura 25) y al efecto positivo de entregar calidad proteica en ovejas gestantes (Figura 26)

Figura 25. Comportamiento de los requerimientos energéticos durante la gestación.



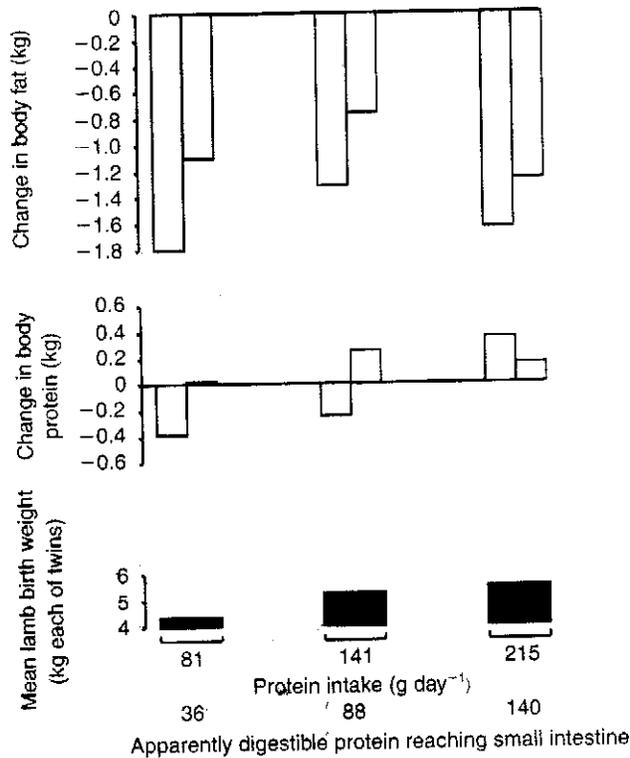
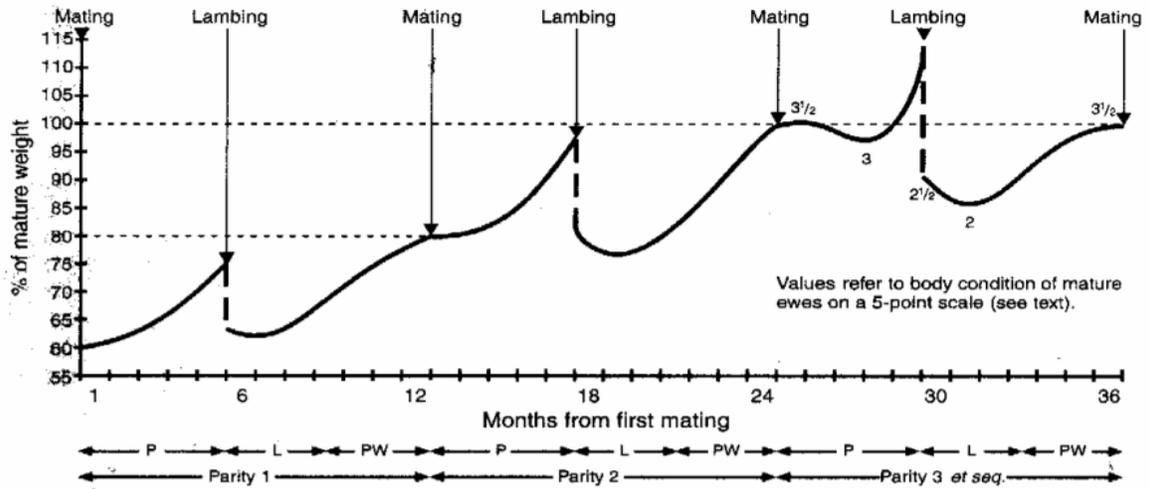


Fig. 9.3. Lamb birth weights and the changes between days 110 and 140 of gestation in the amounts of protein and fat in the carcasses (shaded columns) and maternal organs (open columns) of twin-bearing pregnant ewes (c. 62 kg) receiving different levels of dietary protein, and the SCA (1990) requirements for energy (based on data presented by McNeill *et al.*, 1997b).

Figura 26. Efecto de suministro de calidad proteica en ovejas gestantes

Además, la adecuada alimentación de las corderas de reemplazo permitirá aumentar la vida reproductiva del animal, siempre que se entreguen planos nutricionales que le permitan alcanzar el peso maduro a una edad fisiológica óptima (Figura 27).

Figura 27. Comportamiento de crecimiento de corderas de reemplazo.



Anexo 1. Línea Desarrollo del Modelo de Simulación Predial: Descripción genérica.

Los sistemas de producción de carne ovina se basan en el pastoreo extensivo de praderas con menores digestibilidades que las suministradas al ganado vacuno gracias a cualidades de adaptación superiores a las características agroecológicas existentes. Las estrategias desarrolladas para aumentar la producción de carne ovina han radicado principalmente en mejoramiento de praderas y aumento del potencial productivo mediante cruza con razas especializadas de producción de carne. Estos nuevos biotipos animales han determinado una diferenciación en planes de alimentación, generándose la necesidad de evaluar los efectos en la producción de carne considerando las relaciones genotipo – medio ambiente.

Se entiende por *modelo de simulación* a la representación de un objeto o sistema, utilizando la metodología de análisis de sistemas, de tal forma que permita conducir experimentos para entender el funcionamiento o evaluar estrategias de operación del sistema (Aguilar *et al.*, 2003). Estas herramientas tienen la característica de dar respuestas predictivas en función de los objetivos planteados y al entorno ambiental en el cual se desarrolla la simulación.

Las características de los modelos de simulación son:

1. Permite realizar una clara descripción de los sistemas agropecuarios, considerando componentes y relaciones funcionales entre ellos.
2. Permite experimentar con sistemas existentes, sin alterarlos o incurrir en los costos que esta situación demanda.
3. Permite experimentar con sistemas que aún no existen en la realidad.
4. Constituye una Herramienta de capacitación y entrenamiento de diferentes sistemas agropecuarios.

El desarrollo de un modelo de simulación implica una serie de pasos que se encuentran representados en la Figura 1.

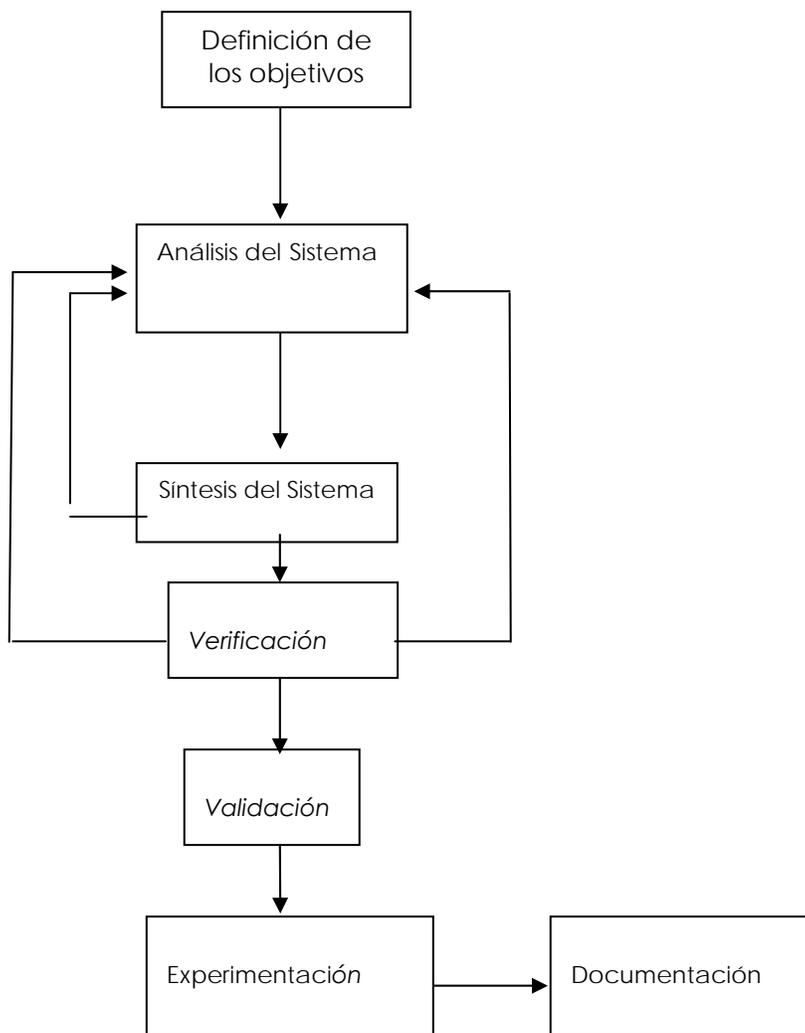


Figura 1. Etapas en la Elaboración de un Modelo de Simulación

Para el caso del modelo propuesto en el presente proyecto; los pasos en la elaboración se pueden resumir de la siguiente manera:

a) Definición de los Objetivos: El modelo de simulación para el sistema de producción de carne ovina en la región de Magallanes se genera por la necesidad de establecer y evaluar estrategias de manejo del componente suelo, estudiar la dinámica de los nutrientes en el suelo y su efecto sobre la producción primaria de forraje, evaluar planes de alimentación, y manejo. Estos componentes, van a tener un efecto directo sobre la rentabilidad del sistema. Por lo tanto el modelo debe constituirse en una herramienta de apoyo en la toma de decisiones del sistema.

Los límites del modelo de simulación propuesto son:

- El modelo será desarrollado considerando razas ovinas presentes en la zona en estudio.
- El consumo de materia seca se estimará bajo las características de un entorno agroecológico de pasturas templadas.
- Se desarrollarán módulos para las diferentes categorías existentes en el sistema de producción de carne ovina.

La fidelidad de los resultados del modelo en relación al sistema real está estrechamente relacionada con la calidad de los datos de entrada del modelo. Para un manejo más práctico, el modelo incluirá una base de datos con tasas de crecimiento y digestibilidad mensual para cada tipo de pradera presente en los potreros. La exactitud de la predicción de un modelo de simulación se encuentra dentro del rango definido por los objetivos planteados en el modelo, de esta manera, la aplicabilidad de un modelo debe ser solo para aquellos aspectos para los cuales fue construido.

Se considerará la ganancia de peso, disponibilidad final de forraje de la pradera, producción primaria de la pradera y peso final dentro de un período de tiempo de simulación, como las medidas de efectividad en la evaluación del modelo.

b) Análisis del Sistema: Esta etapa considera identificar y comprender las diferentes partes del sistema real y sus relaciones funcionales. Las variables son los elementos esenciales de un modelo matemático y para el caso del modelo propuesto se clasifican de la siguiente manera:

Variables exógenas: Son aquellas que son independientes del sistema, son los datos de entrada del sistema. Se ha considerado las siguientes variables exógenas.

- Peso vivo inicial (kg peso vivo)
- Tiempo de simulación (días)
- Carga Animal
- Número de potreros
- Temperatura ambiental (°C)
- Velocidad del viento
- Tipo de pastura
- Disponibilidad de Materia seca de la pastura (kg ha⁻¹)
- Digestibilidad de la materia seca de la pastura (%)
- Tasa de crecimiento diaria de la pastura (kg MS ha⁻¹)
- Suplementación energética (kg y Mcal kg MS⁻¹)

Estas variables son externas al sistema y se dividen en controlables y no controlables. El listado de variables señalado corresponde a controlables y son variables de decisión, en cambio las no controlables corresponden a parámetros:

- Tasa metabólica por unidad de peso metabólico
- Energía neta para ganancia de peso
- Tasa de depósito de proteína
- Energía bruta de la pradera

Variables endógenas: Son las variables de salida del sistema y son generadas gracias a la utilización de variables de entrada y parámetros en la secuencia del algoritmo de cálculo. Entre las variables de salida se deben mencionar a:

- Ganancia de peso diaria (kg día^{-1})
- Peso final después del período de simulación (kg PV)
- Disponibilidad final de la pradera (kg MS día^{-1})

c) Síntesis del Modelo: Sobre la base de los componentes relevantes del sistema productivos se diseñaron algoritmos lógicos. Estos muestran las relaciones e interacciones entre las variables y los componentes del sistema. Para establecer las relaciones entre las variables y los componentes del sistema se recurrió a la literatura y trabajos de investigación vinculados con el tema. El grado de abstracción del modelo con la realidad, depende de la relevancia del uso de las variables, el margen válido de los supuestos y la correcta formulación tanto lógica como matemática de los procedimientos usados para la obtención de las diferentes salidas del modelo. En la figura 2 se describe en forma general el funcionamiento del sistema.

La información requerida por el modelo se manejará a través del módulo principal con la información referente a los datos de entrada del modelo, la cual está relacionada con la fase ó período que se desea simular (encaste, gestación y lactación), carga animal, disponibilidad de MS inicial, uso de suplemento

alimenticios, y con el tipo de pradera a utilizar. Internamente el modelo utiliza la base de datos de praderas (tasa de crecimiento y digestibilidad) y de suplementos (cantidad y concentración calórica).

A modo de ejemplo se presenta la información adicional necesaria para módulos del programa que se esta desarrollando:

- El módulo datos encaste requiere peso vivo inicial, edad promedio, cantidad de suplemento, concentración calórica del suplemento, mes inicio encaste, período de duración del encaste.
- El módulo datos gestación requiere peso vivo inicial, edad promedio, mes inicio gestación, tercio de gestación a suplementar, cantidad y concentración calórica del suplemento.
- El módulo datos lactación requiere peso vivo inicial, edad promedio, mes inicio lactación, potencial de producción de leche y días de lactación, y tercio de lactación a suplementar, cantidad y concentración calórica del suplemento.

Restricciones del modelo: La fidelidad de los resultados del modelo, en relación al sistema real, está estrechamente relacionada con la calidad de los datos de entrada del modelo. La estructura de manejo de información del modelo ha considerado la definición y elaboración de una base de datos con tasas de crecimiento y digestibilidad mensual para cada tipo de pradera, así también se tienen datos característicos (promedios) de inicio de simulación en los formularios de encaste, gestación y lactación. Estos datos pueden modificarse de acuerdo a las conveniencias del usuario.

La exactitud de la predicción de un modelo de simulación se encuentra dentro del rango definido por los objetivos planteados en el modelo, de esta manera, la aplicabilidad de un modelo debe ser solo para aquellos aspectos para los cuales fue construido.

En el modelo, los factores físicos más importantes y que se pueden sensibilizar son:

- Tasas de crecimiento y digestibilidad de las praderas, lo que permite simular períodos normales, buenos y malos.
- Producción potencial de leche por lactancia, facilitando incluir en la simulación de animales con alto, mediano y bajo potencial genético al predio.
- Cantidad y calidad de suplemento a suministrar según el período en que se encuentran los animales (encaste, gestación y lactación), mediante el cual se puede simular la intensificación en el sistema de producción y su repercusión sobre los parámetros productivos y reproductivos del predio.

Estructura del modelo

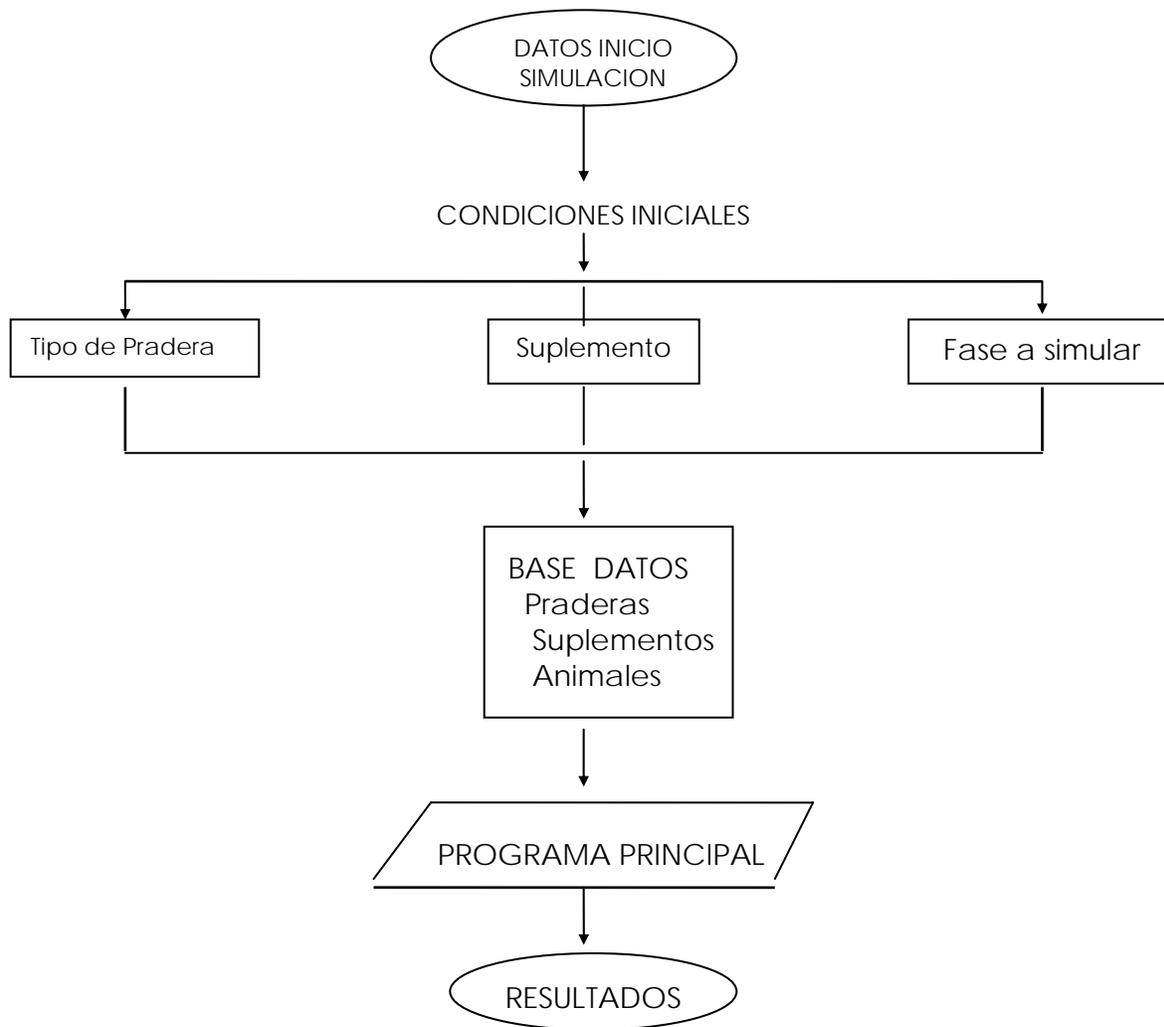


Figura 2. Diagrama de flujo del modelo de simulación.

Anexo 2. Parámetros para análisis de fertilidad de suelos.

Parámetros análisis de suelo	
pH al agua	Característica
<4,5	Extremadamente ácido
4,6-5,0	Muy Fuertemente ácido
5,1-5,5	Fuertemente ácido
5,6-6,0	Moderadamente ácido
6,1-6,5	Débilmente ácido
Fósforo Olsen (mg/kg)	Característica
<5,0	Muy bajo
5,1-10	Bajo
10,1-20	Medio
20,1-30	Alto
>30	Muy alto
Calcio Intercambiable (cmol/kg)	Característica
<2	Muy bajo
2,0-5,0	Bajo
5,01-9,0	Medio
9,01-15,0	Alto
>15	Muy alto
Magnesio Intercambiable (cmol/kg)	Característica
<0,25	Muy bajo
0,251-0,50	Bajo
0,501-1,0	Medio
1,01-2,0	Alto
>2,0	Muy alto
Potasio Intercambiable (cmol/kg)	Característica
<0,12	Muy bajo
0,13-0,25	Bajo
0,26-0,50	Medio
0,51-0,65	Alto
>0,65	Muy alto
Sodio Intercambiable (cmol/kg)	Característica
<0,15	Muy bajo
0,16-0,20	Bajo
0,21-0,30	Medio
0,31-0,40	Alto
>0,40	Muy alto

Suma de bases intercambiable (cmol/kg)	Característica
<3,0	Muy bajo
3,1-6,0	Bajo
6,1-11,0	Medio
11,1-15,0	Alto
>15	Muy alto
Proporciones	Característica
0,6-0,8	Calcio
0,1-0,2	Magnesio
0,02-0,6	Potasio
<0,02	Sodio
Aluminio intercambiable (cmol/kg)	Característica
<0,10	Muy bajo
0,1-0,25	Bajo
0,26-0,50	Medio
0,51-0,80	Alto
>0,80	Muy alto
Saturación de aluminio (%)	Característica
<1,10	Muy bajo
1,10-3,1	Bajo
3,11-6,1	Medio
6,11-12,1	Alto
>12,1	Muy alto

Anexo 3. Registro de precipitaciones en estación climática Cerro Guido para el año 2007.

mes	día	pp (mm/día)
enero	6	1
enero	13	0.5
enero	24	0.5
febrero	5	3
febrero	9	4
febrero	17	2
marzo	2	34
marzo	4	25
marzo	9	12
marzo	10	4
marzo	11	2.0
marzo	14	4
marzo	17	5
marzo	18	7
marzo	19	6
marzo	24	3
abril	3	26
abril	4	9
abril	11	2.0
abril	22	7
abril	28	1.5
mayo	5	1
mayo	16	3
mayo	23	1
junio	8	1
junio	15	2
junio	30	1
agosto	19	9
septiembre	6	6
septiembre	17	12
septiembre	18	9
septiembre	21	8
septiembre	26	1
octubre	10	5.5
octubre	13	0.1
octubre	25	1
octubre	31	8

Anexo 4. Algoritmo de cálculo modelo Ovejas.

Estimación del consumo de materia seca: Tiene por finalidad predecir el consumo de forraje y suplemento en condiciones pastoreo. En el modelo se consideran los principales factores que influyen o son responsables del consumo (figura 1). El Consumo potencial (*CPO*), controlado por las características del animal, por la máxima capacidad del consumo del animal, se expresa solo cuando las características de la dieta no lo limitan. Para estimar el *CPO* se utiliza el peso vivo y el estado fisiológico. El peso del animal esta relacionado con el tamaño del animal (función de la raza), en el modelo se considera un peso promedio de 55 kg que representa un animal con buena condición corporal.

$$CPO = (0,89 * PV^{0.75}) / 1000 \quad (1)$$

Donde:

CPO = Consumo potencial (kg MS día⁻¹)

PV = Peso vivo (kg)

- **Cálculo del consumo para ovejas lactantes (período de lactancia):** Las ovejas lactando consumen en promedio 26 a 30% más que las ovejas secas. con su máximo entre la cuarta y quinta semana post-parto (Figura 2). El incremento progresivo durante la lactancia puede alcanzar como máximo, valores de 70% más altos que los registrados en gestación avanzada, los valores mas altos se han encontrado en ovejas amamantando mellizos y trillizos.

Las ovejas en lactancia incrementan el tiempo dedicado al pastoreo respecto a las ovejas secas (25 a 45%) (Treacher, 1979, citado por Silva,1983), lo que indica un incremento en el consumo.

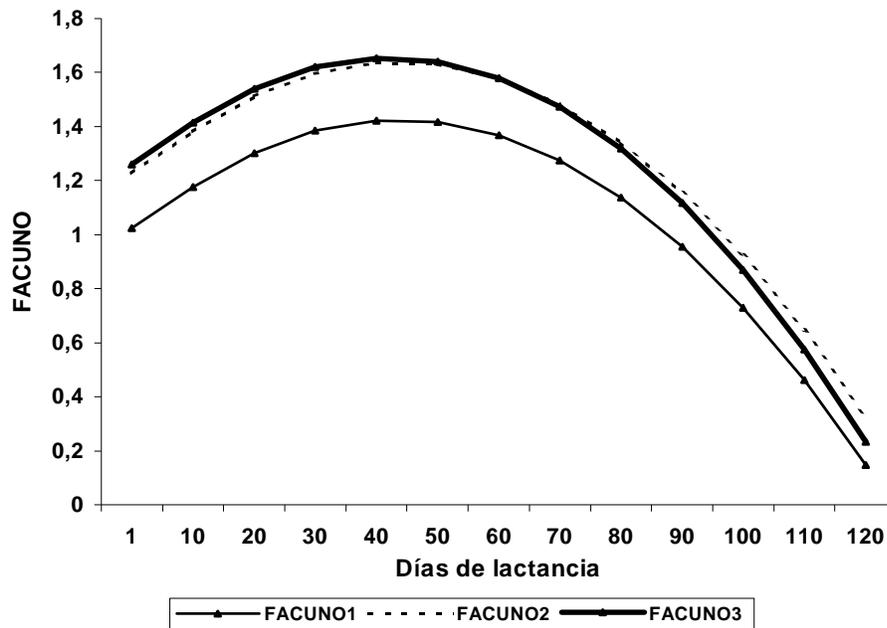


Figura 2. Factor de Corrección del consumo potencial por efecto de la lactancia en ovejas amamantando únicos, mellizos y trillizos.

El presente modelo utiliza un factor de consumo potencial que intenta representar el patrón de variación del consumo a través de la lactancia. A continuación se detallan las funciones utilizadas para ovejas que lactan únicos, mellizos y trillizos

Únicos

$$FACUNO1 = (1,0059 + 0,01921 * d) - (0,00021967 * d^2) \quad (2)$$

Mellizos

$$FACUNO2 = (1,2093 + 0,019667 * d) - (0,0002253 * d^2) \quad (3)$$

Trillizos

$$FACUNO3 = (1,24 + 0,0197 * d) - (0,000234 * d^2) \quad (4)$$

Donde:

FACUNO: Factor de Corrección del Consumo Potencial por efecto de la lactancia.

d^2 : Día de lactancia

Estas ecuaciones son validas hasta los 90 días post parto. Del día 91 en adelante el FACUNO = 0

- **Estimación del consumo voluntario (CVO):** Esta regulado por aquellas características del animal y de la dieta que imponen restricciones al consumo. La característica de la pradera más utilizada para predecir el CVO es la disponibilidad de MS ha^{-1} , separada por sus componentes material verde y muerto, gramíneas y leguminosas y de cada una de ellas la digestibilidad (Treacher y Cajas, 2000).

Existe una relación asintótica entre el CVO y la disponibilidad (DD) de MS/Ha. Esto se debe a que el ovino reduce su tamaño de bocado a medida que la disponibilidad de forraje es menor o cuando es obligado a pastorear mas cerca del suelo y además dedicar un limitado período del día a pastorear.

Se utilizó la siguiente ecuación para corregir el consumo voluntario por disponibilidad instantánea (DD).

$$FDISP = 1 - e^{(-0.0029 * DD)} \quad (5)$$

El coeficiente - 0,0029 se utiliza para praderas naturales, y -0,0024 para praderas mejoradas, como es el caso de la alfalfa.

La digestibilidad del material ingerido afecta el CVO de animales en pastoreo, ya que si la digestibilidad de lo consumido (DGC) es más alta que el material ofrecido (DGO), se incrementa el consumo. La selección

del alimento es un proceso complejo y seguramente está determinado por respuestas sensoriales (olfato, sabor, color, etc.) a estímulos desde la planta que pueden ser modificados por la experiencia de pastoreo (Allende *et al.*, 2003).

El ovino selecciona el tapiz, las hojas frente al tallo, el material vivo con relación al muerto, menos fibra, etc., obteniendo una dieta con mayor digestibilidad que el promedio del tapiz. Para el presente modelo se usó la siguiente función.

$$DGC = DGO * ISE \quad (6)$$

ISE es el índice de selección que depende de la diversidad del tapiz y su disponibilidad para el animal. Se asume que si no hay diversidad no es posible la selección, y si la DD es tal, que el animal debe consumir gran parte de lo ofrecido, no es posible que seleccione con mayor digestibilidad, aun existiendo diversidad ($ISE = 1$ y $DGC = DGO$).

Se asume en el modelo que para una $DGO = 80\%$ la diversidad es mínima y el animal no es capaz de seleccionar una digestibilidad mayor, aunque la disponibilidad no sea limitante. Y al contrario a medida que desciende la digestibilidad de la pradera, aumenta la diversidad, expresándose al máximo la selectibilidad cuando la $DGO = 40\%$.

La corrección de la selectividad por digestibilidad se calcula de la siguiente manera

$$SDIG = 0,5 - 0,625 * DGO \quad (7)$$

$SDIG = 0$ cuando $DGO > 0,8$ (80%)

Donde:

$SDIG$: Factor de Corrección de la selectividad por efecto de la digestibilidad de la pradera

DGO : Digestibilidad ofrecida de la pradera (0-1)

La disponibilidad afecta a través de la proporción del tapiz que es consumida día tras día. Al considerar la disponibilidad por unidad de superficie el número de animales que pastorean por hectárea (carga) tiene relación con la proporción del tapiz que es consumida. Para cuantificar el efecto de la disponibilidad del forraje por hectárea sobre la selectividad, hay que relacionarla con el consumo y carga. Para ello se calcula el porcentaje de utilización (PU) por día.

$$PU = (CPO * FDISP * carga) / DD \quad (8)$$

Se asume que la selectividad es máxima cuando $PU < 0,1$ (10%) y que no es posible seleccionar con mayor digestibilidad cuando $PU > 0,5$ (50%), por lo que la ecuación se ajusta como

$$SDISP = 1,25 - 2,5 * PU \quad (9)$$

$$0,1 < PU < 0,5$$

$$SDISP = 1 \text{ si } PU < 0,1$$

$$SDISP = 0 \text{ si } PU > 0,5$$

Por lo que la función de **ISE** se calcula como

$$ISE = 1 + SDIG * SDISP \quad (10)$$

La anterior formula indica que cuando no hay heterogeneidad ($SDIG = 0$) el $ISE = 1$, no existiendo selectibilidad por digestibilidad. Lo cual no implica que el animal no pueda seguir seleccionando por otras características de su preferencia que no se consideran en el modelo.

A partir del índice de selección se estima la digestibilidad consumida promedio por animal, considerando la capacidad de seleccionar componentes más digestibles del tapiz vegetal por el animal.

$$DGC = DGO * ISE \quad (11)$$

Donde:

DGC: Digestibilidad Consumida

En el modelo se usa una función que permite corregir el consumo por digestibilidad

$$FDIG = 1,675 * DGC - 0,34 \quad (12)$$

$FDIG = 1$ cuando DGC es $\geq 80\%$, es decir si la disponibilidad de forraje no es limitante, las ovejas pueden consumir su potencial, si $DGC = 40\%$, solo consumirán el 30% de su capacidad potencial.

El **CVO** se calcula como

$$CVO = CPO * FDISP * FDIG \quad (13)$$

Una vez realizado el cálculo del consumo voluntario en términos de MS, éste puede ser fraccionado para conocer el aporte de nutrientes, en el modelo sólo se toma en cuenta el aporte de energía proveniente de la pradera y del suplemento (figura 3). En el componente energía del modelo se estiman los requerimientos mantención y los de producción de las ovejas utilizando el sistema de energía metabolizable (EM).

La relación entre consumo de forraje y suplemento en animales al pastoreo, muestra que a disponibilidades de forraje que no limitan el consumo, inevitablemente se produce sustitución de MS del concentrado, de manera que el efecto esperado de la suplementación no es totalmente aditivo. Lo indicado anteriormente expresa un efecto mejorador neto en el consumo total de MS, esto ocurre siempre cuando se mantengan los niveles adecuados que permitan mantener un pH ruminal apropiado para el desarrollo de la flora celulolítica, la misma que es necesaria para el aprovechamiento de la fibra del alimento. Se debe mantener la relación forraje concentrado a niveles óptimos. Niveles elevados de concentrado producen efectos detrimentales sobre el consumo total de materia seca, podría en casos extremos producir una parálisis ruminal, debido al brusco descenso del pH ruminal.

El grado de sustitución es aparentemente proporcional a la digestibilidad del forraje.

$$CF = 1,27 - 0,0154 * (DGO*100) \quad (14)$$

Donde:

CF : Efecto aditivo neto del consumo de MS por Kg. de concentrado consumido

DGO : Digestibilidad del forraje ofrecido %.

Por tanto el consumo de forraje con disponibilidad de forraje limitante. Para efectos del modelo se considera disponibilidad limitante cuando $FDISP$ es menor que 0,984. En este caso se tiene que:

$$DI = CPO - CVR \quad (15)$$

Donde:

DI = Efecto complementario del concentrado

CVR = Consumo voluntario real

Se distinguen dos casos cuando la disponibilidad de MS es limitante:

$SUPLAC$ = kg de MS de concentrado suministrado por día

✓ Si $DI < SUPLAC$ se tienen las siguientes relaciones:

$$ES = (SUPLAC - DI) * (1 - CF) \quad (16)$$

$$EA = (SUPLAC - DI) * CF \quad (17)$$

$$CONSFO = CVR - ES \quad (18)$$

$$CONMST = CVR + DI + EA \quad (19)$$

Donde:

ES = Efecto sustitutivo del concentrado

EA = Efecto aditivo del concentrado

$CONSFO$ = Consumo real de MS del forraje (kg día⁻¹)

$CONMST$ = Consumo total de MS (kg día⁻¹)

✓ Si $DI \geq SUPLAC$ las relaciones serán las siguientes:

$$EA = ES = 0 \quad (20)$$

$$CONSFO = CVR \quad (21)$$

$$CONMST = CVR + SUPLAC \quad (22)$$

$$DI = SUPLAC \quad (23)$$

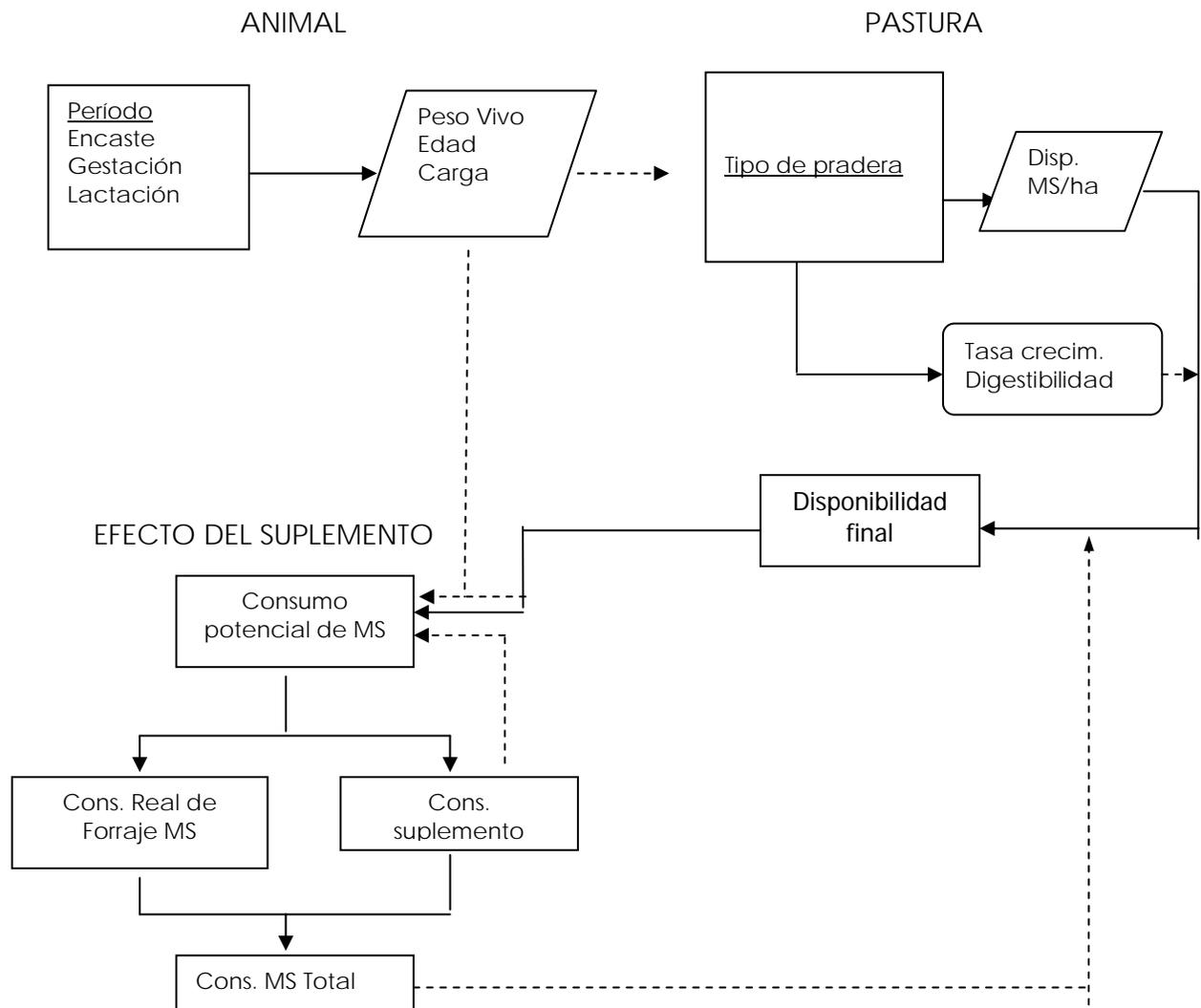


Figura 3. Interrelaciones entre el consumo de materia seca, proveniente de la pastura con la materia seca proveniente del suplemento.

Consumo con disponibilidad ilimitada. Se considera que la disponibilidad es no limitante cuando ***FDISP*** es mayor de 0,984. En este caso las relaciones que describen el proceso son las siguientes:

$$DI = 0 \quad (24)$$

$$EA = SUPLAC + FDISP \quad (25)$$

$$ES = SUPLAC * (1 - FDISP) \quad (26)$$

$$CVR = CPO \quad (27)$$

$$CONFO = CPO - ES \quad (28)$$

$$CONMST = CPO + EA \quad (29)$$

Por lo que el consumo de materia seca total aumenta en proporciones cada vez menores en la medida en que se tenga digestibilidades crecientes de la pastura.

- **Estimación del consumo de energía metabólica:** El cálculo del consumo de ***EM*** (Mcal/kg) se realizó de la siguiente manera:

$$EM = 4,4 * DGC * 0,81 \quad (30)$$

$$CEM = CVR * EMT \quad (31)$$

Donde:

EM: Concentración calórica de la pradera (Mcal kg MS⁻¹)

CEM: Consumo de energía metabolizable aportada por pradera (Mcal día⁻¹)

La energía metabólica total se estimó de la siguiente manera:

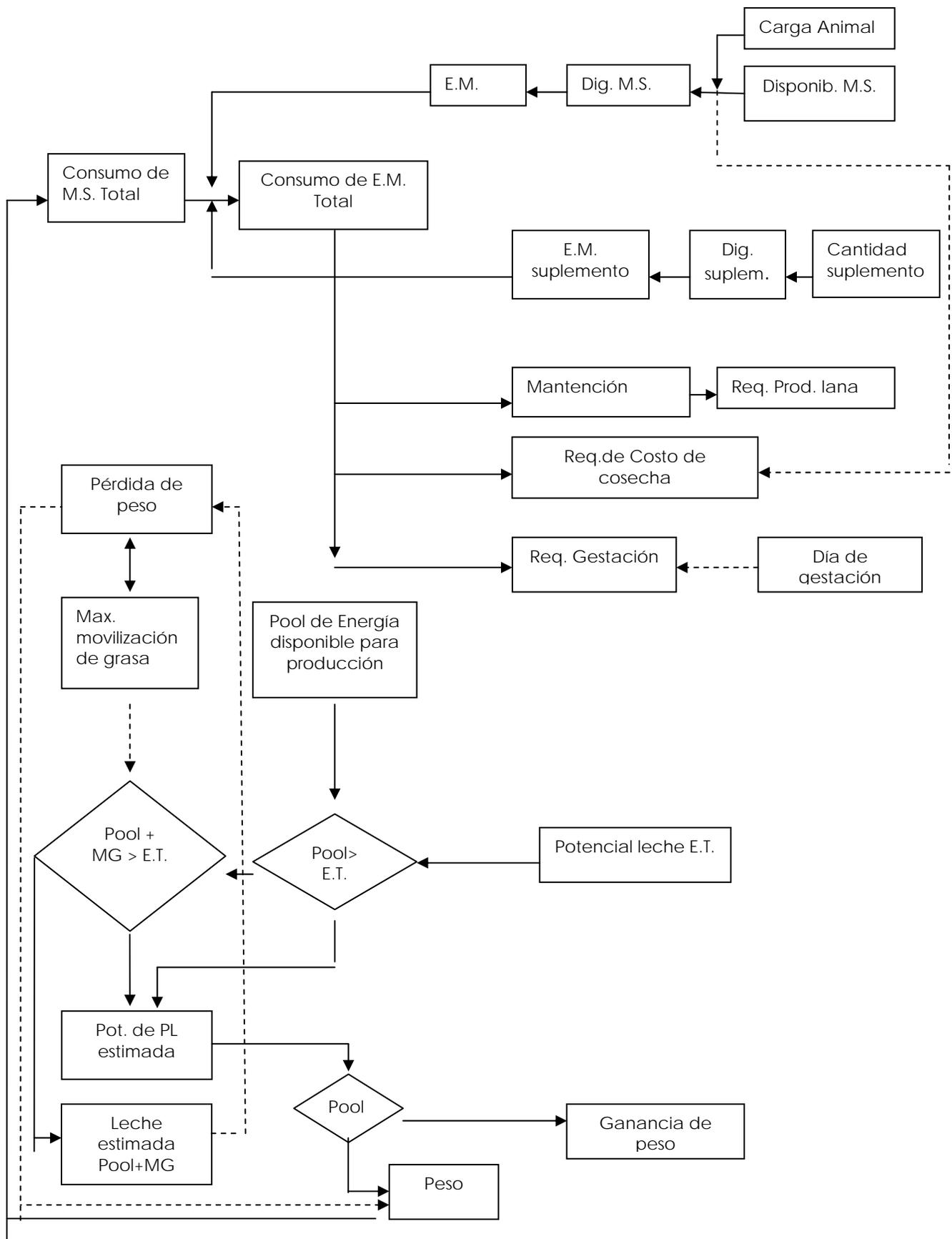
$$EMT = ((CONSFO * EM) + (SUPL * CONCALSUP)) / CONSMST \quad (32)$$

Donde:

CONCALSUP = Concentración calórica del suplemento Mcal kg MS⁻¹

CONSMST = Consumo de Materia Seca Total en kg día animal⁻¹

$$CEMT = CONMST * EMT \quad (33)$$



La utilización de la energía consumida por las ovejas en sistema semi extensivo se realiza a través de los siguientes procesos fisiológicos; regulación térmica, mantenimiento de las funciones vitales, costo de cosecha, encaste, gestación, lactación y ganancia de peso.

- **Estimación del balance energético:** Para el cálculo del balance energético es necesario establecer prioridades en la utilización de la energía. El animal para permanecer con vida necesita regular su temperatura corporal, mantener sus funciones vitales, reponer el gasto de energía al momento de realizar el pastoreo. No es posible definir claramente una prioridad entre estos tres procesos, pero puede considerarse que ellos en conjunto son prioritarios sobre los otros

El encaste, gestación y lactancia tienen también prioridad sobre el cambio de peso. Es decir que cuando el animal está en un balance energético negativo moviliza reservas desde sus tejidos pierde peso y satisface sus requerimientos. Si el balance energético es positivo, el animal está en condición de ganar peso o de utilizarlo para desarrollar otras funciones.

- **Regulación térmica:** Adecuadas condiciones climáticas y un buen ambiente son aspectos importantes en la producción de leche de ovejas. La eficiencia en la producción de leche se ve reducida cuando la energía obtenida de los alimentos debe ser utilizada para la mantención de la temperatura corporal. La lana juega un rol importante en la mantención de la temperatura corporal. La capacidad de la lana para aislar adecuadamente será función de su estructura, condiciones medio ambientales, velocidad del viento, si la lana está mojada y otras. Dependiendo del largo y estructura de la lana, las ovejas en distintas etapas fisiológicas, toleran temperaturas de -3 °C hasta 31 °C. En el cuadro 1 se detallan algunos datos de temperaturas y humedad relativa óptimas para diferentes categorías de ovejas.

Cuadro 1. Temperatura y humedad óptimas para diferentes categorías de ovejas.

CATEGORÍA DE OVEJA	TEMPERATURA OPTIMA °C	HUMEDAD RELATIVA OPTIMA (%)
Cordero	10-17	60-80
Carnero, oveja, cordero engorda	8-17	60-80

- **Estimación del requerimiento de mantención:** La energía necesaria para cubrir o mantener las funciones vitales se calcula a través de:

$$EMm = ENm + Icm \quad (34)$$

Donde:

Icm = Incremento calórico de mantención

ENm = Energía neta de mantención

La utilización del alimento consumido, para poder mantener al animal, implica todo un proceso de transformación energética, que tiene asociado cierto costo. Dicho costo está relacionado con el Incremento Calórico de mantención, que incluye la pérdida de energía que se libera como calor, asociada a los procesos de digestión, absorción y asimilación del alimento.

La *EM* que el alimento debe proveer, para satisfacer el requerimiento energético de mantención se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$EMm = ENm / KM \quad (35)$$

Los alimentos que aportan las calorías para cubrir las necesidades energéticas son de variado origen, resultando en diferentes procesos metabólicos que influyen en el valor de *KM*. La proporción de *EB* del alimento que es metabolizado, expresada en relación *EM/EB*, denominada

(densidad calórica), tiene efecto sobre el *KM*. En el modelo se cuantifica el *KM* mediante la siguiente fórmula.

$$KM = 0,35 * QM + 0,503 \quad (36)$$

La medida convencional del efecto del tamaño metabólico en la producción de calor es el metabolismo de ayuno, el que por definición elimina el efecto del *IC* por consumo de alimento. Se ha determinado que la tasa metabólica de ayuno para los ovinos está en un rango de 55-60 kcal /kg^{0,75} por día, al mismo tiempo se sabe que la tasa metabólica se modifica con la edad, siendo los valores mas altos en animales jóvenes y decae con el aumento de edad.

Para el cálculo del requerimiento del metabolismo de ayuno de las ovejas se ajusta por edad con la siguiente función:

$$M1 = 58,433 * (Edad^{-0,09599}) \quad (37)$$

Donde:

M1 = Tasa metabólica en kcal EN/kg de peso metabólico

Edad = Edad (años)

El costo de cosecha (*CC*), tiene al menos dos componentes. Uno es el gasto de energía que tienen los animales al caminar, el cual es mayor cuando la *DD* de forraje es baja. El otro, un efecto de estrés que se produce a los animales debido a la falta de *DD* de forraje. En el modelo se considera que las crías en lactación no tienen *CC*, éstas sólo tienen gasto de energía por efecto de la caminata tras su madre y no tienen estrés para conseguir su alimento, esta premisa se hace hasta el momento del destete. Las ovejas que están en confinamiento absoluto también se asume que tienen un *CC* = 0.

Se estima que el gasto de actividad muscular (AA) kcal EN/día está en función del peso del animal

$$AA = 2,45 * peso \quad (38)$$

Por consiguiente, el requerimiento de mantención (RM) será:

$$RM = ((M1 * PV^{0,75}) / KM) / 1000 \quad (39)$$

Luego el balance de energía (BB) será igual al consumo de leche expresado en EM, menos el requerimiento de mantención y la actividad física de caminar.

En animales a pastoreo se debe tener presente que el requerimiento energético para la actividad física de cosecha del forraje puede llegar a ser muy importante, en relación a su consumo voluntario. En este modelo se utiliza la ecuación de Rozas et al (1979), para estimar el costo de cosecha (Figura 4).

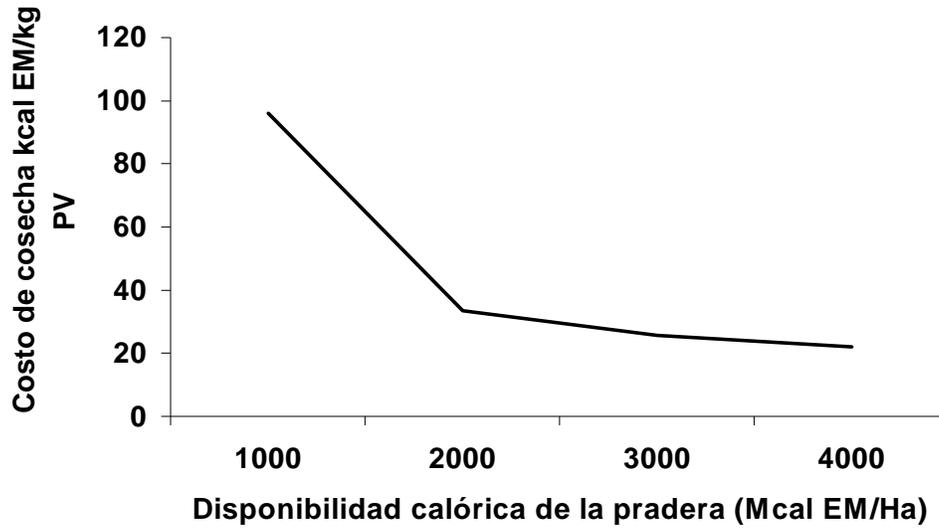


Figura 4. Representación del costo de cosecha

$$M2 = 548,53 * (DE - 922,66)^{-0,400617} \quad (40)$$

Donde:

$M2$ = Costo de cosecha en kcal EM por kilo de peso vivo

$$DE = 4,4 * DGC * DD \quad (41)$$

Donde:

DE = Disponibilidad energética de la pradera en kcal EM ha⁻¹

$$CC = M2 * PV \quad (42)$$

Donde:

CC = Costo de cosecha (kcal EM día⁻¹)

Si el animal esta en *BB* negativo, movilizará energía desde sus tejidos para cubrir los requerimientos. Cada kilogramo de peso movilizado en animales aporta el equivalente de 4,78 Mcal de energía metabolizable.

- **Estimaciones para el período de encaste:** La condición corporal ha sido estimada utilizando la siguiente formula:

$$CCO = 3,1768 + 0,21421 * Edadenc - 0,0218962 * Edadenc^2 \quad (43)$$

Donde:

CCO = Condición corporal inicial

Edadenc= Edad promedio del rebaño al momento del encaste (años)

La condición corporal también es afectada por la variación de peso del animal.

$$CCOF = CCO + 0,037 * GPES \quad (44)$$

Donde:

CCOF = Condición corporal final

GPES = Ganancia de peso del animal (kg día⁻¹)

La fertilidad corregida en función de la edad del animal ha sido estimada de acuerdo a la siguiente función:

$$FERT2 = 0,64 + 0,116 * Edadenc - 0,014 * Edadenc^2 \quad (45)$$

Donde:

FERT2 = Fertilidad del rebaño (%)

La fertilidad, también debe ser estimada por un efecto del plano nutricional, para lo cuál se calculo en función de la EM de la dieta y dentro de la secuencia de cálculo se determina el factor limitante de la fertilidad (Figura 21).

$$FERT1 = (1 / (0,029 - 0,001 * EM)) * 0,239 \quad (46)$$

Donde:

FERT1 = Fertilidad del rebaño (%)

EM =Energía metabólica de la dieta (Mcal día⁻¹).

La fertilidad a su vez es influenciada por la variación de peso del animal.

$$FERT1 = FERT1 + 0,02 * GPES \quad (47)$$

La prolificidad se estima mediante la siguiente función matemática

$$PROLIF = - 0,1182 + 0,003145 * PV \quad (48)$$

Donde:

PROLIF = Prolificidad del rebaño (%)

PV = Peso vivo del animal al encaste (kg).

La tasa de ovulación es una característica variable entre razas, y dentro de una raza, para la E. F. se considero un valor promedio de 2,5 para una edad de 3 años y un peso de 75 kg, este valor al mismo tiempo es afectado por la variación de peso y condición corporal del animal. Las ecuaciones que permiten estimar estos efectos son las siguientes:

$$TO = TOI - (0,04 * GPES) \quad (49)$$

Donde:

TOI = Tasa de ovulación inicial

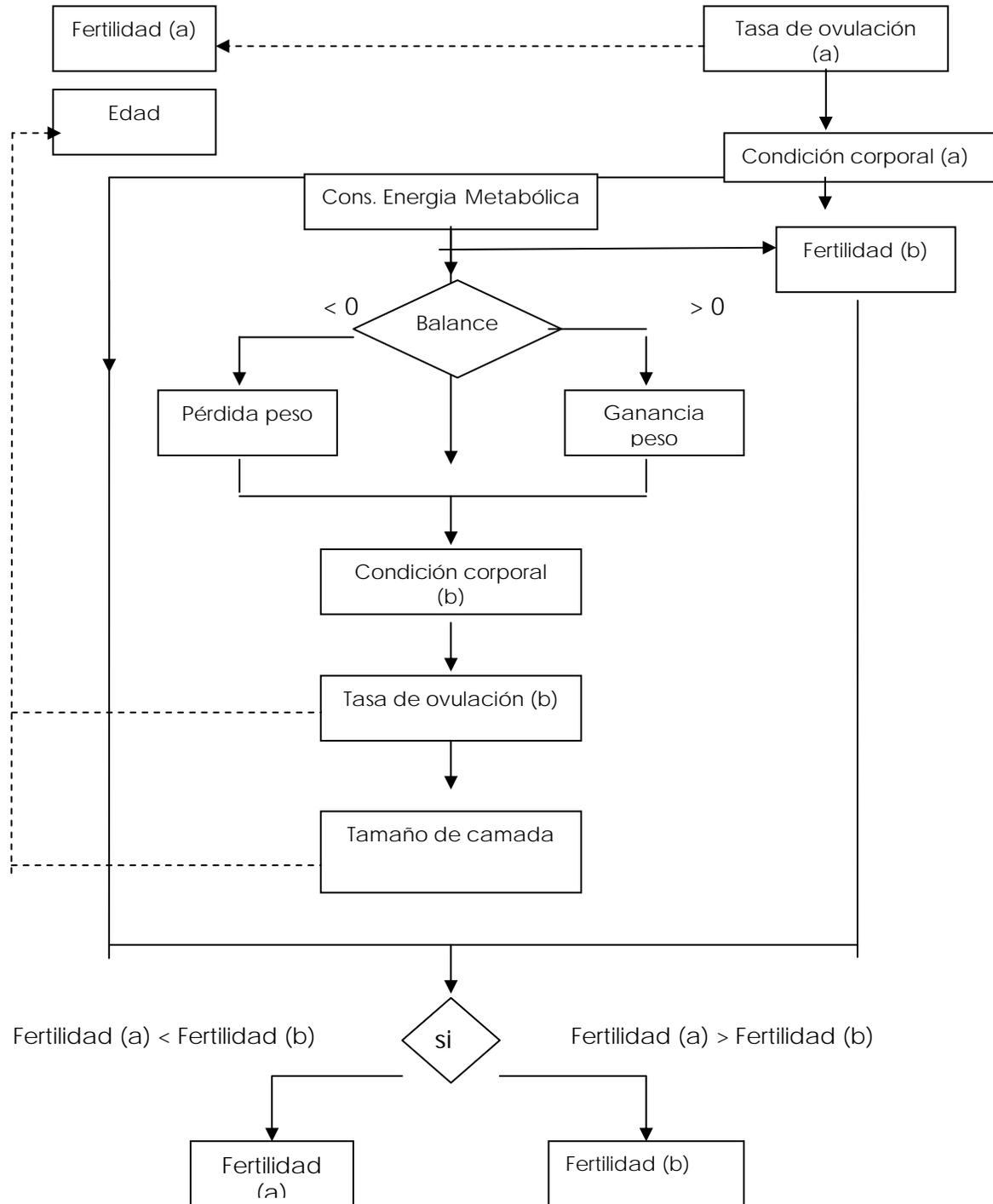


Figura . Esquema general del Balance de Energía y Fertilidad en periodo de encaste

El tamaño de la camada puede ser estimada en función de la tasa de ovulación

$$TCAM = 1,12 + 0,977143 * TO - 0,142857 * TO^2 \quad (50)$$

Donde

$TCAM$ = Tamaño de camada

TO = Tasa de ovulación

- **Estimaciones para el período de lactación:** Para estimar la producción de leche en el modelo, se asume que la producción potencial se distribuye en aproximadamente 120 días, con una producción promedio aproximada en dicho período de 70 kg. de leche. La producción total se distribuye diariamente en forma proporcional, ajustada a una función gamma, la función es la siguiente:

para simples

$$a5 = 0,00694803 * (d^{0,14125726}) * e^{(-0,0100484 * d)} \quad (51)$$

para dobles

$$a5 = 0,00769662 * (d^{0,14835124}) * e^{(-0,01074001 * d)} \quad (52)$$

Donde:

$a5$ = % diario de la producción potencial total de leche

d = Días de lactancia

Conociendo el potencial de producción de leche por lactancia de la oveja se puede estimar la producción diaria como sigue:

$$PP = PPL * a5 \quad (53)$$

El valor energético o concentración energética diaria de la leche se estima de la siguiente manera.

$$VE = ((32,8 * CGL + 2,5 * d + 2204)/1000) * 0,239 \quad (54)$$

Donde

VE = Valor energético de la leche (Mcal kg⁻¹)

CGL = Contenido de grasa en g kg de leche⁻¹

d = Día de lactancia en el que se encuentra el animal

Se estima un promedio de **CGL** de 60,0 g kg⁻¹. El **VE** varía a lo largo de la lactancia. Conociendo la **PPL** y su concentración energética, se estima el requerimiento energético diario para **PL** como sigue

$$RLAC = (PPL * VE) / KL \quad (55)$$

Donde:

KL = Eficiencia de utilización de EM en producción de leche.

El valor de **KL** utilizado fue 72,7%. El **QM** de la dieta, modifica el valor de **KL**. En el modelo, **KL** se estimó según AFRC (1993):

$$KL = 0,28 * QM + 0,466 \quad (56)$$

La estimación de pérdida de peso del animal potencialmente utilizable para la producción de leche se realizó mediante la siguiente función. La pérdida de peso se considera sólo hasta la 4 semana de lactancia.

$$LIMITE = - (P\text{Vinlac} - 0,217857 * d - 0,000510204 * d^2) \quad (57)$$

Donde

PVinlac = Peso vivo del animal al inicio de la lactación (kg)

LIMITE = Límite de pérdida de peso (kg día⁻¹)

d = Día de lactancia

- **Estimaciones para el período de gestación:** Las necesidades energéticas sobre el nivel de mantenimiento de la oveja gestante está en función del desarrollo del feto, comenzando a ser importantes los últimos 70 días de gestación. La baja eficiencia en la utilización de la energía por los tejidos fetales, unido al rápido incremento de peso que experimenta el feto en las ultimas semanas de gestación, resultan en un considerable incremento de los requerimientos de energía de la oveja fundamentalmente el ultimo tercio de gestación.

Hacia el final de la preñez, una oveja gestando puede requerir, aproximadamente, el doble de energía requerida por una oveja seca, para mantener su peso y gestando mellizos sus necesidades pueden ser 2,5 a 3 veces mayores.

ARC (1993) presenta estimaciones de los requerimientos diarios de EM de ovejas de 65 kg. de peso gestando 1 y 2 fetos, en función de los días de preñez. Basándose en estos datos, considerando que hasta el día 70 de gestación los requerimientos energéticos sobre el nivel de mantención son insignificantes. El requerimiento energético de gestación se estima de la siguiente manera

Para únicos

$$RG = RM * (1 - (0,6046 * \text{Exp}^{(0,7235 * d / 100)})) \quad (58)$$

Para dobles

$$RG = RM * (1 - (0,5235 * \text{Exp}^{(0,9931 * d / 100)})) \quad (59)$$

Donde:

RG = Requerimiento de gestación (Mcal día⁻¹)
d = Días desde inicio de la gestación

Las ecuaciones anteriores establecen una relación entre *RM* y *RG* de tal forma que las ovejas de menor peso, con menor *RM*, tendrán menor *RG*, debiendo producir corderos más livianos, al parto que ovejas más pesadas.

Si la oveja gestante se encuentra en Balance energético negativo, debe movilizar reservas corporales para satisfacer la demanda del desarrollo fetal. La eficiencia de utilización de energía de la reserva corporal en el proceso de gestación es un área de investigación muy poco explorada. En el modelo se utiliza el valor de 20%.

El peso al nacimiento de las crías ha sido estimado primero en función al peso de la oveja no gestante, para ello se utilizó la siguiente función matemática

$$PN = 2,419 - 17,574 * \text{Exp}^{(-0,01976 * d)} - 0,00079 * TCAM + 0,0046 * PVNG \quad (60)$$

$$PNac = \text{Exp}^{(PN)} \quad (61)$$

Donde:

PNac = Peso al nacimiento de las crías (kg)
d = Días desde el inicio de la gestación
TCAM = Tamaño de camada (1, 2 y 3) para únicos, mellizos y trillizos
PVNG = Peso vivo de la oveja no gestante (kg)

El peso al nacimiento de las crías a su vez se corrige en función de la ganancia o pérdida de peso de la oveja, para ello se utiliza las siguientes funciones.

$$PNac1 = PNac1 + 0,047 * GPES \quad (62)$$

Donde:

GPES = Ganancia ó pérdida de peso de la oveja gestante (kg/día)

Anexo 5. Modelo crecimiento de corderos y borregas

En la subrutina corderos se lleva a cabo el cálculo del consumo de leche y/o forraje y/o concentrado de los corderos para, en base a la energía y proteína consumida, estimar la evolución de su peso corporal durante el período comprendido entre el nacimiento y el destete.

El considerar los corderos en el modelo implica que existe un aumento en la carga animal a lo largo del período de simulación, dado que a medida que los corderos aumentan su edad incrementan su consumo de forraje, disminuyendo la disponibilidad de pradera para las ovejas y pudiendo alterar, por lo tanto, su producción.

Los corderos son considerados en dos categorías: únicos y mellizos, actuando la relación entre estos dos parámetros como un índice del comportamiento reproductivo, consecuencia de los distintos esquemas de manejo y dependiente de las razas de ovejas utilizadas.

i) Peso al nacimiento: Existe una estrecha relación entre la disponibilidad de energía y proteína durante la etapa de gestación y el peso al nacimiento del cordero. De este modo, para estimar el peso al nacimiento de los corderos, el modelo acumula los requerimientos diarios de energía y proteína durante el período de gestación. Luego, al momento del parto, mediante una comparación de dichos valores acumulados se determina el peso al nacimiento. En el caso de la energía, se utiliza el valor de concentración energética de 1,3 Kcal·g⁻¹ de peso (ARC, 1993) y considerando la eficiencia de utilización de la EM en el desarrollo fetal (12%), el peso al nacimiento se calcula como:

$$PNe = S1 \times 0,12/1,3 \quad (1)$$

Donde:

PNe: Peso al nacimiento (gr)

S1 : Σ requerimiento total de EM para gestación de corderos

Para estimar el peso al nacimiento en base a proteína, se asume que el cordero al parto posee una composición de 138 gramos de proteína por kilo de peso (McDonald *et al*, 1995), con una eficiencia de 45,64%, de tal modo que:

$$PNp = P1 \times 0,4564/138 \quad (2)$$

Donde:

PNp : Peso al nacimiento(gr)

P1 : Σ requerimiento total de proteína para gestación de corderos

Los valores de S1 como de P1 dependen del peso de la oveja gestante, de tal manera que el peso del cordero al nacimiento está asociado con el peso de la madre.

Consumo de leche: Se asume que el total de leche producida por las ovejas es consumida por los corderos. Se considera además que la leche posee un 20% de materia seca, una concentración energética de 1,06 Kcal·g⁻¹, una eficiencia de utilización de la energía de la leche de 95% y una concentración proteica de 48,9 g·litro⁻¹. De esta manera, los consumos de materia seca, energía metabolizable y proteína cruda, por esto animales puede ser calculados como:

$$ML = M3 \times 0,2 \quad (3)$$

$$EL = M3 \times 1,06 \times 0,95 \quad (4)$$

$$PL = M3 \times 0,0489 \quad (5)$$

Donde:

ML : Consumo de MS proveniente de leche (g·día⁻¹)

EL : Consumo de EM proveniente de leche (Kcal·día⁻¹)

M3 : Producción de leche diaria (g·día⁻¹)

PL : Consumo de proteína cruda proveniente de leche (g·día⁻¹)

Consumo de suplemento: En el modelo se supone un consumo restringido de suplemento, de tal manera que el total de la cantidad administrada sea consumida por los animales, esta situación hace necesario un conocimiento por parte del usuario de la cantidad de suplemento a ofrecer. De esta manera, la energía metabolizable y la proteína cruda aportadas por el suplemento corresponde a:

$$ES = MS \times ES_{\text{Supl}} \quad (6)$$

$$PS = MS \times PS_{\text{Supl}} \quad (7)$$

Donde:

ES : Energía proveniente del suplemento (Kcal·día⁻¹)

MS : Consumo de suplemento (g MS·día⁻¹)

ESupl : Concentración energética del suplemento (Kcal·gMS⁻¹)

PS : Proteína Cruda proveniente del suplemento (g MS·día⁻¹)

PSupl : Concentración proteica del suplemento (%PC de MS)

Consumo de forraje: La determinación del consumo de forraje en materia seca (MF) se realiza sustrayendo al consumo potencial de materia seca estimado, el consumo de materia seca proveniente de la leche (ML) y en el caso de existir suplementación, de la materia seca proveniente del suplemento (MS). De este modo, la capacidad de consumo de forraje está regulada por la producción de leche de la oveja, la cantidad de suplemento administrado y la edad del cordero, aspecto que se refleja en el factor S, además de la disponibilidad y digestibilidad del forraje. Con lo anteriormente señalado se llega a las siguientes ecuaciones:

$$MF = PDMI - ML - MS \quad (8)$$

$$VF = MF \times FD \times FC \quad (9)$$

$$EF = VF \times EM \times 4,4 \times 0,81 \quad (10)$$

$$PF = VF \times P_{\text{sup}} \quad (11)$$

Donde:

MF : Consumo potencial de forraje (g MS·día⁻¹)

MS : Consumo de suplemento (g MS·día⁻¹)

- VF : Consumo voluntario de forraje (g MS·día⁻¹)
- MF : Consumo potencial de forraje (g MS·día⁻¹)
- EF : Consumo de EM proveniente del forraje (Kcal·día⁻¹)
- PF : Consumo de PC proveniente del forraje (g·día⁻¹)

Ganancia de peso: La energía total con que los corderos cuentan para satisfacer sus requerimientos energéticos corresponde a la suma de los valores de EL, EF y ES. De la misma manera, el consumo de proteína cruda total se obtiene de la suma de PL, PF y PS. Con el total de estos nutrientes los corderos deben ser capaces de satisfacer sus requerimientos de mantención y además, en el caso de existir un excedente de nutrientes, de ganar peso.

La eficiencia de utilización de la energía metabolizable de la leche para mantenimiento presenta un valor de 85%, en tanto que para ganancia de peso su valor es de 70% (CSIRO,1990). En el caso de las eficiencias de uso de la energía proveniente del forraje y del concentrado, éstas toman los mismos valores que para el caso de las ovejas, dependientes de la concentración energética de la dieta.

En el caso de la proteína, la eficiencia de utilización de la PC proveniente de la leche es de 80% tanto para mantención como para crecimiento. Las eficiencias de uso de la proteína proveniente del concentrado y del forraje toman valores de 45,64% para crecimiento y 67.5% para mantención (NRC, 2001).

Como existen distintas eficiencias de uso de la energía metabolizable, según su fuente, es necesario calcular una eficiencia ponderada para el mantenimiento y crecimiento de los animales, proceso que realiza el modelo utilizando las siguientes ecuaciones:

$$K1 = K_m \times (EF + ES)/CEM + 0,84 \times (1 - (EF+ES))/CEM \quad (12)$$

$$K2 = K_g \times (EF + ES)/CEM + 0,69 \times (1 - (EF+ES))/CEM \quad (13)$$

Donde:

K1 : Eficiencia de utilización de la EM en mantenimiento

CEM : Consumo de Energía Metabolizable

K2 : Eficiencia de utilización de la EM en ganancia de peso

Al igual que en el caso de la energía, es necesario realizar el cálculo de una eficiencia promedio para el uso de la proteína, para lo cual se usaron las siguientes ecuaciones:

$$EP_m = 0,675 \times (PF + PS)/CPC + 0,8 \times (1 - (PF+PS))/CPC \quad (14)$$

$$EP_c = 0,4564 \times (PF + PS)/CPC + 0,8 \times (1 - (PF+PS))/CPC \quad (15)$$

Donde:

EP1 : Eficiencia de utilización de la EM en mantenimiento

CEM : Consumo de Energía Metabolizable

EP2 : Eficiencia de utilización de la EM en ganancia de peso

Cuando el consumo de energía y proteína sobrepasan los requerimientos de mantención, el cordero es capaz de ganar peso, siendo el nutriente que se encuentra en menor disponibilidad el que limita el valor de la ganancia. En la situación inversa, es decir, cuando el consumo de energía y/o proteína no son capaces de satisfacer los requerimientos se produce la movilización de reservas corporales y por lo tanto pérdida de peso.

Requerimiento energético para control de temperatura: Los mamíferos son homeotermos,, mantienen su temperatura corporal estable alrededor de 37-39°C. Esto no significa que todas las partes del cuerpo tengan la misma temperatura, ya que la parte exterior tiene una temperatura que se asemeja a la del ambiente. Este gradiente de temperatura produce flujo de calor desde el interior del cuerpo hacia la piel.

Cuando la temperatura ambiente es baja, la velocidad metabólica (que corresponde a la producción de calor por unidad de tiempo) obedece a la necesidad de calor; a medida que la temperatura ambiente aumenta la velocidad metabólica disminuye para mantener constante la temperatura corporal. La zona de termoneutralidad representa el rango de temperatura ambiental en el cual el animal no requiere incrementar su gasto de energía para mantener su temperatura. Esta zona de termoneutralidad para los ovinos va entre -3°C hasta 31°C. Cuando la temperatura ambiental sube por encima de la temperatura crítica, la producción de calor permanece constante con el aumento sucesivo de la temperatura. El exceso de calor se disipa por

mecanismos físicos reguladores como son la evaporación de agua y el aumento del flujo sanguíneo a los plexos superficiales. Cuando la temperatura ambiental esta bajo la temperatura crítica, el IC (incremento calórico) del alimento disminuye porque parte es utilizado como una fracción de la EN para mantener la temperatura corporal. Cuando la temperatura disminuye bajo la temperatura mínima para producción, el animal pierde energía del cuerpo y muere a pesar de que puede estar consumiendo hasta máxima capacidad, la producción de calor en esta situación no es suficiente para alcanzar el requerimiento de calor. Así la temperatura corporal comienza a declinar hasta la muerte. Cuando un animal es alimentado, el incremento calórico se genera como consecuencia de las ineficiencias de los procesos de digestión, absorción, asimilación y metabolismo en la síntesis de producto, contribuyendo al mantenimiento de la temperatura corporal y posibilitando que la temperatura crítica sea menor; denominándose a esta nueva temperatura ambiente, temperatura crítica efectiva (McDonald *et al.*,1995).

Para calcular la pérdida de energía de animales fuera de su zona de termoneutralidad el modelo utiliza la secuencia de ecuaciones propuestas por CSIRO (1990):

$$ECold (MJ/d) = (A \times (Tic - Ta)) / (It + Ie)$$

$$A(m^2) = 0,09 \times PV^{0,66}$$

$$It = 1,3 \text{ } ^\circ\text{C} \times m^2 \times d/MJ$$

$$Tic = Tb + (E/A) \times (Ie) - ((MH) \times (It + Ie))$$

$$MH = MEm(1-k_m) + MEp(1-k_c) + MEI(1-k_i) + MEg(1-k_g)$$

$$I_e = (r/(r+F))(1/(0,481 + 0,326 \times v^{0,5})) + (r \times \ln((r + F)/r) \times (z - 0,017 \times v^{0,5}))$$

Donde:

A : Superficie del cuerpo

T_a : t° del aire

T_b : Temperatura del cuerpo = 39°C

E : Pérdida evaporativa (1.3 MJ·m²d)

r : Radio del animal (mm)

F : Largo de la lana (mm)

v : Velocidad del viento (km·hr⁻¹)

z : Zona de aislamiento termal = 0,141°C·m²·día·MJ

ECold corresponde al intercambio de calor entre el animal y el medio, energía que puede ser cubierta gracias a la ineficiencia (traducida en producción de calor) que genera la utilización de la energía para el metabolismo de ayuno y para el costo de cosecha (CSIRO, 1990). De este modo:

$$DV = EM_m/(1-k_m) + EGraze/(1-k_m)$$

Donde:

DV : Energía disponible virtual para regulación térmica

EM_{fv} : Requerimiento energético para mantención de funciones vitales

EGraze : Costo de cosecha

Cuando $DV > ECold$ el animal utiliza toda la energía sobrante, luego de cubrir su requerimiento de mantención y el costo de cosecha, para sus funciones productivas. En el caso contrario $DV < ECold$ será necesario ocupar parte de la energía disponible para producción en la regulación térmica y en caso extremo, cuando la energía disponible no alcance a cubrir el requerimiento de energía para la regulación térmica, movilizar tejido para que el animal mantenga su temperatura.

Anexo 6. Modelo de crecimientos de praderas GRAZE

En términos generales, en la Regiones Sur y Austral de Chile (X, XI y XII regiones) las praderas en su mayoría están compuestas por gramíneas perennes de origen templado (Festucoideas.) Estas praderas se desarrollan en ambientes de temperaturas moderadas y fríos, los cuales corresponde fundamentalmente a las siguientes Provincias ecológicas: las provincias húmedas de verano fresco y mésico, donde la estacionalidad del crecimiento está determinada por la temperatura invernal; y las provincias esteparias muy fría seco-estival y de tendencia seco-estival, las que corresponden a las veranadas de montaña y a la Patagonia occidental, respectivamente. En estos ambientes, además de la limitante térmica, se suma el efecto del estrés hídrico.

El modelo de simulación propuesto para este tipo de praderas debe ser lo suficientemente simple, para que de ese modo pueda ser de fácil utilización por parte de los usuarios y no exija gran cantidad de información de entrada. Por otro lado, debe considerar los principales procesos asociados al crecimiento vegetal. Este modelo debe ser sensible a las variaciones del clima y del suelo, así como también a aspectos asociados al efecto de la defoliación. De acuerdo con lo anterior, el modelo se concibe como de tipo dinámico, donde la mayoría de las hipótesis involucradas se conceptualizan mediante el uso de relaciones empíricas, por sobre aquellas que son de tipo mecanística. El nivel de organización involucra a la pradera como un conjunto de especies vegetales con un comportamiento fisiológico similar. La escala de aplicación es de tipo predial. Los sistemas de ecuaciones involucrados se resuelven numéricamente, utilizando para ello, un intervalo de integración diario. El uso del modelo es esencialmente operacional y en segundo lugar para investigación empírica.

En la elaboración de un modelo de simulación de una pradera pastoreada, con las características mencionadas anteriormente, pueden considerarse los siguientes submodelos:

- **Clima:** contiene las principales variables atmosféricas y la forma como éstas se relacionan con las plantas y el agua en la zona radical.
- **Suministro hídrico:** asociado a la simulación del balance de agua en la zona radical, y la cuantificación del efecto que tiene la disponibilidad de agua sobre la evapotranspiración, la absorción de nutrimentos, el crecimiento y senescencia de la pradera.
- **Suministro de nutrientes:** asociado a la cuantificación de la demanda de los principales nutrimentos necesarios para satisfacer el crecimiento de la pradera y la capacidad del suelo para entregarlos.
- **Fenología:** asociado a la cuantificación de cambios fenológicos tales como la senescencia y variaciones en contenidos estructurales de las plantas que determinan a su vez cambios en el valor nutritivo de la pradera.
- **Crecimiento:** contiene las variables que describen el rol de la arquitectura vegetal sobre la capacidad de interceptación de radiación y la transformación de la energía interceptada en producción de MS.
- **Consumo de materia seca de los animales en pastoreo:** en este submodelo se calculan los principales procesos de la interfase planta animal, los cuales tienen relación con el efecto de la disponibilidad y calidad de la pradera sobre el consumo, como también el efecto de los animales sobre la pradera por acción de la defoliación y el pisoteo.

Sobre la base a lo expuesto en el párrafo anterior, el modelo de simulación considera los siguientes sub-modelos:

Submodelo de balance hídrico.

Uno de los factores más determinantes en la producción de una pradera es la disponibilidad de agua. De acuerdo con lo anterior, es necesario simular un balance hídrico al nivel de la zona de raíces, la cual se subdivide en dos o hasta diez estratas (ej: 0-10; 10-50; 50-100 cm). El diagrama de flujo de este proceso se presenta en la Figura N° 1.

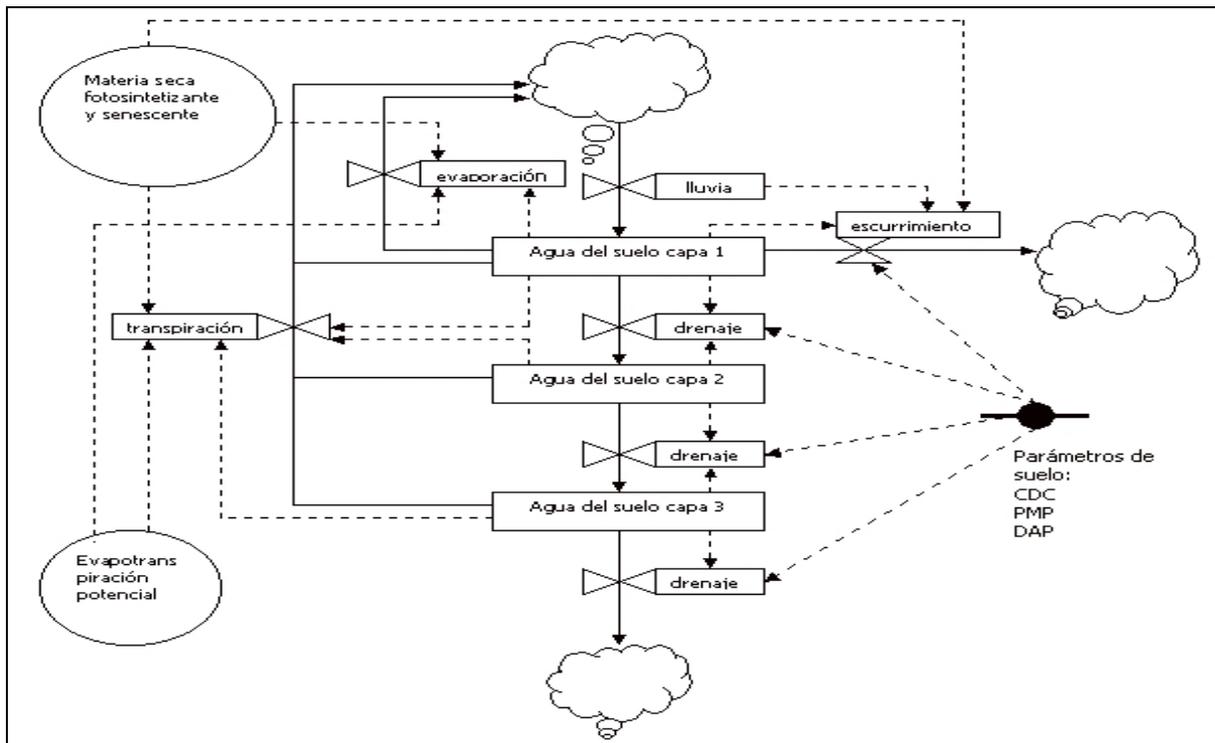


Figura N° 1. Diagrama de flujo simplificado del proceso de balance hídrico en un suelo en el cual el agua se almacena en tres estratos (CDC: capacidad de campo; PMP: punto de marchitez permanente; DAP: densidad aparente).

En cada una de estas estratas es necesario conocer las constantes hídricas, capacidad de campo (cdc, mm), punto de marchitez permanente (pmp, mm) y la densidad aparente (dap, g cm⁻³). Las entradas de agua al suelo están representadas por la precipitación efectiva (PPef, mm día⁻¹), la cual es la resultante de la resta entre la precipitación y el escurrimiento superficial. Las salidas de agua del sistema son proveniente de la transpiración (TR, mm día⁻¹), la evaporación directa desde el suelo (ER, mm día⁻¹) y el drenaje (DREN, mm día⁻¹). La ecuación de balance hídrico queda entonces definida por la siguiente expresión:

$$SM_t = SM_{t-1} + PPef - ER - TR - DREN \quad (1)$$

donde SM_t y SM_{t-1} es la humedad de suelo en el día t y $t-1$, respectivamente.

Precipitación efectiva. Es la resultante de la resta entre la precipitación diaria y el escurrimiento superficial (ESCSUP, mm día⁻¹). Esta última variable es calculada mediante el método de las "curvas número" propuesto por el Soil Conservation Service:

$$ESCSUP = \frac{(RAIN - 0,2 \times S)^2}{RAIN + 0,8 \times S} \quad (2)$$

donde RAIN es la precipitación (mm día⁻¹) y S (mm día⁻¹) es un parámetro de retención de precipitación, el cual se obtiene a partir del número de curva de la cuenca. Este último valor, denominado CN2, para una condición de humedad normal (ni muy seco, ni muy húmedo), es un dato de entrada que es característico del tipo de suelo y condición hidrológica del mismo (para praderas en buena condición, se puede suponer un valor de CN2 = 70). En función del parámetro CN2 se calcula un valor de curva número CN3, el cual está asociado a la condición de humedad de suelo saturado o muy próximo a la saturación.

$$CN3 = \frac{23 \times CN2}{10 + 0,13 \times CN2} \quad (3)$$

Conocido CN2 y CN3 y en función de la pendiente del terreno (pend, %), se calcula un valor corregido de CN2 (CN2s), el cual se utiliza para el cálculo de del valor máximo posible del parámetro S (Smax).

$$CN2s = \frac{1}{3} \times (CN3 - CN2) \times (1 - 2 \times e^{(-13,86 \times 0,01 \times pend)}) + CN2 \quad (4)$$

En función del valor de CN2 corregido, se calcula el valor de CN para la condición de humedad de suelo muy seco (CN1), asociada a la máxima capacidad de almacenamiento de agua (Smax, mm día⁻¹):

$$CN1 = \frac{4,2 \times CN2s}{10 - 0,058 \times CN2s} \quad (5)$$

$$S \max = 25,4 \times \left(\frac{1000}{CN1} - 10 \right) \quad (6)$$

Conocido Smax y en función de una variable que depende del contenido de humedad del perfil (Fesc), se determina el valor final de S:

$$S = S \max \times (1 - Fesc) \quad (7)$$

Fesc es definido por la siguiente ecuación:

$$Fesc = 1 - \sum_{i=1}^n W_i \times \frac{SM_i}{UL_i} \quad (8)$$

donde W_i es un factor de ponderación, SM_i es la humedad de suelo de la estrata i (mm) y UL_i es la máxima capacidad de almacenamiento de la estrata i (mm). El

factor de ponderación W_i decrece con la profundidad, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$W_i = 1,01585502 \times \left(e^{-4,16 \times \frac{D_{i-1}}{RD}} - e^{-4,16 \times \frac{D_i}{RD}} \right) \quad (9)$$

dónde D_i es la profundidad desde la superficie hasta el fondo de la estrata i y RD es la profundidad de la zona radicular, ambas expresadas en cm. En la ecuación anterior se cumple la condición que $\sum_{i=1}^n W_i = 1$.

De acuerdo con la ecuación N° 9, se producirá escurrimiento superficial cuando la precipitación supere el 20% del valor del parámetro S .

Evaporación directa desde el suelo. Esta tasa se supone que proviene solamente desde la primera estrata del suelo, la cual tiene un espesor entre 10 a 15 cm. Cuando el contenido de agua del suelo es superior al punto de marchitez permanente, la evaporación ocurre a una tasa igual a la evaporación potencial (EP , mm día⁻¹). Esta última variable depende de la evapotranspiración de referencia (E_o , mm día⁻¹) y de la cobertura efectiva del suelo (COB_{ef}). Cuando el agua de la estrata baja del punto de marchitez permanente, la evaporación se reduce según el contenido relativo de humedad existente en la estrata (IDH_v), referido a un contenido de humedad residual, estimado en un tercio del punto de marchitez permanente. Las ecuaciones que describen el proceso anterior son las siguientes:

$$Ep = Eo \times (1 - COB_{ef}) \quad (10)$$

$$ER = Ep \times IDH_v \quad (11)$$

La evapotranspiración de referencia (E_o , mm día⁻¹), es calculada mediante el método de Priestley – Taylor:

$$E_o = 30,6 \times RN \times \frac{\text{delta}}{\text{delta} + 0,68} \quad (12)$$

En la ecuación anterior, RN es la radiación neta (RN, MJ m⁻² día⁻¹), y el coeficiente *delta* representa la pendiente de la curva presión de vapor a saturación versus la temperatura del aire. Las variables anteriormente definidas se calculan con las siguientes ecuaciones:

$$RN = \frac{2 \times \pi}{365} \times RSG \times (1 - ALB) \quad (13)$$

donde RSG (MJ m⁻² día⁻¹) es la radiación solar global (MJ m⁻² día⁻¹) y ALB es el albedo de la vegetación (ALB = 0,24), respectivamente.

La variable *delta* es función de la temperatura media del aire, y es calculada según la ecuación siguiente:

$$\text{delta} = \left(\frac{5304}{(TMD + 273)^2} \right) \times e^{\left(21,3 - \frac{5304}{TMD + 273} \right)} \quad (14)$$

La temperatura y la radiación solar global se obtienen mediante un generador climático o pueden ser leídas de archivos con datos reales.

La cobertura efectiva del suelo depende a su vez de la cobertura producida por la MS verde (COB_v), y de la cobertura de MS muerta, incluido el mantillo (COB_m). Las variables anteriores se relacionan mediante las siguientes ecuaciones :

$$COB_{ef} = 1 - (1 - COB_v) \times (1 - COB_m) \quad (15)$$

$$COB_v = 1 - e^{\frac{-0,69314718 \times MSV}{MSVcob50}} \quad (16)$$

Donde, MSVcob50 (kg ha⁻¹) es la MSV que produce un 50% de cobertura del suelo.

$$COB_m = \frac{(MANTILLO + MSM)}{10000} \quad (17)$$

El índice de restricción hídrica para el proceso evaporativo queda calculado de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$IDHV_i = \left(\frac{(SM - 0,33 \times pmp)_i}{(pmp - 0,33 \times pmp)_i} \right)^2 \quad (18)$$

En la ecuación anterior SM_i (mm) es la humedad del suelo de la primera estrata, y pmp (mm), el punto de marchitez permanente de la misma.

Transpiración de la pradera. La transpiración de cada estrata de suelo (TRE_i, mm día⁻¹) es simulada a partir de la transpiración potencial (TP, mm día⁻¹), de un factor de restricción hídrica a la transpiración de la estrata de suelo (FRTDH_i), de un factor de actividad radicular (Rootact), dependiente de la temperatura de la superficie del suelo y de la proporción de raíces que hay en la estrata (Rootf_i):

$$TRE_i = TP \times FRTDH_i \times Rootact \times Rootf_i \quad (19)$$

El factor de actividad radicular (multiplicador con valores entre 0 y 1), solamente afecta la absorción de agua en las capas subsuperficiales del suelo, y es

dependiente de la temperatura de suelo, la cual se supuso igual a la temperatura media del aire (TMD, °C)

$$Rootact = 1 \quad \text{para la estrata superficial} \quad (20)$$

$$Rootact = 0,071 \times TMD_{suelo}$$

$$\text{para estratas subsuperficiales} \quad (21)$$

La proporción de raíces que hay en cada estrata de suelo ($Rootf_i$), es calculada en función de la profundidad de cada estrata, asignando siempre un valor de referencia igual a uno a la proporción relativa de raíces existente en la estrata superficial.

La transpiración potencial es simulada en función de la evapotranspiración de referencia (E_o , mm día⁻¹), calculada a partir de variables climáticas (temperatura y radiación) y un factor de cobertura vegetal (COB_v), el cual a su vez es función de la materia seca verde:

$$TP = E_o \times COB_v \quad (22)$$

El factor que reduce a la transpiración potencial depende del nivel de agua disponible en la estrata de suelo:

$$FRTDH_i = \frac{IDH_i}{IDH_{crit}} \quad \text{si } IDH_i < IDH_{crit} \quad (23)$$

$$FRTDH_i = 1 \quad \text{si } IDH_i \geq IDH_{crit} \quad (24)$$

donde IDH_i es el índice de déficit hídrico de la estrata de suelo, el cual se calcula en función del nivel de agua (SM_i , mm) y de las constantes hídricas, capacidad de campo (cdc_i , mm) y punto de marchitez permanente (pmp_i , mm) de la misma:

$$IDH_i = \frac{(SM - pmp)_i}{(cdc - pmp)_i} \quad (25)$$

IDH_{crit} representa el valor del índice de humedad (IDH_i), por sobre el cual la transpiración de la pradera no se ve restringida, e indica el grado de resistencia al déficit hídrico de las especies vegetales. Generalmente se acepta un valor ente 0,5 – 0,8 para praderas de arraigamiento medio.

La transpiración real de la pradera (TR , mm día⁻¹) se calcula sumando los aportes de cada una de las estratas:

$$TR = \sum_{i=1}^n TRE_i \quad (26)$$

Los aspectos relacionados con la transpiración y los mencionados con la evaporación directa desde el suelo son calculados mediante la subrutina **Evapotranspiración**.

Drenaje. El drenaje de agua de una estrata de suelo ($DREN_i$, mm día⁻¹) se calcula suponiendo que es toda aquella agua que excede a la capacidad de campo, la cual pasa con posterioridad a la siguiente estrata de suelo:

$$DREN_i = SM_i - cdc_i \quad \text{si } SM_i > cdc \quad (27)$$

$$DREN_i = 0 \quad \text{si } SM_i \leq cdc \quad (28)$$

Submodelo crecimiento de la pradera.

El submodelo de praderas constituye la interfase entre el clima, el suelo, las plantas y los animales en pastoreo. Estos subsistemas están interconectados a través de procesos claves como el crecimiento (TCR , $\text{kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$) senescencia ($TSEN$, $\text{kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$), pérdida de material muerto ($TPERDMSM$, $\text{kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$), pérdida de material verde por pisoteo ($TPERDMSV$, $\text{kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$) y descomposición del mantillo ($TDESCOMP$, $\text{kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$) También actúa la selección y el consumo de material verde ($CONSMSV$, $\text{kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$) y seco ($CONSMSM$, $\text{kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$) efectuado por parte de los animales. Estos procesos definen tres variables de estado: Materia Seca Verde (MSV , kg MS ha^{-1}); Materia Seca muerta (MSM , MS ha^{-1}) y Mantillo ($Litter$, kg ha^{-1}). Las ecuaciones de estas variables de estado son las siguientes:

$$MSV_t = MSV_{t-1} + TCR - TSEN - CONSMSV - TPERDMSV \quad (29)$$

$$MSM_t = MSM_{t-1} + TSEN - CONSMSM - TPERD \quad (30)$$

$$LITTER_t = LITTER_{t-1} + TPERDMSM + TPERDMSV - TDESCOMP \quad (31)$$

Los procesos y las variables antes indicadas se relacionan de la forma como es indicado en el diagrama de flujo presentado en la Figura N° 2.

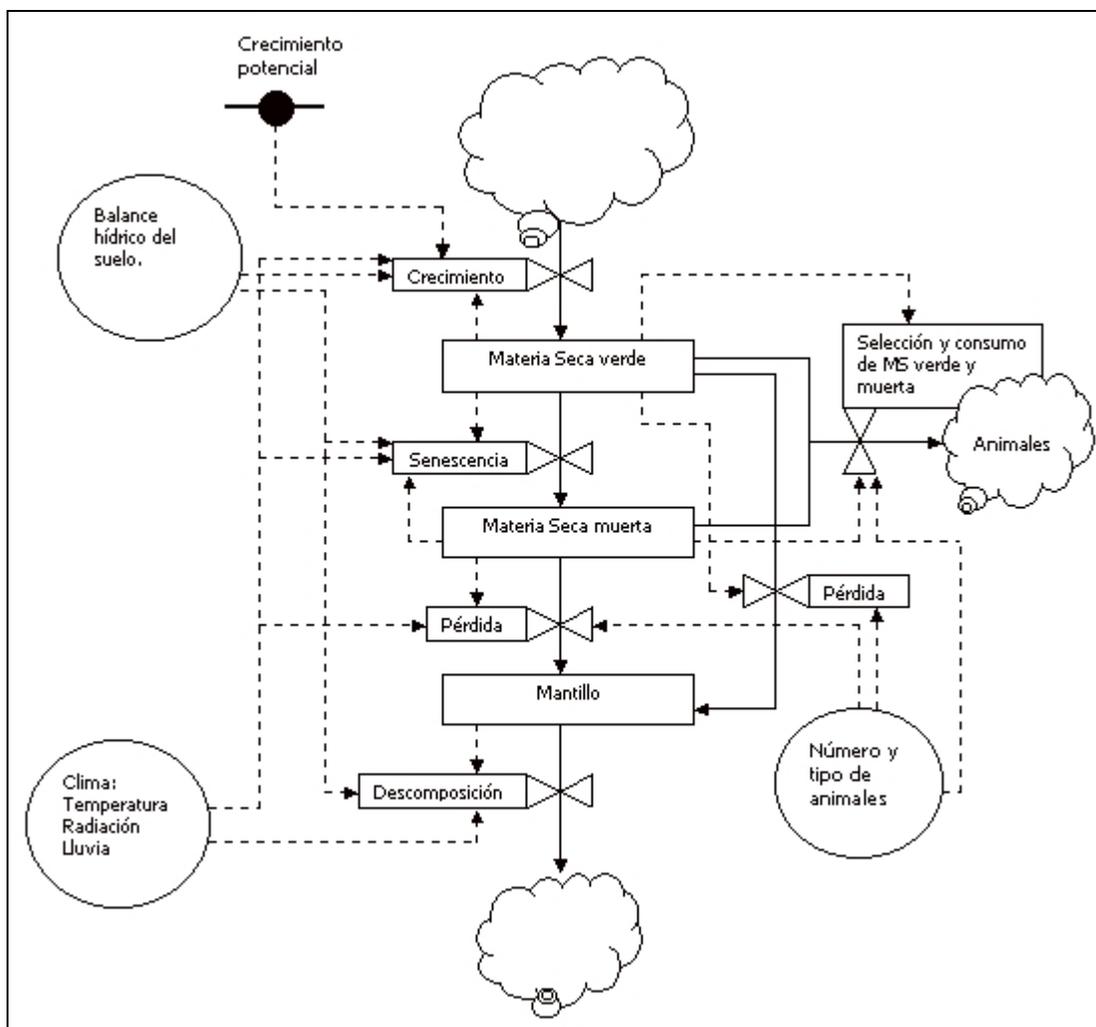


Figura N° 2. Diagrama de flujo simplificado del proceso de crecimiento, senescencia, pérdida y descomposición en una pradera pastoreada.

Crecimiento de la pradera. En esta versión del modelo, se supone que no existe limitación por parte de los principales nutrientes del suelo, siendo los factores térmicos y radiativos, el abastecimiento hídrico, la fitomasa fotosintetizante presente y la biomasa radicular, los factores que determinan el crecimiento de la pradera. La tasa de crecimiento máxima de la pradera (TCRMAX, kg MS ha⁻¹día⁻¹) se calcula en función de un crecimiento potencial (TCRPOT, kg MS ha⁻¹ día⁻¹) y de la capacidad que tiene la cubierta vegetal para interceptar radiación, medido a

través de la función de área foliar (FAF). El crecimiento potencial es un valor definido y característico de un tipo de pradera en particular (ej: 250 kg MS ha⁻¹ día⁻¹ para praderas de gramíneas templadas).

$$TCRMAX = TCRPOT \times FAF \quad (32)$$

La función de área foliar, FAF, queda definida por la ecuación siguiente:

$$FAF = 1 - e^{\frac{-0,69314718 \times MSV}{MSV_{tcp50}}} \quad (33)$$

donde MSV_{tcp50} es la materia seca verde a la cual se alcanza el 50% del crecimiento potencial (Figura N° 3).

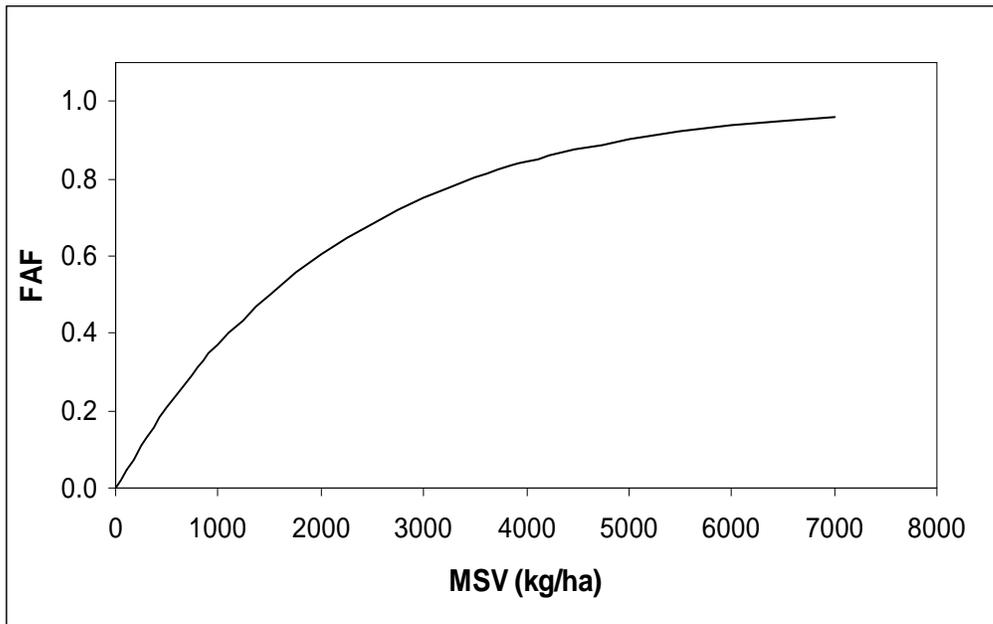


Figura N° 3. Función de restricción del crecimiento por efectos del área foliar.

Para calcular el **crecimiento real** (TCR, kg MS ha⁻¹ día⁻¹), la TCRMAX debe ajustarse por el valor ponderado de tres multiplicadores (que observan valores en el rango 0-1), los cuales están asociados a la radiación solar (FRS), la temperatura media del aire (FRCTEMP) y al grado de restricción hídrica del suelo (FRCDH). El producto así obtenido, denominado GROWTHINDEX (GROWTHINDEX = FRS x FRCDH x FRCTEMP), es ponderado, además, por un factor relativo, dependiente de la biomasa de raíces (ROOTSCALAR), lo cual refleja el efecto de este componente sobre la velocidad de crecimiento de la fitomasa aérea:

$$TCR = TCRMAX \times GROWTHINDEX \times ROOTSCALAR \quad (34)$$

donde GROWTHINDEX es definido por:

$$GROWTHINDEX = FRS \times FRCDH \times FRCTEMP \quad (35)$$

La función de radiación solar (FRS), expresa la sensibilidad de la cubierta vegetal a los niveles de radiación solar global (RSG, (MJ m⁻² día⁻¹)). Ésta es descrita por la ecuación 36, y se muestra en la Figura N° 4.

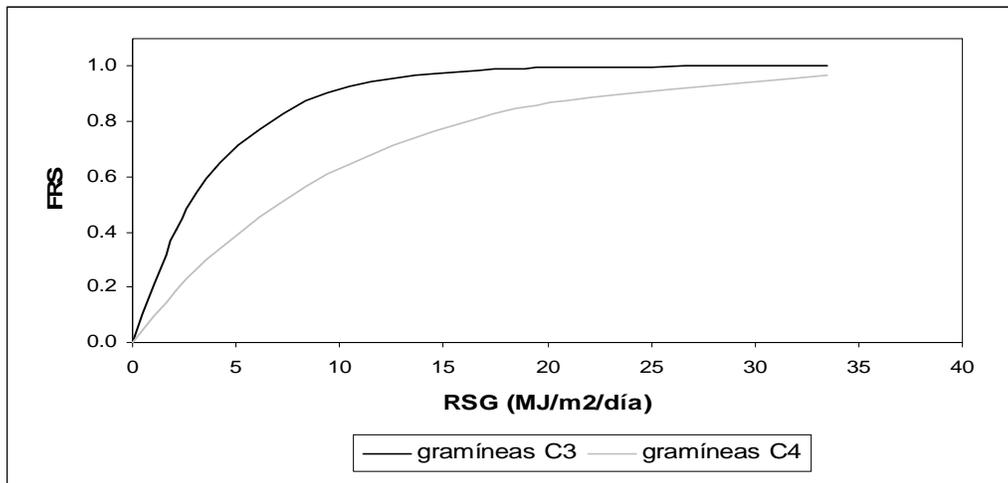


Figura N° 4. Función de restricción del crecimiento por efectos de la radiación solar.

En la ecuación anterior, COEFRSG, es un coeficiente que mide la sensibilidad de la cubierta vegetal a la radiación solar, teniendo valores iguales a 0,25 y 0,1 para especies con mecanismos fotosintéticos tipo C3 y C4, respectivamente.

La función que restringe el crecimiento por efectos de la temperatura es:

$$FRCTEMP = \alpha \times (TMD - T_u) \times (T_{crit} - TMD)^\beta \quad (37)$$

donde TMD es la temperatura media (° C). Los coeficientes α y β son dependientes de la temperatura media umbral (T_u , °C), bajo la cual el crecimiento es nulo, la temperatura media óptima (T_{opt} , °C) en la cual el crecimiento es máximo y la temperatura media crítica (T_{crit} , °C), por sobre la cual el crecimiento se detiene por estrés térmico. Estos valores son del orden de 3, 20 y 37° C para gramíneas tipo C3 y 5, 25 y 45° C, para gramíneas tipo C4, respectivamente. Las formas de esta ecuación se muestra en la Figura N° 5.

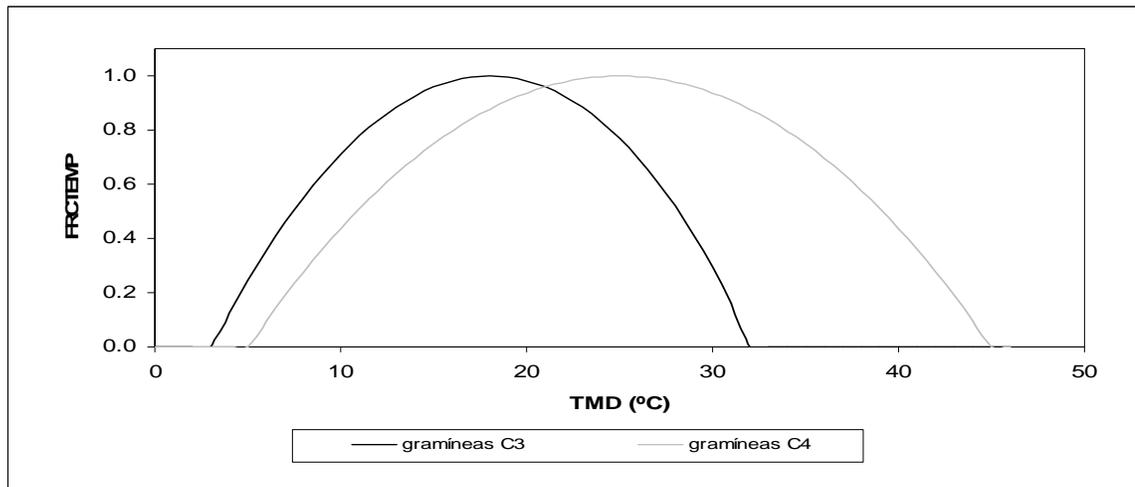


Figura N° 5. Función de restricción del crecimiento por efectos de la temperatura media.

A su vez la función que restringe crecimiento por efectos del estrés hídrico queda definida por el cociente entre la suma de la transpiración real de todas las estratas del suelo, respecto de la transpiración potencial, mediante una ecuación lineal, cuya forma se muestra en la Figura N° 6 :

$$FRCDH = \frac{\sum_{i=1}^n TR_i}{TP} \quad (38)$$

Los coeficientes de las ecuaciones anteriores (33 a la 38), son representativos de un grupo de especies, pudiendo ser cambiadas según sea el comportamiento que tenga el grupo con relación al factor de crecimiento en particular. De ese modo el modelo puede ser fácilmente adaptable para la simulación de distintos tipos de pradera.

El efecto de la biomasa de raíces sobre el crecimiento, es medido por una función relativa (ROOTSCALAR), la cual es dependiente de la biomasa del sistema radical que existe en la pradera (MSRAICES, kg ha⁻¹), e indica el grado en que las reservas acumuladas en esta estructura afectan la velocidad de crecimiento de la pradera (Figura N° 7).

$$ROOTSCALAR = \frac{1}{1 + 20,895 \times e^{-0,00481 \times MSRAICES}} \quad (39)$$

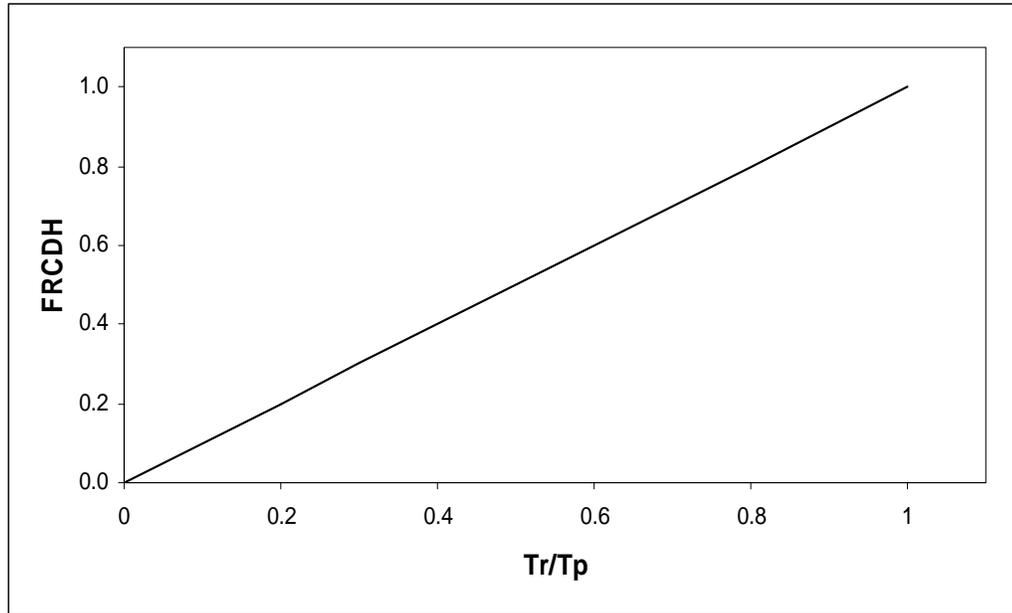


Figura N° 6. Función que restringe el crecimiento por efecto del déficit hídrico, medido por el cuociente entre la transpiración real (TR) y la transpiración potencial de la pradera (TP).

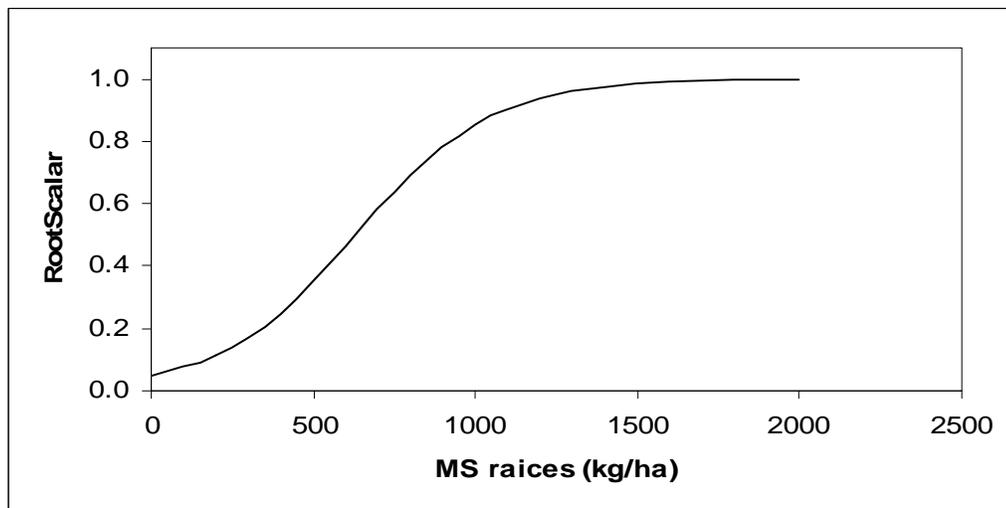


Figura N° 7. Función que restringe el crecimiento por efecto de la biomasa radicular.

Senescencia de la pradera. El proceso de senescencia de la pradera (TSEN, kg MS ha⁻¹día⁻¹), transforma la MSV en materia seca muerta, generando así el nivel de MSM (kg ha⁻¹). Lo anterior es controlado por la fenología de la pradera (senescencia natural, *senat*, día⁻¹) y por el estrés hídrico al cual ella está sometida (senescencia hídrica, *senhidri*, día⁻¹). La senescencia real es considerada como la suma de ambos tipos de senescencia:

$$TSEN = (senat + senhidri) \times MSV \quad (40)$$

La senescencia natural es debida principalmente a los efectos del sombreadamiento. Por ello se supone varía función de la acumulación total de materia seca de la pradera (MSV + MSM, kg ha⁻¹). A su vez, la senescencia hídrica ocurre cuando el crecimiento se ve restringido por una falta de agua en el suelo, lo cual es evaluado por la variable FRCDH (ecuación 41). Las expresiones matemáticas de la senescencia natural (por sombreadamiento) y aquella debida a los efectos del déficit hídrico, son las siguientes:

$$senat = 0,0015 \times e^{0,00025 \times (MSV + MSM)} \quad (41)$$

$$senhidri = senhidri\ max \times (1 - FRCDH) \quad (42)$$

Para la senescencia hídrica, se estimó un valor máximo (*senhidrimax*) del orden de 3 % diario.

Pérdida de material muerto y efectos del pisoteo sobre la materia seca verde. En la pérdida de material muerto (TPERDMSM, kg ha⁻¹ día⁻¹) intervienen factores asociados a factores climáticos como la temperatura (*tmd*, °C) y las precipitaciones (RAIN, mm día⁻¹), los cuales definen una pérdida natural (*perdnat*, día⁻¹). A lo anterior se debe sumar el efecto del los animales por acción del pisoteo (*pisoteo*, día⁻¹), lo que se relaciona con la carga animal efectiva (CARGAEF, unidades animales ha⁻¹).

$$TPERDMSM = (perdnat + pisoteo) \times MSM \quad (43)$$

$$perdnat = 1 - e^{-0,003077 \times RAIN} + 0,0005 \times tmd \quad (44)$$

$$pisoteo = 0,05 \times (1 - e^{-0,01 \times CARGAEF}) \quad (45)$$

$$CARGAEF = carga \times \left(\frac{peso}{60} \right)^{0,75} \quad (46)$$

En la ecuación 46, la variable carga, es la carga animal, expresado como N° de cabezas de una determinada categoría. La variable peso, es el peso vivo del animal (kg) y el coeficiente 60 es el peso de la unidad animal estándar.

Al pastorear, los animales también destruyen parte de la MS verde presente en la pradera. La cantidad de MSV perdida por efectos del pisoteo (TPERDMSV, kg ha⁻¹ día⁻¹), pasa directamente a formar parte del pool de mantillo. Al igual que en el caso de la MS muerta, la pérdida de MSV por efectos del pisoteo, se hizo depender de la carga animal efectiva.

$$TPERDMSV = (1 - e^{-0,006 \times CARGAEF}) \times MSV \quad (47)$$

El proceso de pérdida de material verde y muerto es calculado mediante la subrutina **Pérdida**.

Descomposición del mantillo. El proceso de descomposición del mantillo (TDESCOMP, kg ha⁻¹ día⁻¹), es dependiente de las condiciones de humedad y temperatura prevalentes en la estrata superficial del suelo. En una primera aproximación, se puede suponer una tasa diaria máxima de desaparición del mantillo como constante, e igual a 15% (Descmax = 0,15 día⁻¹). Esta magnitud es modificada según el valor del índice de humedad de la estrata superficial (IDHlitter) y una función relativa que depende linealmente de la temperatura del

suelo de la estrata superficial, cuando ésta es menor de 18° C ($F_{TEMP}litter$). Por sobre este valor crítico de temperatura, el proceso no se ve limitado.

$$TDESCOMP = DESCREAL \times LITTER \quad (48)$$

$$DESCREAL = Desc\ max \times IDHlitter \times F_{TEMP}litter \quad (49)$$

$$F_{TEMP}litter = \frac{TMDsuelo}{18} \quad \text{si } TMDsuelo < 18^\circ \text{ C} \quad (50)$$

$$F_{TEMP}litter = 1 \quad \text{si } TMDsuelo \geq 18^\circ \text{ C} \quad (51)$$

El proceso de descomposición del mantillo es calculado mediante la subrutina **Submodelo de la dinámica de la biomasa de raíces.**

La dinámica del pool de raíces en el suelo es de vital importancia, sobre todo en praderas de tipo perenne. En estas praderas, gran parte de la producción neta se produce bajo la superficie del suelo. En estas estructuras, además, se almacenan reservas de carbohidratos, los cuales son reutilizados en el proceso de rebrote, posterior a una utilización y son fundamentales en la absorción de agua y nutrimentos. En la medida que el sistema radicular sea vigoroso, la pradera será más resistente a los efectos de la defoliación. Es por ello que existe una interdependencia entre el vigor de la materia aérea fotosintetizante y la materia seca del sistema radical. Debido a lo anterior, resulta importante simular la dinámica de la biomasa de raíces en el suelo y su efecto sobre el crecimiento de la fitomasa aérea. Para lo anterior, se supuso la existencia de un nivel de biomasa de raíces ($MSRAICES$, kg ha^{-1}), el cual es alimentado por el crecimiento de las raíces ($TCRECrices$, $\text{kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$) y se descarga por una mortalidad de las mismas ($TMORTraices$, $\text{kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$).

$$MSRAICES_t = MSRAICES_{t-1} + TCRECrices - TMORTraices \quad (52)$$

Un diagrama simplificado de la dinámica del pool de raíces en el suelo y su efecto sobre el crecimiento, se presenta en la Figura N° 8.

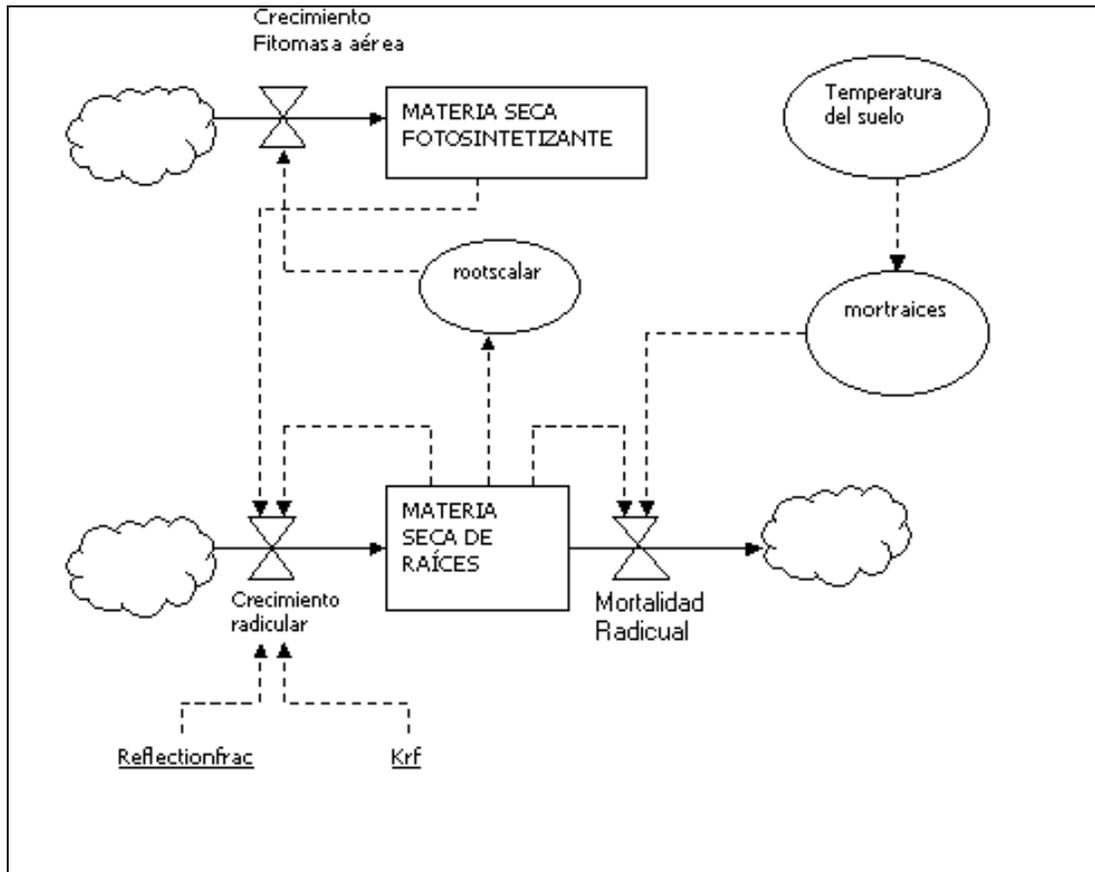


Figura N° 8. Diagrama de flujo simplificado del proceso de crecimiento y mortalidad de la biomasa de raíces.

Crecimiento de las raíces. La tasa de crecimiento de raíces ($TCRE_{raíces}$, $kg\ ha^{-1}\ día^{-1}$), se supone directamente proporcional al producto entre la materia seca fotosintetizante y al grado relativo de acumulación de raíces y es la siguiente:

$$TCRECrices = reflectionfrac \times MSV \times \left(1 - \frac{MSRAICES}{Krf}\right) \quad (53)$$

donde *reflectionfrac* es una constante de proporcionalidad, cuyo valor es 0,04 y *Krf* un coeficiente constante e igual a 2000 kg ha⁻¹.

Mortalidad de las raíces. La tasa de mortalidad de las raíces (*TMORTraices*, kg ha⁻¹ día⁻¹) su supuso que solamente depende de la biomasa de raíces presente y de la temperatura media de la superficie del suelo (*tmdsup suelo*, °C). Esta última variable determina la fracción diaria de raíces que muere diariamente (*mortraices*, día⁻¹).

$$TMORTraices = mortraices \times MSRAICES \quad (54)$$

$$mortraices = 0,03 \times \left(\frac{tmd \text{ sup suelo}}{30}\right)^{1,834} \quad (55)$$

De este modo, y de acuerdo a la cantidad de raíces presentes en un instante se genera el efecto de la biomasa radicular sobre el crecimiento de la parte aérea, el cual es cuantificado por la variable *ROOTSCALAR*.

Los cálculos asociados a la dinámica de las raíces se efectúan mediante la subrutina **Raíces**.

Submodelo de Valor nutritivo de la pradera.

El valor nutritivo de la pradera se simuló considerando que, desde el punto de vista nutricional, el principal factor que limita los procesos productivos de los rumiantes en pastoreo, bajo condiciones de pastoreo extensivo, es la disponibilidad de energía metabolizable. Es por ello que la principal variable necesaria de simular, lo constituye la digestibilidad de la pradera, la cual determina la concentración de energía metabolizable presente en el forraje. Por ello, la digestibilidad de la pradera

interconecta los submodelos de producción primaria con los submodelos de consumo y cambio de peso de los rumiantes.

La digestibilidad de la pradera se generó, tomando en cuenta separadamente la digestibilidad del material fotosintetizante (DIGmsv) y la digestibilidad del material muerto (DIGmsm). La digestibilidad del material verde, se supone que varía en función de la acumulación de la materia seca verde presente en la pradera. Esta variación se presenta en la Figura N° 9 y su expresión matemática es la que se define en la ecuación 56.

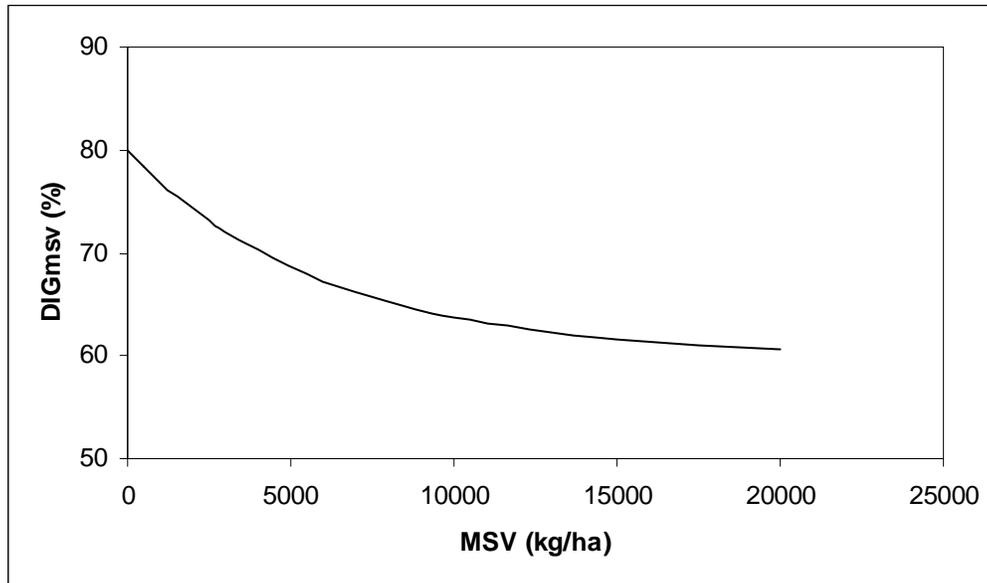


Figura N° 9. Variación de la digestibilidad de la materia seca verde (DIGmsv, %), en función de la cantidad de material verde presente en la pradera (MSV, kg ha⁻¹).

$$DIGmsv = (DIGmsv \max - DIGmsv \min) \times e^{-0,001246368 \times MSV} + DIGmsv \min \quad (56)$$

En la ecuación anterior, DIGmsvmax es el valor máximo que puede alcanzar digestibilidad del material verde (ej: 80%) y DIGmsvmin, el valor mínimo de la misma variable (ej. 60%).

A la digestibilidad de la materia seca muerta se le asignó un valor constante e igual a 40%.

Conocidas las cantidades de material verde (MSV, kg ha⁻¹), muerto (MSM, kg ha⁻¹) y la cantidad de materia seca total (MSTOTAL= MSV + MSM) presentes en la pradera, y sus respectivas digestibilidades, es posible por lo tanto, calcular la digestibilidad promedio de la pradera:

$$DIG_{prad} = \frac{(DIG_{msv} \times MSV + DIG_{msm} \times MSM)}{MSTOTAL} \quad (57)$$

Anexo 7.

Pasture management in Patagonia

(Ganadera Cerro Guido Project FIA C2002 PI 35)

Confidential Report to Ministry of Agriculture

(via Daniel Delorenzo and Rodrigo Allende)

Prepared by

Dr Derrick Moot

Associate Professor of Plant Science

Lincoln University

New Zealand

July 2007