

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**EVALUACIÓN DE SUSTENTABILIDAD EN SISTEMAS PASTORILES DE
PRODUCCIÓN DE LECHE EN EL LITORAL OESTE DEL URUGUAY,
MEDIANTE INDICADORES BIOFÍSICOS**

por

**Gerónimo CARDOZO CABANELAS
Ernestina URIBE ORTEGA**

**TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo**

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2010**

Tesis aprobada por:

Director:

Ing. Agr. (PhD) Pablo Chilibroste

Ing. Agr. Oswaldo Ernst

Ing. Agr. (PhD) Santiago Dogliotti

Ing. Agr. (Mcs) Enrique Favre

Fecha:

Autor:

Gerónimo Agustín Cardozo Cabanelas

Ernestina Uribe Ortega

AGRADECIMIENTOS

- A nuestras familias
- A los amigos
- A la AeA
- A la Universidad
- A los docentes que aportaron en la construcción de esta tesis y en nuestra formación
- A los productores y sus familias

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VII
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	3
2.1. <u>DESARROLLO SUSTENTABLE Y AGRICULTURA SUSTENTABLE</u>	3
2.1.1. <u>Desarrollo sustentable</u>	3
2.1.2. <u>Agricultura sustentable</u>	5
2.2. <u>EVALUACIÓN DE SUSTENTABILIDAD</u>	8
2.2.1. <u>Introducción</u>	8
2.2.2. <u>Indicadores utilizados para la evaluación de sustentabilidad</u>	9
2.2.3. <u>Marcos metodológicos para la evaluación de sustentabilidad</u>	11
2.2.4. <u>Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de recursos naturales integrando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS)</u>	14
2.2.4.1. <u>Introducción</u>	14
2.2.4.2. <u>Atributos</u>	15
2.2.4.3. <u>Etapas</u>	16
2.2.5. <u>Enfoque de sistemas en la evaluación de la sustentabilidad</u>	17
2.3. <u>TRAYECTORIA TECNOLÓGICA DE LA PRODUCCIÓN LECHERA</u>	18
2.3.1. <u>Introducción</u>	18
2.3.2. <u>Primera expansión: 1930-1960</u>	19
2.3.3. <u>Segunda expansión: 1975 en adelante</u>	20
2.3.3.1. <u>Primera fase de la segunda expansión (1975-81): crecimiento y agroindustrialización</u>	20
2.3.3.2. <u>Segunda fase de la segunda expansión: se afirma la industria exportadora</u>	21
2.3.3.3. <u>1991- 2000: transcurso de un nuevo período de expectativas y desafíos</u>	22
2.3.4. <u>La producción lechera actual en el Uruguay</u>	23
2.3.5. <u>Importancia económica y productiva de la lechería</u>	23
2.3.6. <u>Características generales de los establecimientos lecheros</u>	24
2.3.6.1. <u>Ingreso y combinación con otros rubros</u>	25
2.3.6.2. <u>Evolución en el uso del suelo</u>	25

2.3.6.3. Características de rodeo.....	27
2.3.6.4. Alimentación animal y productividad.....	28
2.4. LA LECHERÍA EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DE LA EEMAC.....	29
2.5. ANALISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS PRODUCTIVAS DE LA LECHERÍA ACTUAL.....	30
2.5.1. <u>Eficiencia general del proceso productivo</u>	31
2.5.2. <u>Dinámica de la producción de forraje</u>	34
2.5.3. <u>Conservación y estado de los recursos naturales</u>	35
2.5.4. <u>Grado de dependencia a factores externos</u>	39
2.6. SINTESIS DE LOS ANTECEDENTES.....	40
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	44
3.1. MARCO METODOLÓGICO.....	44
3.2. OBJETO DE ESTUDIO.....	44
3.3. FUENTES DE INFORMACIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS.....	45
3.4. SELECCIÓN Y MÉTODO DE CÁLCULO DE INDICADORES....	45
3.4.1. <u>Indicadores relativos a la productividad</u>	46
3.4.1.1. Indicador 1: eficiencia uso biomasa.....	46
3.4.2. <u>Indicadores relativos a la estabilidad</u>	47
3.4.2.1. Indicador 2: eficiencia de uso energía fósil.....	47
3.4.2.2. Indicador 3: erosión.....	47
3.4.2.3. Indicador 4: situación actual de materia orgánica.....	48
3.4.2.4. Indicador 5: cambio de stock carbono.....	48
3.4.2.5. Indicador 6: balance Nutrientes.....	49
3.4.2.6. Indicador 7: contaminación por plaguicidas.....	50
3.4.2.7. Indicador 8: diversidad- estabilidad.....	50
3.4.3. <u>Indicadores relativos a la adaptabilidad, resiliencia y confiabilidad</u>	51
3.4.3.1. Indicador 9: superficie efectiva de pastoreo lechero.....	51
3.4.3.2. Indicador 10: porcentaje del producto bruto representado por los gastos de funcionamiento....	51
3.4.3.3. Indicador 11: sensibilidad a precipitaciones.....	52
3.4.3.4. Indicador 12: sensibilidad a precios de la leche...	53
3.5. CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA AGROECOLÓGICA.....	53
3.6. CARACTERIZACIÓN DE LOS ESTABLECIMIENTOS EN ESTUDIO.....	55
3.6.1. <u>Caracterización productiva</u>	55
3.6.2. <u>Conceptualización de los predios en estudio</u>	58
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	60
4.1. ANALISIS DE LOS RESULTADOS POR INDICADOR.....	60
4.1.1. <u>Eficiencia de uso de la biomasa</u>	60
4.1.2. <u>Eficiencia de uso de la energía fósil</u>	62

4.1.3. <u>Pérdida de suelo por erosión</u>	64
4.1.4. <u>Estado actual de la materia orgánica</u>	66
4.1.5. <u>Cambio en el stock de carbono en el suelo</u>	68
4.1.6. <u>Balance de nutrientes: nitrógeno y fósforo</u>	70
4.1.6.1. Nitrógeno.....	70
4.1.6.2. Fósforo.....	73
4.1.7. <u>Contaminación por plaguicidas</u>	74
4.1.8. <u>Diversidad estabilidad</u>	75
4.1.9. <u>Superficie efectiva de pastoreo lechero</u>	77
4.1.10. <u>Importancia relativa en el producto bruto de los costos de funcionamiento</u>	79
4.1.11. <u>Sensibilidad a precipitaciones</u>	81
4.1.12. <u>Sensibilidad a los precios de la leche</u>	85
4.2. <u>EVALUACIÓN INTEGRADA DE LOS INDICADORES</u>	87
4.2.1. <u>Compromisos entre producción y degradación ambiental</u> ...	88
4.2.2. <u>Conflicto entre eficiencia productiva y conservación de recursos naturales</u>	88
4.2.3. <u>Sensibilidad a factores externos</u>	90
5. <u>CONCLUSIONES</u>	91
6. <u>RESUMEN</u>	95
7. <u>SUMMARY</u>	96
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	97
9. <u>ANEXOS</u>	105

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Dimensiones de análisis de la Sustentabilidad.....	8
2. Definición de los atributos de los sistemas.....	15
3. Variación porcentual del número de explotaciones, superficie y producción total entre el 2000/2007.....	24
4. Tipo de suplemento total.....	29
5. Indicadores utilizados y método de estimación.....	46
6. Escalas a utilizar según criterios de perennidad y riqueza específica.....	51
7. Tipo de explotación, recursos involucrados y escala de producción.....	55
8. Rotaciones teóricas e importancia por establecimiento	56
9. Uso promedio del suelo por establecimiento (%).....	56
10. Caracterización de los establecimientos en estudio.....	57
11. Composición de la dieta de los establecimientos en estudio (%).....	58
12. Ubicación de los predios en los modelos teóricos de Intensificación.....	59
13. Eficiencia de uso Energía Fósil por predio expresado en Mj consumido/ Mj producido por Hectárea.....	62
14. Diferencia entre el estado actual de la materia orgánica y la situación de origen.....	67
15. Cambio en el stock de carbono orgánico anual.....	68
16. Tasa de pérdida de carbono orgánico considerando el	

efecto de la perdida de suelo.....	69
17. Entradas, salidas, balance de nitrógeno expresado en Kg.Ha ⁻¹ Año ⁻¹	70
18. Entradas, salidas y balance de Fósforo expresado en Kg.Ha ⁻¹ Año ⁻¹	73
19. Indicador Diversidad- Estabilidad por predio y productividad de forraje.....	76
20. Superficie efectiva de pastoreo promedio anual según predio	77
21. Costo de funcionamiento según predio para el año 2009	80
Figura No.	
1. Uso del suelo ejercicio 06/07.....	26
2. Uso del suelo ejercicio 06/07 según escala.....	27
3. Eficiencia de uso de la biomasa consumida.....	61
4. Entradas según origen para cada predio.....	63
5. Perdidas de suelo por establecimiento.....	65
6. Entradas de nitrógeno según origen y eficiencia de uso	72
7. Entradas de nitrógeno según origen y eficiencia de uso sin considerar la fijación biológica.....	72
8. Entradas de Fósforo según origen y eficiencia de uso.	74

9. Contaminación por plaguicidas (Índice relativo).....	75
10. Superficie efectiva de pastoreo estacional.....	78
11. Carga estacional en función de la carga efectiva promedio	79
12. Evolución anual de los costos de funcionamiento según predio.....	80
13. Evolución de la producción relativa del predio 1, en el periodo Noviembre Abril para años seco y lluvioso...	81
14. Evolución de la producción relativa del predio 2, en el periodo Noviembre Abril para años secos y lluviosos.	82
15. Evolución de la producción relativa del predio 3, en el periodo Noviembre Abril para años secos y lluviosos.	82
16. Evolución de la producción relativa del predio 4, en el periodo Noviembre Abril para años secos y lluviosos.	83
17. Sensibilidad de los cuatro predios a las precipitaciones.	84
18. Producción primaveral según precio por leche, para el predio 1 y 2.....	85
19. Producción primaveral según precio por leche, para el predio 3 y 4.....	86
20. Diagrama ameba.....	87

Abreviaturas

AEI AgroEcoIndex

Bcho Barbecho

C Carbono

CN Campo natural

CO.N.E.A.T. Comisión Nacional de Estudios Agroeconómicos de la Tierra

DIEA Dirección General de Estadística Agropecuaria.

EF Energía fósil

FBN Fijación biológica de nitrógeno

Kg Kilogramos

MESMIS Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de recursos naturales integrando indicadores de Sustentabilidad

Mg Mega gramos

MJ Mega joules

MO Materia orgánica

SEPL Superficie efectiva de pastoreo lechero

PB Producto Bruto

PP Pradera

PPC Pradera corta

PPL Pradera larga

tt toneladas

VV Verdeo de verano

VI Verdeo de invierno

VBP Valor Bruto de producción

1. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas la lechería uruguaya ha experimentado fuertes transformaciones tecnológicas que han permitido aumentos significativos en la productividad de los sistemas. El aumento de productividad se ha basado en un incremento en el uso de insumos extra-prediales y un uso más intensivo de los recursos naturales, fundamentalmente el suelo (URUGUAY. MGAP. DIEA, 2007).

Este modelo de intensificación coloca una interrogante sobre la conservación de los recursos naturales en el largo plazo y la sensibilidad de los sistemas frente a cambios experimentados en el ambiente externo, principalmente climáticos y económicos. Información nacional reporta el deterioro de la base productiva en algunos sistemas intensivos de producción de leche.

A raíz de la identificación de los impactos negativos de la agricultura moderna, en las últimas décadas a nivel mundial se ha desarrollado el concepto de agricultura sustentable. Este enfoque considera aspectos sociales, económicos y ambientales en el manejo de los agroecosistemas. En este contexto de apertura académica se torna necesaria la investigación y profundización en el comportamiento de los sistemas lecheros, para anticipar y promover cambios que tiendan a garantizar su sustentabilidad en el largo plazo.

El presente trabajo corresponde a la tesis de grado de la carrera de Ingeniero Agrónomo, y se desarrolla en el área de influencia de la Estación Experimental de Facultad de Agronomía M. A. Cassinoni (EEMAC), Paysandú. Se plantea la hipótesis de que los modelos productivos de los sistemas lecheros dominantes en la zona comprometen su sustentabilidad en el tiempo.

Se plantea como objetivo analizar los procesos bio-físicos vinculados directamente con el manejo tecnológico y la producción en función de recursos involucrados, que puedan comprometer la sustentabilidad del sistema en el tiempo (*trade-offs*). Para ello se focaliza el análisis en la conservación y estado de los recursos naturales, la eficiencia general y el grado de dependencia a factores externos. Así mismo se busca validar y generar herramientas, que aporten información confiable para generar mejoras en los sistemas y a la vez que puedan servir de base para la generación de nuevas tecnologías.

Se excluyen del análisis las dimensiones social y económica de la sustentabilidad, por considerar que exceden a las posibilidades del trabajo de

tesis y dado que se pretende profundizar en la dimensión ambiental para conocer en detalle las relaciones y consecuencias de diferentes alternativas tecnológicas.

Se trabaja sobre la base de cuatro estudios de casos con características marcadamente diferentes y con los cuales existen antecedentes de trabajo de diferente índole desde la estación experimental. Se propone un conjunto de indicadores de sustentabilidad que permita evaluar estos agroecosistemas desde el punto de vista productivo-ambiental. Se utiliza el Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de recursos naturales integrando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS), de forma parcial y adaptándolo a las características del trabajo.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. DESARROLLO SUSTENTABLE Y AGRICULTURA SUSTENTABLE

Para los objetivos del presente trabajo se entiende necesario abordar los conceptos del desarrollo sustentable como marco de la agricultura sustentable. Si bien el centro de este trabajo se basa en el análisis del impacto ambiental de ciertas prácticas productivas y sistemas de producción, es necesario enmarcar la investigación dentro de la discusión general del desarrollo sustentable. Como se detallará a continuación el concepto de desarrollo sustentable implica el análisis conjunto de diferentes dimensiones. Por esta razón se presentan las concepciones abordadas por diferentes autores sobre este tema.

2.1.1. Desarrollo sustentable

Previo a la aparición del concepto de desarrollo sustentable predominó en diversos ámbitos, tanto académicos como políticos, una visión sobre la problemática del desarrollo y del medio ambiente donde el capital natural puede ser sustituido por capital monetario aportado por el hombre. *“Si es tan fácil sustituir los recursos naturales por otros factores, entonces, en principio, no hay ningún problema. El mundo, en efecto, puede seguir adelante sin recursos naturales, de forma tal que el agotamiento es tan sólo un acontecimiento, no una catástrofe.”* (Shiva, citado por Blixen et al., 2006). Esta visión positivista y extremadamente optimista de la tecnología elude el problema del desarrollo y de la degradación de los recursos.

El concepto de desarrollo sustentable comienza a tener mayor difusión a partir de la década del 80 cuando se publica el informe “Nuestro futuro común”, en 1987, donde se lo define como aquel que permite *“...asegurar que se satisfaga las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las propias”*. (WCED/ONU, 1987). Esta definición puede ser considerada el punto de partida a través del cual se generan las grandes corrientes de interpretación de la sustentabilidad.

Al existir una diversidad enorme de concepciones acerca de este punto y sobre la forma de clasificar las diferentes corrientes de pensamiento, se tomará algunas definiciones como marco general sin indagar exhaustivamente en la evolución histórica del concepto. Para ordenar la presentación de este punto es que se identifican grandes tendencias de pensamiento.

Jamieson, citado por Torres et al. (2004), indica la existencia de dos grandes corrientes. Por un lado la “sustentabilidad fuerte” y por otro la “débil”. El concepto de “sustentabilidad fuerte” deriva de la corriente ambientalista y se basa en mantener los recursos básicos, entendidos estos como materia, energía e información, inter e intrageneracionalmente. La sustentabilidad dentro de este enfoque se entiende como un concepto dinámico que contempla la diversidad espacial, temporal e implica generalmente modificaciones y reajuste de la relación del hombre con la naturaleza.

Una de las definiciones que puede incluirse dentro de esta tendencia es la de Rebellato (1999) que indica que el desarrollo sustentable debe *“...asegurar y potenciar el sistema ecológico, del cual somos parte fundamental pero no única. Supone potenciar diversidades: la biodiversidad y la diversidad cultural, expresiones de la vida. Pero que, a su vez, requiere asegurar condiciones para que esa diversidad sea posible. Un desarrollo sostenible en tanto los sujetos populares ejercen un control que asegure la defensa, conservación, fortalecimiento de los recursos naturales, rechazando la mercantilización que sobre los mismos ejercen los modelos neoliberales. Un desarrollo sostenible que asegure la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras. Por tanto, un desarrollo sostenible basado en una ética de la responsabilidad individual, colectiva, social, ecológica.”*

El concepto de “sustentabilidad débil” deriva de la economía neoclásica, y busca no comprometer los recursos, de modo de mantener de esta manera la producción de capital. Esta corriente cree en la posibilidad de sustituir los recursos naturales por capital como ser tecnología, mercancías alternativas o servicios ambientales de compensación. En esta corriente no se contempla la diversidad, tampoco se hace un cuestionamiento ni se cree necesaria una readecuación de la actual economía de mercado.

Se interpreta que muchas de las visiones de algunos organismos internacionales como ONU, FAO e IICA se afilian a esta corriente de pensamiento cuando por ejemplo se asegura que *“En los gobiernos nacionales y en las instituciones multilaterales ha aumentado la conciencia de que es imposible separar las cuestiones de desarrollo económico de las del medio ambiente. Muchas formas de desarrollo agotan los recursos del medio ambiente en los que deben basarse y el deterioro del medio ambiente puede socavar el desarrollo económico.”* (WCED/ONU, 1987).

Otros autores como Max-Neef (1993), plantean la necesidad de acercar los problemas sobre el desarrollo a las necesidades humanas, buscando las diferentes formas en que estas son satisfechas. Para ello hace una clara conceptualización de las necesidades humanas y las formas en que estas son

cubiertas por diferentes satisfactores. También reivindica la importancia de lo micro sobre lo macro, de la micro organización y de lo local, en una estrategia de desarrollo que tienda efectivamente a mejorar la satisfacción de las necesidades humanas.

2.1.2. Agricultura sustentable

Al igual que el punto anterior, sobre este tema existe una variada y amplia gama de opiniones y corrientes. A continuación se expondrán algunas de las visiones que se consideran relevantes a tener en cuenta.

Para entender el proceso y desarrollo de la agricultura moderna es clave lo que señala Goodman et al., citados por Scarlatto (1999). *“La transformación industrial de la agricultura ocurrió históricamente a través de una serie de apropiaciones parciales y discontinuas del trabajo rural y de los procesos biológicos de producción (máquinas, fertilizantes, semillas, biotecnologías), y del desarrollo paralelo de sustituciones industriales para los productos rurales.”*

Buscando entender, en mayor medida, las características de la agricultura moderna y convencional, derivada de la amplia difusión de la Revolución Verde en las décadas pasadas, tomamos los aportes de Glisseman (2002). Este, al igual que muchos otros autores, identifica las características generales de este modelo, a la vez que señala sus consecuencias principales.

Las características fundamentales que definen la agricultura moderna son la labranza intensiva, el monocultivo, la aplicación de fertilizantes sintéticos, la irrigación, el control químico de plagas y arbenses y la manipulación del genoma vegetal. Las consecuencias más destacadas de este enfoque agrícola, y de la implementación en diversas regiones son la degradación del suelo, una dependencia de insumos externos, el uso excesivo y pérdida de agua, la contaminación del ambiente y la pérdida de diversidad genética. También se señala la pérdida del control sobre la producción agrícola por parte de la comunidad local, e inequidad global.

Estas externalidades son las que cuestionan la sostenibilidad de este modelo. Todos estos elementos de la agricultura de hoy deben ser conocidos y replanteados en la medida que son las limitantes de una agricultura sostenible en el largo plazo; las alternativas a crear las deben superar (Glisseman, 2002).

Históricamente se ha utilizado a la agricultura sustentable como “término paraguas”, ya que dentro del mismo se incluyen una diversidad de

filosofías de producción, las cuales generalmente engloban a todas las formas alternativas a la producción tradicional.

Según Allen, citado por Chiappe (2008) pueden identificarse dos enfoques principales y contrastantes sobre agricultura sustentable. El primero de carácter reduccionista, se centra en la ecología y tecnología de los procesos agropecuarios, se preocupa por la conservación de los recursos, calidad del ambiente y en ocasiones de aspectos económicos. En tanto que la segunda visión es más amplia y tiene en cuenta aspectos sociales, económicos y políticos que operan en el sistema agrícola alimenticio.

Como ejemplo de la primera visión se puede mencionar la definición de FAO, en la medida que prioriza la dimensión ecológica, *“Agricultura sustentable es el manejo y conservación de los recursos naturales y la orientación de cambios tecnológicos e institucionales de manera de asegurar la satisfacción de las necesidades humanas en forma continuada para las generaciones presentes y futuras. Tal desarrollo sustentable conserva el suelo, el agua, y recursos genéticos animales y vegetales; no degrada al medio ambiente; es técnicamente apropiado, económicamente viable y socialmente aceptable”* (Chiappe, 2008).

Chiappe (2008) indica que si bien se mencionan los conceptos de las dimensiones sociales y económica el *“uso de los términos es ambiguo y se puede prestar a múltiples interpretaciones”*. Al no definir el sujeto de la sustentabilidad se corre el riesgo de seguir manteniendo las relaciones de desigualdad social y económica. Max-Neef (1993) en su libro sobre el desarrollo a escala humana, se centra en los problemas del desarrollo y los sujetos del desarrollo, haciendo un fuerte énfasis en la necesidad de que los actores sociales, en particular los más desfavorecidos, deben tener un rol protagónico como sujetos de su desarrollo.

Dentro de las definiciones vinculadas a la visión más amplia se puede ubicar al Centro de Agroecología de la Universidad de California en Santa Cruz, citado por Glissman (2002), que indica que *“una agricultura sostenible es aquella que reconoce en su totalidad el sistema alimenticio, nutrición animal y producción de fibra en un balance equitativo de lo concerniente al ambiente de solidez, igualdad social y viabilidad económica, entre todos los sectores de público incluyendo la población internacional e intergeneracional”*.

En el mismo sentido Altieri (1999) indica que la búsqueda hacia una agricultura sustentable debe partir de la identificación de los problemas de la agricultura moderna. Según el autor existen graves consecuencias como resultado de este modelo de producción; estas son la degradación ambiental,

problemas sociales y la alta presión sobre los recursos naturales. La agricultura sustentable deberá tomar aportes del conocimiento tradicional y moderno.

Algunos autores como Altieri y otros (vinculados a la Agroecología), más relacionados con el segundo grupo, son ubicados por Tommasino (2006a) dentro de los que llama “críticos de crecimiento más conservación”. Estos, si bien proponen que el sistema debe mejorar con diferentes mecanismos, y en algunos casos hasta se mencionan cambios estructurales, no abordan claramente las modificaciones de las relaciones de producción como elemento central del cambio.

Para Caporal y Costabeber (2002), *“..se trata de una orientación cuyas pretensiones y contribuciones van más allá de los aspectos meramente tecnológico o agronómico de la producción agropecuaria, incorporando dimensiones más amplias y complejas, que incluyen tanto variables económicas, sociales y ecológicas, como variables culturales, políticas y éticas”*. Los autores mencionan a la Agroecología como el *“...campo de conocimiento que proporciona las bases científicas para apoyar los procesos de transición desde el modelo de agricultura convencional hacia estilos de agricultura de base ecológica o sustentable, así como desde el modelo convencional de desarrollo hacia procesos de desarrollo rural sustentable”*.

El concepto de sustentabilidad es dinámico. No puede decirse que un sistema es sustentable per se, sino que es más o menos sustentable en comparación con otro de referencia, en el tiempo o incluso consigo mismo. Es importante resaltar que buscar la sustentabilidad supone procesos, donde no todos los objetivos pueden ser alcanzados al mismo tiempo. Por otro lado, para volverse un concepto operativo, la sustentabilidad debe verse en un ecosistema específico. Esto supone que su contenido varía en tiempo y espacio, y puede complejizarse en función del objeto a que se aplique (González de Molina et al., citados por Blixen et al., 2006).

La mayoría de los autores que abordan el tema de la Sustentabilidad, y en particular la agrícola, mencionan claramente tres dimensiones: social, ambiental y económica, como parte esencial de la sustentabilidad. La relación entre las dimensiones y el peso relativo de cada una en el estudio de la sustentabilidad varía entre los diferentes autores, incluso existen casos en que se mencionan otras dimensiones de análisis como lo cultural, político, etc. Sarandón (2002), en referencia a las dimensiones expresa que las tres deben darse simultáneamente, no son reemplazables los unos con los otros y son igualmente importantes.

Cuadro No. 1: Dimensiones de análisis de la sustentabilidad

Dimensión de análisis de la sustentabilidad	Concepto
Social	Hace referencia a la satisfacción de las necesidades básicas y al incremento de las “capacidades humanas” como alimentación y abrigo, y el mejoramiento del nivel de las necesidades sociales y culturales como seguridad, equidad, libertad, educación, empleo y recreación.
Ecológica	Se basa en el mantenimiento de la calidad de los recursos y su productividad. Demanda la preservación del suelo, aguas subterráneas y superficiales y la conservación de la biodiversidad.
Económica	Resulta de la combinación de factores de producción, de las interacciones con el medio y de las prácticas productivas ejecutadas.

Fuente: adaptado de Tommasino et al. (2005)

Rosset y Altieri, citados por Chiappe (2008) sostienen que, *“cualquier paradigma alternativo que ofrezca alguna esperanza de sacar a la agricultura de la crisis debe considerar las fuerzas ecológicas, sociales y económicas. Un enfoque dirigido exclusivamente a aminorar los impactos medioambientales, sin dirigirse a las difíciles condiciones sociales de austeridad que enfrentan los agricultores o las fuerzas económicas que perpetúan la crisis, está condenado al fracaso”*.

En resumen, la forma en que la agricultura sustentable se viabiliza en los sistemas reales de producción implica reducir el uso de energía, la degradación de recursos y las pérdidas de nutrientes; debe emplear métodos de producción que restablezcan los mecanismos homeostáticos, optimizar las tasas de reciclaje de materia orgánica y nutrientes, utilizar al máximo la capacidad multiuso del sistema y asegurar un flujo eficiente de energía. De igual forma debe fomentar la producción local de productos alimenticios adaptados al entorno socioeconómico y natural; y reducir los costos y aumentar la eficiencia y la viabilidad económica (Altieri, 1999).

2.2. EVALUACIÓN DE SUSTENTABILIDAD

2.2.1. Introducción

A medida que los términos desarrollo sustentable y agricultura sustentable se popularizan en las diferentes sociedades del mundo, comienza a surgir la necesidad de materializar en resultados concretos estos términos. De

esta manera generar estudios que promuevan cambios en las políticas de desarrollo se hace necesario.

Por parte de la ONU (1992), se promueve la construcción de indicadores que permitan evaluar el proceso de sustentabilidad de sistemas. *“Fomentar, en todos los Estados miembros, la utilización de indicadores de un desarrollo sostenible en sus programas nacionales de planificación económica y social y en sus procedimientos de adopción de decisiones, con miras a la eficaz integración de los sistemas de contabilidad ecológica y económica integrada en la planificación del desarrollo económico en el plano nacional”*.

Algunos autores plantean que para la puesta en práctica del concepto de desarrollo sustentable es necesario evaluar el progreso hacia ese modelo de desarrollo, siendo condición necesaria para la aplicación de una agricultura sustentable. Para ello los indicadores tradicionales de mercado son incapaces de integrar el nivel de erosión del sistema natural, por lo que parecería imprescindible complementarlos con indicadores de sustentabilidad y con métodos para la evaluación de los impactos medioambientales de la agricultura (Van der Werf y Petit, Gallopín, citados por García, 2008).

Sarandón (2002), plantea que actualmente existe consenso sobre la necesidad de apuntar a una agricultura sustentable, pero en los hechos esto no ha superado la etapa declarativa, sin operativizar el término. Las principales causas de esta situación son:

- La ambigüedad y poca funcionalidad del concepto (no se sugiere como hacerlo)
- Las características multidimensionales de la sustentabilidad,
- La dificultad de percibir claramente los problemas con un enfoque reduccionista generalmente utilizado en ámbitos científicos académicos,
- La ausencia de parámetros comunes de evaluación, junto con el uso de herramientas y metodologías adecuadas.
- Falta de valor objetivo que posibilite la comparación y análisis ya sea entre diferentes sistemas o en un mismo sistema productivo.

2.2.2. Indicadores utilizados para la evaluación de sustentabilidad

Para Masera (2000), los indicadores describen un proceso específico o un proceso de control a diferencia de un valor que aporta información puntual, siendo particulares a los procesos en los que están insertos, sin existir por lo tanto una lista de indicadores universales para todos los sistemas. En el mismo sentido Sarandón (2002) indica que no existe un conjunto de indicadores

universales que puedan ser utilizados para cualquier situación. Estos deben construirse y adaptarse a la situación en análisis y ser adecuados para los objetivos propuestos.

Diversos autores han propuesto sistemas de indicadores entendidos como *“algo que hace claramente perceptible una tendencia o un fenómeno que no es inmediatamente ni fácilmente detectable, y que permiten comprender, sin ambigüedades, el estado de la sustentabilidad de un agroecosistema o los aspectos críticos que ponen en peligro la misma”* (Sarandón, citado por Sarandón, 2002). Los indicadores pueden ser entendidos como señales que revelen los cambios que ocurren en determinadas condiciones o los resultados de procesos concretos, deben señalar el estado de estos sistemas complejos y tener la capacidad de poder captar la complejidad que les es inherente (Tommasino et al., 2006b).

Según Torquebiau, Bakkes et al., Dumanski, citados por Masera et al. (2000) los indicadores incluidos en un estudio de evaluación de sustentabilidad deben presentar ciertas características para ser adecuados y útiles. Las mismas son:

- Ser integradores, dando información condensada sobre varios atributos importantes del sistema.
- De fácil medición, susceptibles de monitorear y basados en información fácilmente disponible.
- Estar de acuerdo con el nivel de agregación del análisis del sistema a estudiar.
- Ser aplicables a un amplio rango de ecosistemas y a condiciones socioeconómicas y culturales diferentes.
- Ser altamente robusto, relevando claramente lo que se quiere evaluar.
- Estar basados en información de base confiable, ya sea directa o indirecta.
- Deben ser sencillos de interpretar y comprender.
- Ser sensibles al cambio de las características medidas en el periodo de evaluación.
- Centrarse en aspectos prácticos y claros con el objetivo de facilitar la participación de la población local en el proceso de medición.

Sarandón (2002), incorpora como características de los indicadores de sustentabilidad los conceptos de habilidad predicativa (indicando la tendencia a futuro si se prolongan las condiciones del momento en que se realiza la evaluación) y la necesidad de estar directamente vinculado con algún requisito de sustentabilidad.

2.2.3. Marcos metodológicos para la evaluación de sustentabilidad

Los marcos metodológicos para la evaluación de sustentabilidad generalmente presentan una estructura jerárquica: los principios o atributos generalmente predefinidos, como lo más general y los indicadores definidos según el contexto o según los atributos, como lo más particular. Según los autores los marcos de evaluación ofrecen un sustento analítico para el estudio y la comparación de sistemas de manejo diferentes con una base multidimensional; a la vez permiten priorizar y seleccionar un conjunto de indicadores para el monitoreo de un sistema de manejo y en definitiva ayudan a guiar el proceso de planificación y toma de decisiones (Galvan-Miyoshi et al., 2008).

A partir de la revisión realizada por Galvan-Miyoshi et al. (2008), donde se analizan en profundidad trece marcos de evaluación considerados representativos de la diversidad que existe en la actualidad, se pueden identificar las características que debe presentar un marco robusto independientemente de su orientación y uso.

Las características de los marcos de evaluación mencionadas por los autores son:

- El enfoque: Este puede ser orientado a objetivos centrales de sustentabilidad o un enfoque sistémico. Los primeros están centrados en aspectos generales que debería cumplir un sistema de manejo para ser sustentable (p. ej. conservación de suelos). Sin embargo los segundos hacen énfasis en el estudio de las propiedades emergentes y en el análisis de las interacciones entre los procesos sociales, económicos y ambientales. Los marcos que desarrollan un enfoque basado en objetivos, si bien permiten identificar cuál es el estado dado de un sistema y cuál sistema es más sustentable que otro, no indica los elementos que permiten que ese sistema se mantenga en ese estado ni analiza cómo reaccionaría frente a cambios en las condiciones externas.

- Unidades o dimensiones de análisis: La gran diversidad de marcos abarca desde aquellos que incorporan las tres dimensiones (económica, social y ambiental) como aquellos que ponen énfasis en alguna de las dimensiones en particular. Algunos marcos parten de considerar que las áreas socioeconómicas y ambientales se encuentran en constante conflicto y que el camino para llegar a la sustentabilidad es reducir dicha tensión. En cambio otros más complejos centran su análisis en las interacciones dinámicas entre factores

socioeconómicos y ambientales, y sus propiedades emergentes que afectan la sustentabilidad.

- Tipo de evaluación: Existen dos grupos de marcos de evaluación al considerar este punto. Están aquellos que evalúan las alternativas de manejo antes de su implementación, *ex -ante*, y por el contrario, la más utilizada en los marcos es aquella que diagnostica los sistemas una vez que ya se han implementado ciertas características de manejo, *ex -post*. Las evaluaciones *ex -post* contribuyen a la clasificación de sistemas, mientras que la evaluación *ex -ante* se propone como método de planificación. Para que la evaluación pueda ser un proceso de acción-evaluación-acción, ambos enfoques deben ser articulados.

Con respecto al tipo de evaluación Dogliotti¹ indica que el tipo de evaluación no es una característica propia de un marco metodológico puntual, dado que un mismo marco puede ser utilizado indistintamente para evaluaciones *ex - post* o *ex - ante*. En este sentido propone una clasificación alternativa con respecto al tipo de evaluación. Por un lado la evaluación de la sustentabilidad por si misma y por otro la evaluación comparativa entre diferentes escenarios. Para las evaluaciones comparativas los elementos fundamentales se refieren al tiempo de análisis, retrospectivos (situaciones pasadas) o prospectivos (escenarios proyectados); y a las unidades de comparación horizontal (entres diferentes sistemas) o vertical (un mismo sistema en diferentes tiempos).

- Escala de evaluación: los marcos de evaluación aplican múltiples escalas, aunque la integración de múltiples escalas dentro de un mismo marco es sumamente compleja. Las dimensiones de escalas de análisis se pueden definir como: espacial, organizacional y temporal. La primera implica el nivel espacial de análisis, que puede ir desde una finca o parcela hasta una región o continente. La segunda tiene que ver con las interacciones que se dan en las unidades básicas que encabezan los sistemas y su dinámica, estos pueden ser desde un individuo, una familia hasta una comunidad, etc. A medida que se avanza a niveles superiores aumentan los niveles de complejidad y las relaciones que existen dentro de los sistemas se hacen cada vez más complejas. Por último la dimensión temporal implica la duración de la observación a un determinado sistema. Este aspecto, aunque se considera un elemento fundamental e intrínseco al concepto de sustentabilidad, es débilmente incorporado en la mayoría de los marcos.

¹ Dogliotti, S. 2010. Com. personal

- Formas de generar los indicadores: Los indicadores pueden ser derivados a partir de la consulta a expertos o actores sociales relevantes (*Top down*, de arriba a abajo), o de forma inversa a partir de la identificación de los puntos críticos en la caracterización del sistema. En este caso el conjunto de indicadores estará más acorde con la problemática específica de cada sistema en particular. Existen también enfoques que contemplan ambas visiones en su propuesta de trabajo.

- Integración de indicadores: Implica un nivel superior de análisis (global) una vez obtenidos los resultados, esto no es incorporado o está ausente en muchos de los marcos. Existen tres tipos posibles para la integración de indicadores; la generación de un índice global por ponderación de los indicadores, la representación gráfica y modelos de optimización y simulación.

- Participación: Existen marcos que no contemplan la participación de los actores, donde el estudio es llevado a cabo por expertos. Otros enfatizan la necesidad de incorporar en la evaluación diversos actores sociales (académicos, organizaciones sociales, gobierno y productores), aunque presentan inconvenientes operativos para llevarlo adelante e incorporar a dichos actores en todas las etapas del proceso. Según Dogliotti¹, el objetivo de evaluación determina la importancia de la participación de los actores. Esta misma se torna indispensable en los casos donde se busca promover cambios en los sistemas de manejo y se hace menos relevante en aquellas situaciones en las que el objetivo final de la evaluación es realizar un diagnóstico de un determinado sistema.

- Experiencia en la aplicación: La aplicabilidad de los marcos está afectada por la flexibilidad para adaptarse a diversos sistemas de manejo y capacidades técnicas; aquellos marcos demasiado específicos y técnicos no pueden ser utilizados en otras situaciones diferentes a aquella para la cual fue creada. Dado que la evaluación de sustentabilidad debe ser más que un ejercicio académico, esta tiene que ser validada y mejorada a través de su puesta en práctica.

A partir de la diversidad de marcos metodológicos disponibles para realizar evaluaciones de sustentabilidad se detallan a continuación las principales características del Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de recursos naturales integrando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS). Dicho marco es el que se utiliza en la presente investigación por considerarse que se ajusta adecuadamente a las características y objetivos del mismo.

2.2.4. Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de recursos naturales integrando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS)

2.2.4.1. Introducción

El marco MESMIS surge a mediados de los 90, a raíz de un trabajo realizado por varios investigadores de diferentes áreas en la evaluación de sustentabilidad de sistemas productivos en México, por iniciativa de la Fundación Rockefeller. La primera publicación se realizó en el año 1999 por Maserá, Astier y López-Riadura. El desarrollo del marco implicó el aporte de diferentes autores provenientes de distintas disciplinas que, a través de los años y a medida que este marco fue aplicado en casos reales de producción, incorporaron cambios e innovaciones para superar a las propuestas precedentes (Maserá et al., 2008).

Este marco es un proceso de evaluación de Sustentabilidad cíclico, sistémico y multiescalar, basado en un enfoque participativo, con una retroalimentación constante con el equipo evaluador y validado mediante estudio de casos. A su vez presenta una estructura flexible que le permite adaptarse a diferentes niveles de información y capacidades técnicas disponibles localmente. Como objetivo fundamental busca aportar elementos concluyentes para la mejora de los sistemas de manejo de recursos naturales, a partir de una reflexión crítica para entender de manera integral las posibilidades y limitantes en búsqueda de sistemas más sustentables (Maserá et al., 2008).

El MESMIS intenta ser un esfuerzo por romper con el enfoque productivista y de corto plazo actualmente dominante en el manejo de los recursos naturales, impulsando un acercamiento participativo y plural, para el diseño de sistemas más sustentables. La generalización de este tipo de enfoques busca aportar herramientas para investigadores, técnicos y manejadores, que permitan generar alternativas de largo plazo (Maserá et al., 2008).

En base a lo mencionado anteriormente se puede resaltar la flexibilidad, el enfoque holístico en el abordaje de sistemas de producción y su amplia experiencia de aplicación en diversidad de casos como las características del marco que justifican su uso como herramienta metodológica para el presente trabajo.

2.2.4.2. Atributos

La sustentabilidad se concibe de forma dinámica, multidimensional y multiescalar, específica a un determinado tiempo y espacio. Los sistemas sustentables deben tener la capacidad de ser productivos, autorregulables y de transformarse sin perder su funcionalidad (Masera et al., 2008). Estas capacidades de los sistemas se analizan a través de los atributos mencionados en cuadro siguiente.

Cuadro No. 2: Definición de los atributos de los sistemas

Atributo	Definición
Productividad	Es la capacidad de un agroecosistema para brindar el nivel requerido de bienes y servicios.
Estabilidad	Está dada por la capacidad interna de autorregular el estado de sus variables críticas, manteniéndola dentro de un rango de valores que permite el funcionamiento del proceso. Un proceso estable amortigua internamente las perturbaciones externas, uno inestable las amplifica internamente.
Confiabilidad	Capacidad de un sistema de que en el operen mecanismos de autorregulación ante perturbaciones dadas. Este atributo solo puede ser aplicado en sistemas estables.
Adaptabilidad	Es la capacidad que tiene un sistema para reorganizarse internamente cuando experimenta cambios internos o externos irreversibles.
Resiliencia	Es la capacidad – velocidad con la que una determinada variable regresa a su estado previo luego de una perturbación puntual, en un proceso estable y es dependiente de mecanismos de autorregulación.
Autogestión	Un sistema presenta mayor autodependencia cuando tiene la capacidad de funcionar, regularse y evolucionar a partir de sus propios recursos, interacciones y procesos internos y depende menos de los factores externos que no controla.
Equidad	Es la medida en que un sistema permite redistribuir de manera apropiada los beneficios y costos entre los agentes sociales que participan en el proceso productivo. (Intra e intergeneracionalmente).

Fuente: García-Barrios et al. (2008)

A partir de estos atributos y en función de las características específicas del sistema a evaluar se define el conjunto de indicadores a utilizar, que guardan estrecha relación con los atributos del sistema y contemplan las tres dimensiones.

2.2.4.3. Etapas

El marco MESMIS posee una estructura de ciclos dinámicos sucesivos, que determinan un proceso helicoidal de evaluación, lo cual contrasta con otros marcos que generalmente hacen la evaluación de los sistemas en un tiempo estático. Cada ciclo de evaluación consta de seis pasos y cubre las características del sistema de manejo, sus atributos, la obtención de los indicadores, un proceso de integración de los mismos y, por último, una fase de conclusión y recomendaciones (Maserá et al., 2008).

Se describen a continuación los pasos de la metodología MESMIS desarrollados por Maserá et al. (2008):

- Definición del objeto de la evaluación: se debe identificar y caracterizar claramente el sistema de manejo a analizar, definiendo claramente sus límites, componentes, subsistemas, relaciones, entradas y salidas, y contemplando su contexto socioambiental. También en este momento se define la escala espacial y temporal de la evaluación. Se debe caracterizar el sistema de referencia para hacer comparaciones transversales (comparación en un mismo tiempo) y el sistema alternativo para posteriormente realizar comparaciones de tipo multitemporales, dependiendo del caso.

- Identificación de los puntos críticos del sistema: determinando los aspectos o procesos que hacen al sistema sostenerse en el tiempo, estos son críticos en la medida que facilitan u obstaculizan los atributos del sistema. La identificación de los puntos críticos del sistema permite dimensionar el problema bajo análisis.

- Selección de los criterios de diagnóstico e indicadores: el criterio de diagnóstico describe los atributos generales de sustentabilidad, siendo un nivel de análisis más detallado que los atributos, pero más general que los indicadores. Constituye el vínculo necesario entre atributos, puntos críticos e indicadores, con el fin de que estos últimos permitan evaluar de manera efectiva y coherente la sustentabilidad del sistema. Los criterios de diagnóstico se definen según el área de evaluación (ambiental, económica y social). Es importante resaltar que los indicadores son específicos para cada caso o sistema de análisis, dependiendo del problema bajo estudio, la escala del proyecto, el tipo de acceso y disponibilidad de datos.

- Medición y monitoreo de los indicadores: una vez obtenidos los indicadores es necesario discutir el proceso de medición y monitoreo, puesto que la sustentabilidad se refiere al comportamiento del sistema en el tiempo.

Existe un amplia gama de métodos de toma de información, considerando la variable temporal, estas pueden ser: monitoreo, análisis de series históricas o el modelaje de algunas variables.

- Integración de resultados: la finalidad de esta etapa es emitir un juicio de valor sobre los sistemas de manejo. Para ello se deben resumir e integrar los resultados obtenidos mediante monitoreo de los indicadores. Se pasa de una fase de diferenciación, centrada en la recopilación de datos para cada indicador, a una de síntesis de información. Se deben analizar finalmente, las relaciones entre indicadores, incluyendo retroalimentaciones positivas o negativas. El monitoreo periódico de los indicadores utilizados será un elemento clave para la identificación y cuantificación de sus relaciones recíprocas.

- Conclusiones y recomendaciones sobre los sistemas de manejo: permite recapitular los resultados del proceso de análisis para así emitir un juicio de valor comparando entre sí distintos sistemas en relación a su sustentabilidad. También permite reflexionar sobre el proceso mismo de evaluación y plantear estrategias y recomendaciones que permitirán dar inicio al nuevo ciclo de evaluación de los sistemas de manejo en un estado cualitativamente diferente. En esta etapa se deben presentar una valoración de la sustentabilidad del sistema alternativo en comparación con el sistema tradicional y una discusión de los principales elementos que permiten o impiden al sistema alternativo mejorar la sustentabilidad frente al sistema de referencia.

Para conseguir los objetivos planteados es imprescindible la participación de productores, técnicos, investigadores y demás actores vinculados al proceso de evaluación.

2.2.5. Enfoque de sistemas en la evaluación de la sustentabilidad

El marco MESMIS presenta un enfoque sistémico y toma como base de análisis sistemas de manejo de recursos naturales, por lo tanto se torna fundamental profundizar en los conceptos básicos del enfoque de sistemas ya que serán utilizados a lo largo del trabajo.

El enfoque de sistemas surge a partir de las limitantes identificadas en el enfoque reduccionista-mecanicista. A principios de siglo XX von Bertalanffy desarrolla la Teoría General de los Sistemas donde se entiende al sistema como un todo indivisible cuyas partes se encuentran interrelacionadas, y donde la comprensión del todo no surge de la mera suma de sus partes (Saravia, 1983).

Para el caso de la agricultura, el enfoque de sistemas comienza a ser utilizado posteriormente al surgimiento de la Revolución Verde. A partir de 1970, se comienza a prestar atención a ambientes menos favorables para el desarrollo de la agricultura, en los cuales la Revolución Verde había sido menos adoptada. En estos ambientes más complejos el enfoque tradicional (reduccionista) fue insuficiente para dar respuestas. Por esta razón se hizo necesaria la aplicación de un enfoque diferente que entendiera de una manera holística la globalidad de los procesos, abarcando diferentes puntos de vista, físicos-naturales, socio-culturales y económicos (Foladori y Tommasino, 2006).

Haciendo alusión a los sistemas agrícolas específicamente, Hart (1976) propone que los agroecosistemas son ecosistemas intervenidos y domesticados por el hombre, de carácter abierto ya que reciben del exterior insumos así como otras entradas que dan como resultado productos y subproductos. La manera en que las entradas son utilizadas en la producción de determinadas salidas es lo que caracteriza el funcionamiento del sistema.

Venegas y Siau, citados por Tommasino y de Hegedüs (2006), señalan que los sistemas de producción agropecuarios tienen carácter sistémico en la medida que presentan objetivos globales, tienen organización y sinergia, dado que la totalidad del sistema no es lo mismo que la suma de sus partes. Poseen también características recursivas, ya que los sistemas están compuestos por subsistemas o sistemas menores, a la vez que forman parte de un sistema mayor del cual constituyen un subsistema. Tienen jerarquía, es decir que un sistema jerárquico se encuentra compuesto por otros sistemas interrelacionados a su vez; es jerárquico respecto a otros. Tienen estructura y funcionamiento, presentan interacciones vinculadas entre los elementos, los subsistemas y el sistema global, tienen permanencia en el tiempo.

2.3. TRAYECTORIA TECNOLÓGICA DE LA PRODUCCIÓN LECHERA

2.3.1. Introducción

Para comprender el funcionamiento de los sistemas lecheros actuales e identificar y analizar los problemas que enfrentan, resulta imprescindible estudiar la evolución que han tenido los mismos a lo largo de la historia. Así como mencionan Mondelli y Picasso (2001) *“para comprender la dinámica tecnológica de un sector resulta ineludible determinar las trayectorias tecnológicas de los agentes, entendidas como su patrón de evolución tecnológica”*. Para ello se deben tener en cuenta, además, los aspectos relacionados al papel de la industria y al contexto nacional e internacional que condicionaron de alguna manera dicha evolución.

La gran heterogeneidad de situaciones productivas que se pretenden comprender, está fuertemente ligada a asimetrías tecnológicas de las mismas. Según Possas, citado por Mondelli y Picasso (2001), para entender dichas asimetrías resulta clave comprender tres aspectos:

- “oportunidad tecnológica”, es decir la potencialidad que ofrece la tecnología para obtener un avance tecnológico relevante y rentable a partir de un cierto esfuerzo de innovación.
- “apropiabilidad privada” de los beneficios de la innovación, es decir la posibilidad de que una empresa que incorpora cierta tecnología mejore su rendimiento económico a partir de la misma.
- “acumulatividad de las capacidades tecnológicas”, que implica que existe una capacidad diferencial que favorece a una empresa que logra innovar antes que otra que no lo hace.

Comprender el impacto de estas tres características en la trayectoria tecnológica que ha seguido el sector lechero en el Uruguay representa una herramienta fundamental para avanzar en el estudio de los sistemas desarrollados en la actualidad y comprender las diferencias entre ellos.

Según Hernández (2002) se pueden identificar diferentes etapas en la trayectoria tecnológica en el sector lechero, que explican las características actuales del mismo. Estos grandes saltos o “expansiones” son agrupados por el autor en primera y segunda expansión que se detallan a continuación.

La caracterización de estas etapas se basa fundamentalmente en la incorporación de tecnologías y en los cambios a nivel productivo que han experimentado los establecimientos lecheros. Se excluye de la caracterización aspectos sobre las consecuencias sociales, económicas y ambientales que muchos de los saltos tecnológicos han provocado. Estas dimensiones asociadas a la tecnología, no se desarrollan por falta de información, pero deberían ser incorporados en los análisis sobre evolución tecnológica.

2.3.2. Primera expansión: 1930-1960

El origen de esta primera expansión se debe al aumento en el consumo interno, que así como el lechero también afecta a otros sectores de producción. Ésta se desarrolla en base a un crecimiento horizontal que implica el aumento de área de los tambos ya existentes y una incorporación de nuevos productores manteniéndose la lógica de producción predominante.

En cuanto a las características productivas de los sistemas se destaca una dieta basada en campo natural, verdes anuales y alto suministro de concentrados por litro de leche. Esta estructura genera una alta dependencia a la estacionalidad del forraje, lo cual necesariamente redundará en altos costos por litro de leche, mala performance reproductiva y necesidades de cubrir el déficit estacional importando leche en polvo de otros países.

Durán (2004), denomina a este modelo productivo como pastoril extensivo, el cual posee un costo de producción mayor al precio de la leche lo que hace inviable el modelo.

Dentro de esta etapa existen dos sucesos trascendentales, que sientan las bases de un sistema con alta participación y control del Estado en el mercado interno. El primero, en el año 1936, la creación de Cooperativa Nacional de Productores de Leche (CONAPROLE), donde se resalta la participación de un delegado del gobierno en el directorio. El otro hecho de importancia es la creación del sistema de leche cuota donde el Estado pasa a fijar los precios de la leche cuota e industria.

2.3.3. Segunda expansión: 1975 en adelante

A mediados de los 70 el Uruguay se inicia en un proceso de aumento de divisas y promoción de las exportaciones, lo cual presiona a la producción lechera al modificar las bases de su producción. Se distinguen tres diferentes períodos dentro de esta etapa.

2.3.3.1. Primera fase de la segunda expansión (1975-81): crecimiento y agroindustrialización

El paquete tecnológico neo zelandés, que no tuvo éxito en la ganadería de carne y ovina en la década de los sesenta, parecía ser la solución a muchos de los problemas identificados en la lechería tradicional. Ese modelo consistía en mejorar la calidad y cantidad del forraje a partir de la fertilización fosfatada y siembras multiespecíficas de gramíneas y leguminosas. A diferencia de lo que ocurrió en los demás sistemas esta tecnología fue rápidamente extendida y adoptada por los productores lecheros ya que el aumento en la producción estaba asociado a mayores ingresos y rentabilidades en los tambos.

Durán (2004), clasifica a este sistema como pastoril mejorado y menciona que, al incorporarse praderas a base de leguminosas y fertilizantes

fosforados sobre un 40 a 50 por ciento del área, se produce un aumento en la oferta de pasturas lo cual disminuye el uso de ración a menos de la mitad.

Las transformaciones en la base forrajera hacen que aumente la producción individual, aumente la dotación, se mejoren los indicadores reproductivos y se establezcan nuevos esquemas sanitarios. En este período se mejora la competitividad del sector ya que los aumentos en la producción de leche hacen que los costos totales mayores se distribuyan en altos volúmenes arrojando una reducción del costo por litro de leche (Hernández, 2002).

Estos cambios en el subsistema pastoril generaron nuevas innovaciones necesarias ante el aumento en la producción, nuevas prácticas de manejo, incorporación de máquinas de ordeño, tanques de frío, así como la exigencia de un carácter cada vez más empresarial de los productores.

La adopción de tecnología por parte de los productores se vio influenciada fuertemente por instituciones que proporcionaban asistencia técnica y promocionaban las nuevas tecnologías así como el ajuste de las mismas. Por otro lado el sistema de apoyo financiero instrumentado por el Banco de la República alentó a los productores.

2.3.3.2. Segunda fase de la segunda expansión: se afirma la industria exportadora

En la década del 80 cuando se comienzan a desarrollar cambios en la base productiva e industrial para insertarse fuertemente en el mercado internacional, los países desarrollados toman fuertes políticas proteccionistas que obligan a la baja de los precios y operan en contra de los países sin subsidios como el Uruguay.

Se hace necesario entonces una readecuación de productos y niveles productivos para mejorar el nivel competitivo y acceder al mercado internacional.

En este período el proceso de cambio técnico se consolida como un requisito indispensable, lo cual implica que quienes no se embarquen en este proceso o lo hagan a un ritmo menor corran serios riesgos de quedar relegados en la producción.

Según la Unidad de Estudios Agronómicos, citado por Hernández (2002), en el año 1992 las empresas con altos niveles técnicos requerían un 71

por ciento más de inversiones de capital que las empresas de bajo nivel de tecnificación.

Las empresas de alto nivel de tecnificación en base a la clasificación que utiliza Durán (2002), deben introducir como componente esencial de la producción la planificación del uso del suelo, nutricional y reproductiva. Se incluyen además cultivos para pastoreo y reservas forrajeras. El ensilaje de maíz comienza a tomar mayor importancia relativa que el heno lo cual permite aumentar la dotación manteniendo un bajo uso de concentrados.

Al final de este período, con un contexto de fuertes cambios modernizadores, se acentúa también el proceso de diferenciación de tambos en función de las capacidades de incorporación de propuestas de cambio técnico, generando perspectivas indeseables para el sector.

2.3.3.3. 1991- 2000: transcurso de un nuevo período de expectativas y desafíos

Dentro de este período existen además de la continuidad de los procesos de tecnificación, nuevos fenómenos que condicionan al sector. El principal es la consolidación del MERCOSUR, entre otros, como el atraso cambiario y la presencia de transnacionales dentro de las fronteras.

Según Hernández y Pereira, citados por Hernández (2002), se propone en este período por parte de la industria una nueva estrategia de producción de productos diferenciados, con marca y alto valor agregado.

En este período se incrementa el volumen de leche relacionado a mayores producciones por animal. En este período el número de predios cae un 20 por ciento, lo cual resalta la concentración a nivel primario donde cada vez los tambos se hacen más grandes y más productivos.

Las mayores productividades se asocian al alto uso de reservas forrajeras, mayores costos totales por hectárea, mayores ingresos de capital, activo promedio demandado mayor, disminución del costo unitario de producción, aumento sustancial de la rentabilidad.

El modelo controlado, aumentando al doble el consumo de ración y altos usos de ensilajes logra una estabilidad productiva que la hace menos dependiente de las variaciones climáticas. A su vez a este sistema se le asocia la concentración de las pariciones durante otoño, momento en el que se esperan altas calidades de pasturas lo que facilita el manejo nutricional (Durán, 2004).

De acuerdo a la encuesta realizada recientemente el 77 por ciento de los productores aún se encuentran dentro de los parámetros del modelo Mejorado e involucran el 48 por ciento de la leche remitida a plantas industriales en el año 2005. Así mismo, el 23 por ciento de los productores utilizan estrategias similares a los modelos pastoril organizado o pastoril avanzado y avanzado o avanzado con siembra directa, que representan el 52 por ciento de la leche remitida (Durán, 2004).

2.3.4. La producción lechera actual en el Uruguay

En la siguiente sección se centrará el análisis en el Estado actual de este rubro y su importancia a nivel nacional, contemplando algunos de los cambios más importantes que se han generado. A partir de la información censal y de encuestas realizadas por DIEA, así como de informes específicos para el sector lechero se pretende caracterizar y dimensionar su importancia nacional.

2.3.5. Importancia económica y productiva de la lechería

La lechería se ha ubicado en las últimas décadas en el segundo lugar en relación con su valor bruto de producción (VBP) dentro del VBP pecuario y tercero en el agropecuario total, siendo superado por la ganadería de carne y los cereales y oleaginosos, representando el 10 por ciento del VBP agropecuario y 18 por ciento del VBP pecuario, al año 2000 (URUGUAY. MGAP. DIEA, 2007). Además de su peso en la economía nacional la lechería es realizada por un importante número de explotaciones que al año 2000 representaba el 11,4 por ciento del total de explotaciones nacionales y ocupaba el 7,5 por ciento del territorio.

El número de establecimientos dedicados a la lechería comercial en el país presenta una disminución al igual de lo que sucede a nivel global del país para todos los rubros, pero esta desaparición de productores no es igual en todos los estratos de producción, siendo más importante en los niveles más bajos de recursos (tierra) y productividad. Para el último período para el cual se tiene información, 2000/2007, la mayor disminución correspondió a las explotaciones de menos de 50 hectáreas con un 37,4 por ciento menos.

Varios autores señalan un período de estabilidad en el número de establecimientos lecheros hasta 1986, para luego presentar una clara tendencia a la disminución, con una caída global del 26 por ciento hasta el 2000 y un

posterior descenso de 11,4 por ciento al 2007 (URUGUAY. MGAP. DIEA 2003, URUGUAY. MGAP. DIEA 2007).

Cuadro No. 3: Variación porcentual del número de explotaciones, superficie y producción total entre el 2000/2007

Tamaño de explotación (ha)	Número de explotaciones (%)	Superficie explotada (%)	Producción total (%)
Menos de 50	-37	-39	-28
50 a 199	-6	-7	33
200 a 499	0	0	35
500 a 999	-8	-6	30
1000 a 2499	1	-8	72
2500 y más	-31	-44	-15
Total	-11	-13	32

Fuente: URUGUAY. MGAP. DIEA (2007).

Del cuadro anterior se desprende el importante crecimiento en producción que han tenido los tambos de mediana escala, a diferencia de lo que ocurre en los estratos extremos. La tendencia a la concentración de la producción parece ser una característica de la lechería que ha incrementado su producción global a expensas de la pérdida de establecimientos y de superficie.

2.3.6. Características generales de los establecimientos lecheros

La tenencia de la tierra en las explotaciones lecheras es mayoritariamente en forma de propiedad, el 52 por ciento del área, seguida por el arrendamiento que afecta al 38 por ciento de la superficie. Las diferencias más importantes según tamaño son el aumento del arrendamiento hasta el estrato de 2500 hectáreas y un mayor peso del pastoreo y otras formas de tenencia en los estratos más bajos (menos de 50 y de 50 a 199 hectáreas).

Respecto a la edad promedio de los responsables de los establecimientos más de la mitad (56 por ciento) se ubican en el estrato etario de 51-70 años, lo que demuestra claramente el envejecimiento de los productores.

Una de las particularidades distintivas de la lechería frente a otros rubros es la alta residencia en el predio, dado las características específicas de esta actividad, con 84 por ciento de residentes en el predio. Este valor

disminuye a 66 por ciento para el caso de las explotaciones donde el titular es mayor de 70 años.

A partir de la encuesta realizada por DIEA (URUGUAY. MGAP. DIEA, 2007) se puede señalar sobre el nivel de instrucción de los productores lecheros que el 79 por ciento presenta algún tipo de formación completa, siendo la mayoría primaria y un 19 por ciento secundaria, quedando la educación técnica y universitaria en conjunto en el 13 por ciento de los productores.

2.3.6.1. Ingreso y combinación con otros rubros

Analizando la importancia del rubro lechero en los establecimientos que presentan lechería comercial y su combinación con otros rubros se observa claramente, que en la mayoría la lechería es la principal fuente de ingreso, para el 97 por ciento, 5 por ciento más que en el año 2000, mostrando la mayor especialización e importancia relativa del rubro. La combinación con otros rubros que generan mayores ingresos que la lechería solo se da en los establecimientos de mayor tamaño (más de 500). Esto no implica que no exista combinación de rubros en todos los niveles, lo que parece claro es que la combinación es mayor a mayor tamaño, quedando fuertemente limitado en los predios de menor escala que tienden a especializarse.

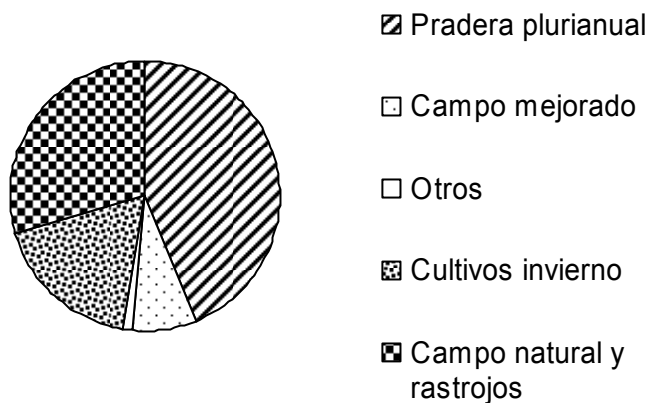
Los principales rubros que se combinan a la producción lechera son la ganadería de carne y la agricultura de secano. La ganadería se presenta como rubro secundario por el peso en los ingresos y el área que ocupa, en general, puede ser caracterizada como ciclo completo con baja proporción de lanares, y con una importante mejora en la oferta de alimentos sobre todo en la terminación. En cuanto a la agricultura comercial, presenta mayor importancia la invernal que la estival, con el 52 por ciento del área agrícola de invierno destinado a trigo y 42 por ciento a cebada. Para el caso de los cultivos estivales la mayoría de la superficie agrícola comercial se destina a soja (79 por ciento) seguida por el maíz (14 por ciento), quedando muy relegados el sorgo y el girasol.

2.3.6.2. Evolución en el uso del suelo

El uso del suelo y su evolución en los establecimientos lecheros es de singular importancia, dadas las características de este trabajo, que pretende centrar buena parte de su análisis a la relación del uso del mismo y la sustentabilidad ambiental del sistema.

Se presentan a continuación dos gráficos que intentan representar el uso del suelo a nivel promedio de los establecimientos lecheros y la diferencia que existe entre el promedio y los predios de menor escala. A partir de la Grafica No. 1 puede observarse el peso relevante de las praderas plurianuales que constituyen la mayor parte del área con 42 por ciento, seguido por el campo natural y rastrojo con 28 por ciento. Es notoria la importancia de las áreas de baja o nula productividad compuestas por el campo natural y rastrojo respectivamente, junto con la tierra preparada, representan el 33 por ciento. Vale mencionar que los datos recavados en la encuesta no permiten realizar un análisis diferenciando al campo natural del rastrojo.

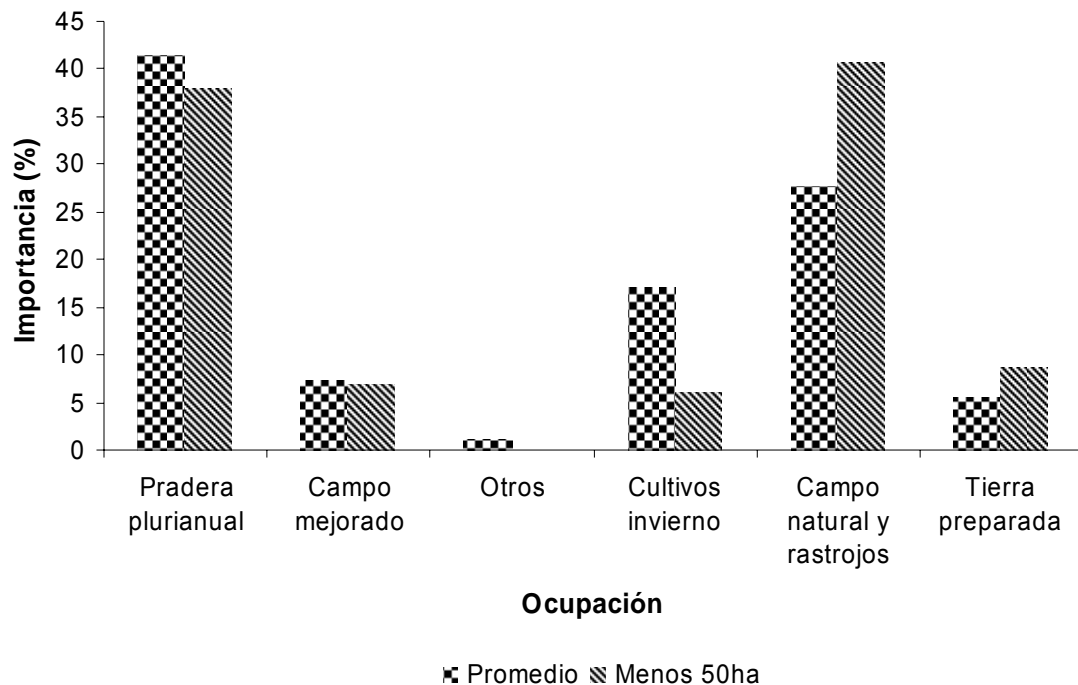
Gráfica No. 1: Uso del suelo ejercicio 06/07



Fuente: URUGUAY. MGAP. DIEA (2007).

Al analizar las diferencias en el uso del suelo según estrato de tamaño, se pueden señalar las mayores diferencias en los predios de menor escala, menores de 50 hectáreas, con respecto al promedio. En este estrato hay una reducción en el área de pasturas plurianuales y verdes invernales, pero la diferencia más significativa resulta del incremento en 13 por ciento del área de campo natural y rastrojo que, sumada a la tierra preparada, asciende al 50 por ciento de establecimientos.

Gráfica No. 2: Uso del suelo, ejercicio 06/07, según escala



Fuente: URUGUAY. MGAP. DIEA (2007).

A partir de la información aportada por la encuesta 2007, surge que el nivel de reposición de praderas se ubica en torno al 38 por ciento (entre 34 y 41 por ciento) del total del área con praderas, el que podría ser considerado elevado. Esto estaría reflejando dificultades puntuales del año de estudio o parte de la situación general de los sistemas lecheros, donde una alta proporción de las praderas no llegan al tercer año de vida.

2.3.6.3. Características de rodeo

Según la información relevada en la encuesta realizada por URUGUAY. MGAP. DIEA (2007), el rodeo lechero está compuesto por 672 mil animales de los cuales el 54 por ciento lo componen categorías adultas; esta situación varía al realizar un análisis a nivel predial que revela que el 69 por ciento lo componen las vacas en ordeño, el 16 por ciento las vacas secas y el 15 por ciento está integrado por animales jóvenes (vaquillonas entoradas). Esta distribución del rodeo en los establecimientos no presenta gran diferencia en relación con el tamaño, habiendo menos animales jóvenes en los predios de menor escala.

Se destaca además de las categorías ya señaladas, la presencia de terneros machos que asciende a 9 por ciento del rodeo, mostrando la importancia que tiene la cría de terneros machos para muchos predios lecheros, determinando que el 62 por ciento de los establecimientos crían, recrían o invernan estos animales. También se destaca la baja proporción de vaquillonas mayores de dos años sin entorar, reflejando la eficiencia reproductiva en la edad del primer entore. Esta característica presenta diferencias según estrato, observándose una mayor proporción de animales entorados cercano a los dos años (23 a 27 meses) en los predios de menor escala, a diferencia de lo que sucede en los predios de mayor tamaño que presentan una alta proporción de las vaquillonas entoradas antes de los 23 meses.

En cuanto a la distribución estacional de los partos puede señalarse que la mayoría (60 por ciento) realizan pariciones continuas, dentro del grupo de pariciones otoñales la mayoría de las explotaciones se ubican en el rango que involucran entre el 30 y 60 por ciento del rodeo (65 por ciento). La importancia relativa que tiene cada grupo en la remisión total es diferente, se puede señalar que los establecimientos de parición continua representan el 39 por ciento del total remitido, ya que está asociado a predios de menor escala y producción.

2.3.6.4. Alimentación animal y productividad

La base principal de la alimentación del ganado lechero son las praderas artificiales, tanto plurianuales como anuales, que son cosechadas directamente por los animales. Además de este componente esencial de los sistemas de producción de leche, existen otras fuentes de alimentación que son características y tienen una importancia variable, como son las reservas de forraje y grano, y ración.

Es necesario, para conocer el impacto de estos alimentos en la producción lechera, saber el origen y los niveles de utilización de los mismos. En cuanto al origen puede señalarse que para los concentrados (con excepción de los granos húmedos), el 92 por ciento es adquirido fuera del predio. Específicamente para el caso del grano húmedo, el 60 por ciento es producido en los establecimientos. Los voluminosos tienen por su característica casi una total producción dentro de los predios (91 por ciento), y dentro de los voluminosos los de mayor importancia son los silos de planta entera seguidos por los henos y henilajes, que representan el 65 por ciento y 24 por ciento de lo producido en los predios respectivamente.

En el cuadro siguiente se observa el nivel de uso de los diferentes suplementos. Del mismo se puede señalar la importancia en el uso del silo planta entera sobre el resto de los suplementos. También es de destacar el alto nivel de suplementación por litro de leche a nivel nacional, suministrándose más de un kilogramo de suplemento en base fresca por litro de leche.

Cuadro No. 4: Tipo de suplemento total

Suplemento (BF)	Cantidad (tt)	Importancia (%)	Gramos BF/ litro	Gramos BS/ Litro
Concentrado	196.981	13	138	124
Grano húmedo	178.275	12	125	94
Silo planta entera	661.666	45	463	138
Heno	287.941	19	202	171
Otros	161.637	11	113	56
Total	1.486.500	100	1041	583

Fuente: URUGUAY. MGAP. DIEA (2007).

Generalmente se ha asociado la lechería a un rubro de activo crecimiento, esto puede ser corroborado al ver la evolución de la productividad, que en los últimos 30 años pasó de 731 a 2.370 lt/hectárea lechera/año. Este importante aumento en la productividad se debe en gran medida a las incorporaciones tecnológicas; este proceso será detallado en siguientes secciones.

La producción promedio por establecimiento al año 06/07 era de 512 mil litros de leche, con un rango desde 70 mil hasta 3,12 millones litros/año, que corresponde con los predios de menor y mayor tamaño respectivamente. Esta gran diferencia en los volúmenes totales según tamaño desaparecen al analizar la productividad por hectárea, donde el promedio es de 2.370 lt/ha. Se encuentran las menores productividades en los estratos extremos, mientras en los estratos intermedios se supera el valor promedio, son estos últimos los responsables de la mayor producción e involucran a la mayoría de los establecimientos.

2.4. LA LECHERÍA EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DE LA EEMAC

El área de influencia de la EEMAC, podría ser considerada una zona amplia del territorio nacional, tanto como litoral oeste; este parece demasiado amplio y diverso para ser considerado como zona de influencia a analizar en este trabajo. Sin duda las actividades de la EEMAC tienen repercusión en todo el país, con diferente grado e incluso fuera del territorio nacional.

No es objetivo de este trabajo definir el área de influencia de la EEMAC, aunque es importante conocer la realidad de la zona en donde se insertan los predios a estudiar, que de alguna manera u otra se relacionan con la Estación. Para ello se mencionarán las principales deferencias que presenta la región para el rubro lechería.

La región Litoral Oeste aparece para la lechería como la segunda región en importancia, involucrando a los departamentos de Paysandú, Río Negro, Salto, Soriano y Colonia. Éste representa el 38 por ciento de los establecimientos y el 39 por ciento del total del volumen producido, con un tamaño promedio de establecimiento 18 por ciento mayor que la media. Otra de las características que diferencia a la región del Litoral Oeste con la Cuenca Sur es su menor productividad por hectárea, 13,5 por ciento menos; con respecto a la productividad por vaca masa las mismas son similares (menor en 1,5 por ciento).

La principal zona de producción es la Cuenca Sur y existe un tercer grupo que se ubica en otras zonas del país con menor desarrollo. La ubicación y el desarrollo de la lechería en el territorio está fuertemente ligado a la presencia de centros poblados y de industrias procesadoras.

El departamento de Paysandú, donde se centra la mayor actividad de la EEMAC, puede señalarse como el séptimo departamento en importancia en producción de leche.

2.5. ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS PRODUCTIVAS DE LA LECHERÍA ACTUAL

La trayectoria tecnológica experimentada por los predios lecheros ha determinado el modelo productivo actual, el cual incluye una diversidad de situaciones según el grado de adopción de las diferentes tecnologías por parte de los sistemas. A continuación se analiza cómo ha impactado el proceso de intensificación sobre los aspectos relacionados con la eficiencia general del proceso productivo, la dinámica de producción de forraje, el estado y conservación de los recursos naturales y el grado de dependencia a factores externos.

2.5.1. Eficiencia general del proceso productivo

En los sistemas lecheros la combinación de recursos afecta los resultados obtenidos, lo que genera eficiencias diferenciales en el proceso productivo.

El beneficio de la suplementación en los sistemas de base pastoril depende de la eficiencia del pastoreo, la cual es determinada en gran medida por la carga animal (Macdonald, citado por Baudracco et al., 2010).

La respuesta a la suplementación de la dieta es altamente variable, dado que este proceso depende de numerosos factores que involucran a los animales, al alimento y al manejo general del sistema. La cantidad y calidad de la suplementación afecta la oferta total del sistema, lo cual tiene un efecto en la eficiencia de utilización de la pastura y en la eficiencia de conversión del alimento en leche (Baudracco et al., 2010)

La eficiencia energética ha sido frecuentemente asociada a procesos de erosión, de contaminación y de emisión de gases de efecto invernadero y el consumo de energía fósil ha sido asociado a la degradación ambiental (Agriculture y Agri-Food Canada, citado por Frank, 2007). De manera opuesta con lo anterior, Viglizzo y Roberto (1998), en la Pampa Argentina reportan que sistemas con altas eficiencias energéticas, sustentan su producción en base a estrategias netamente extractivas y con baja reposición de insumos y energía, comprometiendo el potencial productivo de los eco-sistemas en el largo plazo.

La relación existente entre el aumento en el uso de la energía fósil y la productividad biofísica de las economías modernas implicó un cambio técnico que no ofreció una real emancipación de la producción de la base natural de recursos. Los requerimientos de energía fósil en los sistemas es una de las tantas variables que son necesarias para la discusión de la viabilidad de los sistemas en el largo plazo (Confroti y Giampietro, 1997).

Según Odum, citado por Frank (2007), la eficiencia energética se establece entre la relación de energía que ingresa al predio bajo forma de fertilizantes, alimentación, labores, etc. y lo que sale en términos de producto ya sea carne o leche. De esta forma el análisis del flujo de energía permite evaluar y comparar ecosistemas con diferencias estructurales y funcionales. La propuesta establecida se basa en que, a medida que más energía es utilizada para producir una unidad de producto, más ineficiente se torna el proceso productivo del predio.

Según Frank (2007) en el análisis de doscientos establecimientos en la Pampa Argentina los tambos son los sistemas que poseen mayores consumos de energía frente a sistemas agrícolas, mixtos y ganaderos. A su vez analiza la eficiencia de uso de la energía y concluye que los sistemas agrícolas y mixtos aparecen como más eficientes que los tambos y ganaderos puros. Para el análisis de ochenta tambos los resultados indican que para producir un mega joule de producto son necesarios 1,8 mega joule de energía que debe ingresar al predio.

Otros autores señalan eficiencias para la producción de leche de entre 2 y 2,5 unidades de energía consumida para la producción de una unidad de producto (Pimental, citado por Funes-Monzote, 2009).

Según Pimental, Cox y Atkins, citados por Glisseman (2002), existe un rango en la eficiencia de los sistemas de producción vinculado a sus características productivas. Se citan valores de 0,1 unidades consumidas por unidad de producto para los sistemas pastoriles de leche y carne en África. En el otro extremo 5 unidades de energía consumida por unidad de producto, para la producción de carne en Estados Unidos.

Al analizar el impacto ambiental de la intensificación de los sistemas La Manna et al. (2008), indagan sobre el balance de nutrientes en este nuevo escenario. Si bien se trata de conclusiones preliminares es notorio el aumento que se da en sistemas con mayor grado de intensificación, en los ingresos de nutrientes a los predios, asociados no solamente al mayor uso de fertilizantes sino también debidos a un mayor uso de alimentos extraprediales provocando una alta importación de nutrientes. Esta situación genera mayores excesos de nutrientes, y por tanto la existencia de mayores riesgos de pérdidas no deseadas y contaminación. Para el caso de nitrógeno, según estos autores los balances positivos que se estarían generando en el suelo ($100 \text{ Kg. Ha}^{-1}\text{Año}^{-1}$), se encuentran dentro de rangos tolerables actualmente, aunque se plantean mayores incertidumbres en el largo plazo.

El uso de nutrientes extra prediales ha aumentado en las últimas décadas en la producción lechera. Una adecuada disponibilidad de nutrientes principalmente es necesaria para el crecimiento vegetal mejorando de esta forma la eficiencia del uso de agua y de la radiación, la calidad del forraje, la persistencia de leguminosas, previendo una recuperación de las propiedades físicas y biológicas del suelo (García, 2004). Si la extracción excede lo disponible durante años se acumulan balances negativos que causan reducciones importantes en los rendimientos afectando económica y productivamente al sistema. En el caso contrario cuando los nutrientes agregados exceden la extracción generan una acumulación que puede

sobrepasar la capacidad de retención del suelo incrementando los riesgos de contaminación de cursos de agua y aguas subterráneas.

La cantidad de nutrientes que es recuperado en productos, tiene que ver con la eficiencia del proceso. Analizando estos aspectos Larrosa y Lutz (2003), en la evaluación de nueve sistemas lecheros del litoral agrícola uruguayo indican que con respecto a nitrógeno los balances variaron entre -3 y 84 kg. de N ha⁻¹Año⁻¹ y en promedio 32 Kg. ha⁻¹Año⁻¹. No se ha encontrado correlación entre el balance de nitrógeno y las entradas por insumos, siendo otras variables como la dotación y el área de pasturas con leguminosas las que explican el balance final. Los balances se tornan más positivos cuanto mayor es el área bajo pasturas ya que se asocia a mayores entradas de Nitrógeno por fijación biológica, pero no se registran consecuentes aumentos en las salidas bajo forma de productos. A su vez concluyen que las mayores diferencias en los predios que se analizan están dadas por la magnitud de la fijación biológica de nitrógeno (FBN) y la cantidad de kilogramos de concentrado que ingresa, siendo el fertilizante una entrada similar entre los predios. Si no se considera la FBN los balances continúan siendo positivos explicados básicamente por la fertilización y los ingresos de concentrado. En cuanto a la recuperación de este nutriente (Salidas/Entradas), indican que los predios más ineficientes son aquellos que presentan altas entradas de nitrógeno, que sostienen su producción a base de pasturas, presentan altas dotaciones y poseen altos valores productivos de leche.

La Manna et al. (2008), analiza el balance de nutrientes para modelos teóricos de intensificación de sistemas lecheros (Durán, 2004). A diferencia de lo encontrado por Larrosa y Lutz (2003), estos autores indican que los sistemas con altas remisiones, altos porcentajes de mejoramientos básicamente pasturas y altas cargas sostenidas mediante incorporación de concentrado, presentan balances positivos mayores y las mayores eficiencias en comparación con sistemas con menor grado de intensificación.

En lo que respecta al fósforo, el balance varía entre 12 a 31 Kg. ha⁻¹Año⁻¹, siendo en promedio 20 Kg. ha⁻¹Año⁻¹. Al igual que el nitrógeno el balance se correlaciona positivamente con los ingresos ($r^2=0,98$). Las entradas totales se encuentran correlacionadas con las entradas por fertilizantes (Larrosa y Lutz, 2003).

Según Frank (2007), para el caso de ochenta establecimientos lecheros en Argentina los balances de nitrógeno y fósforo resultan 44 y 1,2 Kg. ha⁻¹Año⁻¹ respectivamente.

En comparación con sistemas altamente intensificados de Europa, con producciones por hectárea de 12.500 litros de leche, Aarts et al. (1992), reportan valores de balances mayores a 450 kg. de N ha⁻¹Año⁻¹ y 30 kg. de P ha⁻¹Año⁻¹ los cuales arrojan valores de recuperación (salidas/ entradas) de 15 y 30 por ciento para dichos nutrientes respectivamente. Este hecho hace que desde hace varios años exista en estas regiones una alta preocupación para mitigar los efectos de contaminación del ambiente por nutrientes. En este escenario algunas de las propuestas de re-diseño de estos sistemas se han enfocado en la disminución de las cargas y los niveles de suplementación por hectárea, aumentar la calidad de las dietas y la utilización de las pasturas, sin reducir la producción por hectárea (Aarts et al., 1992).

2.5.2. Dinámica de la producción de forraje

Del análisis del uso del suelo a nivel nacional en la producción lechera, se destaca la importancia de una gran área de baja o nula productividad, compuestas por el campo natural, rastrojo, y tierras preparadas, que representan un tercio del área total (URUGUAY. MGAP. DIEA, 2007). Esta situación de alta vulnerabilidad en la base forrajera es señalada como un problema que se agrava aún más en los pequeños establecimientos, en donde el área de baja productividad asciende al 50 por ciento, al realizar rotaciones más cortas, con mayor superficie improductiva (Ernst, 2004).

A pesar de que la encuesta de DIEA toma al campo natural junto a las tierras en rastrojo, su rol en los establecimientos es bien diferente. Por su parte los rastrojos componen junto con las tierras preparadas áreas de nula producción y con poca posibilidad de dar forraje en el corto plazo. En cambio el campo natural al igual que las praderas viejas de baja producción tienen la capacidad de producir forraje en el corto plazo. Estas áreas juegan un rol importante en momentos de crisis forrajera o con dificultades para pastorear praderas de alta producción.

En relación con las altas superficies improductivas, se puede señalar al otoño como la estación del año más crítica. En este momento se producen grandes desfasajes entre la oferta y disponibilidad de forraje, dado por el fin de los verdeos de verano y por la siembra de los verdeos de invierno y nuevas praderas. Esto determina que el área efectiva de pastoreo quede reducida a las praderas de segundo y tercer año, las cuales a su vez se encuentran reiniciando el crecimiento otoño- invernal. Las mismas son presionadas afectando así su productividad y longevidad. Esta problemática toma mayor relevancia en las situaciones en que se utilizan praderas de corta duración, que es lo que ocurre en la mayoría de los casos (Chilibroste, 2003).

A medida que existe mayor área con verdeos de verano con pastoreos tardíos y mayores siembras otoñales tanto de pasturas como de verdeos invernales, disminuye el número de días hábiles para realizar labores y aumenta la concentración de estos en tiempo, atentando contra las siembras en un rango de fecha óptima. Según Ernst (2004) en una encuesta realizada a productores remitentes a CONAPROLE en el año 2003 solo el 25 por ciento de los verdeos se sembraron antes del 30 de marzo, y la mayoría se realiza en los primeros quince días de abril, lo cual provoca un importante retraso en el primer pastoreo y consecuente pérdida potencial de productividad. En el mismo estudio se le adjudica a la fecha de la preparación de suelos como la mayor condicionante para realizar las siembras dentro del rango óptimo. Así mismo el tiempo de barbecho aparece como limitante para la implantación de pasturas y verdeos afectando su productividad.

Por otro lado las áreas con suelo descubierto que se dan en el otoño, momento en que se presenta la mayor erosividad de las lluvias, determina generalmente riesgos a altas pérdidas de suelo. El efecto erosivo determina pérdida de las capas superiores más ricas en materia orgánica y de mejor estructura del suelo, lo cual condiciona directamente la capacidad productiva del suelo retroalimentando ciclos de productividades decrecientes (Ernst, 2004)

2.5.3. Conservación y estado de los recursos naturales

La agricultura forrajera utilizada en sistemas lecheros intensivos ha determinado algunas consecuencias sobre la calidad de los suelos. Morón et al. (2008a), señalan un deterioro significativo en las propiedades físicas de los suelos bajo lechería, en los tres departamentos de mayor presencia de este rubro (Colonia, San José y Florida). En lo que respecta a la densidad aparente, la porosidad total y la macroporosidad, se señala para todos los parámetros analizados y en todas las situaciones estudiadas una disminución frente a las situaciones de referencia.

Este hecho también es señalado en otros trabajos realizados en el departamento de Florida en donde se indica que las dos causas principales que explicarían este deterioro son el pisoteo animal y el bajo contenido de carbono orgánico presente en los suelos. El efecto restaurador, adjudicado tradicionalmente a las pasturas, sobre la materia orgánica del suelo, no permite llegar a los valores de los suelos de referencia. Esto se debe principalmente a dos razones, la baja productividad y aporte de carbono al suelo por las raíces, y a la pérdida de carbono que se da vía mineralización y erosión (Morón et al., 2008b).

Otro de los impactos negativos sobre los recursos naturales es la erosión hídrica sobre el suelo. Esta es un elemento central determinante de la sustentabilidad de los sistemas de producción agropecuarios ya que a nivel predial, la erosión reduce el potencial productivo por la propia pérdida de masa del suelo y porque se asocia siempre a degradaciones de las propiedades del suelo que permanece *in-situ* (Durán y García Préchac, 2007).

Foster, citado por Frank (2007) indica que la selectividad de partículas, el sellado de la superficie del suelo y la pérdida de nutrientes se destacan como fuertes consecuencias negativas del proceso erosivo. Estos procesos pueden tener consecuencias más allá de los límites de las superficies afectadas inicialmente, los cuales los autores denominan externalidades (contaminación del aire y del agua, sedimentación en cuerpos de agua, desgaste de superficies por el roce con las partículas, etc.)

La cobertura del suelo por vegetación viva o muerta constituye el elemento fundamental para la conservación de este recurso. Por esta razón el laboreo de suelo que destruye y reduce marcadamente la cobertura del mismo, contribuye positivamente con la pérdidas de suelo. De igual modo sucede en sistemas de siembra directa en los que la rotación establecida no garantiza alta producción de biomasa aérea y lenta velocidad de descomposición, arrojando largos períodos de suelo descubierto vulnerables a ser erosionados (García Préchac, 2009a).

Para el caso de rotaciones de cultivos con pasturas posibles de encontrar en predios lecheros Clérico, citado por García Préchac (2004) para un Argiudol Típico de la Unidad Young, estima que la erosión es menor o igual al valor tolerable, en todas las combinaciones estudiadas bajo laboreo reducido. En situaciones de siembra directa la erosión estimada para estas rotaciones es muy inferior al valor tolerable. De igual forma Sawchik y Quintana, Terra y García Préchac, citados por Durán y García Préchac (2007), señalan que para siembra directa las estimaciones de erosión son muy inferiores al valor tolerable, y cercanas a las reportadas para campo natural.

Según Frank (2007), en el análisis de doscientos establecimientos de diferentes rubros productivos, ni la erosión ni el balance de carbono en los suelos estarían determinados por el tipo de producción, sino que existirían otros factores responsables de la degradación del recurso suelo. En dicho estudio se sugiere a la opción de labranza y el manejo de rastrojo como los factores determinantes de la performance del recurso.

Según García Préchac (2004), numerosos autores señalan que rotaciones de pasturas y cultivos o verdeos bajo siembra directa, son los esquemas de uso más conservacionistas con valores de pérdida de suelo próximos al campo natural.

Numerosos estudios en siembra directa (Ernst 2000, García Préchac 2004, García Préchac 2009) señalan la importancia de contemplar variables indispensables para implementar de forma correcta esta tecnología. Los principios básicos que garantizan la efectividad de la siembra directa en la conservación de los suelos son:

- Alta cobertura del suelo durante la fase de cultivo y la de barbecho.
- Altos aportes de materia orgánica para la descomposición en la fase de barbecho.
- Reducción de los tiempos de barbecho.

La materia orgánica ha sido señalada como un elemento que condiciona la calidad del suelo por su efecto sobre la capacidad de retención de agua, la estructura de los suelos, su efecto en la reducción de la erodabilidad del suelo y como promotora de la actividad biológica de los mismos. Esta define el potencial productivo de los suelos y se considera su evolución en el tiempo como uno de los principales parámetros que se asocian con la sustentabilidad de los sistemas (Dogliotti, 2003). Otros autores señalan que la materia orgánica del suelo es responsable de la sostenibilidad de muchos agroecosistemas, porque hace que el mismo sea resiliente y elástico (Doran y Parkin, citados por Frank, 2007).

Álvarez (2006) indica que la materia orgánica del suelo decrece, por la introducción de la agricultura en zonas de vegetación natural. Así mismo señala que la disminución es más rápida durante los primeros años de uso agrícola y luego se hace mas lenta tendiendo al equilibrio. Si la velocidad de erosión es moderada en el agroecosistema, el nuevo equilibrio puede encontrarse generalmente entre un 40 y un 60 por ciento del nivel original de materia orgánica.

Morón et al. (2009) en un estudio en tambos de los departamentos de Colonia, San José y Florida, registran un valor medio de carbono orgánico en los potreros en producción significativamente ($p < 0.0001$) inferiores en 20.4 por ciento frente al valor medio de la referencia. Según los autores estas diferencias si bien son importantes se pueden catalogar como moderadas al ser comparadas con las registradas en la agricultura con laboreo convencional.

En lo que respecta a la agricultura con laboreo convencional García Préchac (2004), desarrollando experimentos de larga duración en La Estanzuela, departamento de Colonia, registra pérdidas del 25 por ciento del carbono orgánico en los primeros 20 centímetros de suelo luego de 27 años de cultivos continuos. Esta pérdida se da a una tasa de 307 kilogramos de suelo por hectárea anual. Al analizar comportamiento en rotaciones de cultivos y pasturas la pérdida de carbono se reduce al 3,7 por ciento en el período, siendo la tasa de disminución lineal de 45 kilogramos por hectárea por año.

Álvarez (2006), analiza el cambio en el stock de carbono en los suelos de la región pampeana. En este estudio se reportan pérdidas de carbono de hasta el 50 por ciento con respecto a la situación prístina estimada, en zonas de alta intensidad de cultivos para granos.

Fabrizzi et al. (2003) indican que el contenido total de carbono presenta en algunos casos baja sensibilidad para explicar las diferencias en la calidad del suelo. Los autores señalan a la materia orgánica particulada y al potencial de mineralización de nitrógeno como indicadores más sensibles a los diferentes manejos de suelo. Existe una alta correlación entre ambos indicadores lo que sugiere diferencias funcionales entre las fracciones de la materia orgánica (materia orgánica particulada y materia orgánica asociada a fracciones minerales). Este proceso es explicado por Álvarez (2006), quien indica que la fracción particulada presenta variaciones que generalmente no se expresan en cambios en la materia orgánica total. Esta fracción representa la fertilidad edáfica y es la responsable del aporte de nitrógeno por parte del suelo. En cuanto a esto Six et al., citados por Durán y García Prechac (2007), indican que esta fracción de la materia orgánica es el principal sustrato de toda la actividad biológica y a su vez los productos de la descomposición son el principal agente estabilizador de los agregados del suelo.

El elevado uso de insumos químicos en la producción agropecuaria, muchos de los cuales con toxicidades elevadas, ha sido señalado como el responsable de la contaminación de aguas y aire e intoxicación de seres vivos. Los plaguicidas altamente utilizados en sistemas agrícolas con importancia creciente en los últimos tiempos, son todos aquellos que se utilizan para repeler o mitigar agentes que sean perjudiciales para la producción vegetal o animal. La capacidad de un plaguicida de afectar a la vida silvestre es función directa de sus características intrínsecas como la toxicidad, periodo de exposición y dosis (INTA, 1999). Existen evidencias que el aumento en el uso de plaguicidas está resultando en una reducción de las comunidades de plantas e invertebrados (Wilson et al., citados por Frank, 2007).

2.5.4. Grado de dependencia a factores externos

Viglizzo y Roberto (1985), en una comparación de la estabilidad de diferentes sistemas, de producción primaria (forraje o grano) y producción secundaria (carne o leche), destacan los bajos desvíos registrados en las producciones secundarias. En cuanto a las producciones primarias, si bien son las que presentan mayor eficiencia de conversión de la energía solar en producto, poseen también mayores fluctuaciones en la producción que las producciones secundarias. Analizando la correlación existente entre la producción (Mcal/ha) y el régimen pluviométrico de distintas regiones de la Pampa Argentina, se destaca que se alcanzan altas y significativas correlaciones entre las producciones primarias y el régimen hídrico mientras que para las producciones secundarias la correlación no es significativa. Los autores reconocen que deberían ser consideradas otras variables al realizar el análisis ya que los resultados productivos serán la interacción de diversos factores como distribución de dichas lluvias, humedad, calidad de suelo, etc.

Según Viglizzo et al. (1984), la diversificación productiva estaría asociada a incrementos de la estabilidad de los rendimientos, en tanto, la relación entre diversificación y productividad es errática. Se detecta una relación inversa entre productividad y estabilidad, pero la mayor diversificación tiende a atenuar este contraste. Generalmente se admite que la estabilidad de un ecosistema está directamente relacionada con su diversidad poblacional, puesto que la presencia de un número creciente de niveles tróficos contribuye a mejorar la homeostasis global del sistema, aun cuando la productividad se tendería a deteriorar. La utilización de especies diferentes en su adaptación al clima y en sus épocas de producción, reducen la probabilidad de que un stress climático circunstancial pueda afectar seriamente la productividad total del sistema. Por ello la diversificación se torna menos relevante en ambientes no marginales, donde las limitantes climáticas son generalmente menos frecuentes.

Para Funes-Monzote (2009), un sistema biodiverso no es necesariamente más productivo o más eficiente que uno poco diverso; ni tampoco la escala afecta necesariamente la eficiencia. Ésta depende del diseño y el manejo de los componentes que lo conforman. Los sistemas de menor escala y diversos permiten una mayor integración armónica y funcional entre los componentes, a la vez que se facilita el control de las relaciones presentes. La subutilización de recursos energéticos se da porque los sistemas no están concebidos para utilizar al máximo los mismos, y se desconoce por lo general los sistemas de rotación o las combinaciones de agricultura-ganadería más adecuadas para aprovechar dichos recursos.

Para el caso de Cuba, estudios realizados en los últimos diez años, señalan que sistemas que logran altos niveles de integración y reciclaje entre ganadería-agricultura, alcanzan mayores productividades y eficiencias (Funes-Monzote, citado por Funes-Monzote, 2009).

2.6. SÍNTESIS DE LOS ANTECEDENTES

A lo largo de este capítulo se ha hecho un recorrido por el marco conceptual soporte del trabajo, abordando el desarrollo sustentable y la agricultura sustentable. También se profundizó en el marco metodológico MESMIS que guía la investigación, el cual se ajusta a los objetivos y posibilidades del trabajo. Para entender la lechería en la actualidad se ha tratado de reconstruir la evolución histórica de los sistemas lecheros hasta llegar a la descripción más reciente disponible para el sector. En este sentido se ha analizado las principales consecuencias del desarrollo de los sistemas lecheros centrandó la atención en la estabilidad y la eficiencia de los mismos. Esta última sección es en gran medida la justificación y motivación para la presente investigación.

Los sistemas de producción de leche a lo largo del siglo pasado han sufrido numerosas transformaciones que han permitido su intensificación mediante diferentes estrategias. La incorporación de pasturas con leguminosas como medida para elevar la producción de forraje es una de las primeras transformaciones que ha generado mayores impactos. En esta línea los cambios han tendido a maximizar la producción de forraje con rotaciones planificadas, ajuste de técnicas de producción (fertilizante y mejora genética de especies) y con la incorporación de la siembra directa. También se suma la producción de mayores reservas forrajeras para aumentar y estabilizar la oferta de alimento animal. De igual forma la ración o el concentrado, que en un primer momento tiende a reducirse debido a la mayor producción de forraje, en las últimas etapas muestra una tendencia a aumentar en búsqueda de mayores producciones de leche.

Esta estrategia de elevar progresivamente la oferta de alimento, busca alcanzar los potenciales genéticos de animales cada vez más seleccionados, al tiempo que busca incrementar la carga animal en los sistemas, para obtener mayores producciones por hectárea. Otra de las características que se pueden señalar en esta evolución es la tendencia a mejorar los desempeños reproductivos concentrando las pariciones en los meses otoñales e incorporando herramientas como la inseminación artificial.

Como resultado de la incorporación tecnológica en los sistemas, la producción medida de diferentes formas, tanto por vaca como por hectárea, ha experimentado fuertes incrementos con el tiempo. Este aumento en la producción está basado en una mayor productividad y eficiencia del conjunto de sistemas lecheros. Pero es necesario señalar que al día de hoy existe una gran diversidad de situaciones conviviendo y en donde un grupo importante de establecimientos atraviesa serias dificultades para incorporar tecnologías e intensificar y mejorar la productividad.

Analizando la intensificación productiva de sistemas agrícolas surge la interrogante de conocer el desempeño energético de los mismos. Por un lado, se asocia a la degradación ambiental frecuentemente con los sistemas de altos consumos de energía y baja eficiencia energética. En el extremo opuesto la degradación ambiental es asociada con sistemas netamente extractivos, con baja reposición de insumos y energía y altas eficiencias energéticas. Para sistemas lecheros se reportan amplios rangos de eficiencias energéticas, que se ven fuertemente condicionadas a los esquemas productivos y a las restricciones ambientales de cada sitio.

La dinámica de nutrientes en los sistemas agropecuarios es útil para conocer la calidad de los recursos ambientales, ya sea por excesiva extracción o deposición, muestra parte de las externalidades del proceso productivo. A nivel nacional se señalan por varios autores balances positivos para nitrógeno y fósforo en rangos de moderados a altos, con una tendencia a incrementarse. Para el caso del nitrógeno, juega un papel fundamental la FBN realizada por las leguminosas, de igual forma la incorporación de nitrógeno por otras vías (fertilizantes y suplementación) es relevante. En cuanto al fósforo la mayoría de los autores reportan balances positivos con amplios rangos. Para ambos nutrientes la eficiencia de uso o recuperación está asociada al esquema productivo aunque existen discrepancias entre los autores en cuanto a las variables que hacen a desempeños más eficientes en el uso de nutrientes.

En situaciones con alta renovación de suelo, principalmente en otoño, y serios riesgos de erosión, se genera una suerte de espiral de productividades decrecientes, en donde se condiciona la productividad futura por la degradación ambiental y donde la baja productividad genera mayores riesgos de degradación.

El uso del suelo en los sistemas de base pastoril es un elemento central que condiciona los resultados tanto productivos como ambientales. A nivel nacional existen altos porcentajes de tierra en condiciones de rastrojo o preparación que afectan negativamente la producción global de forraje; este

problema se agrava en establecimientos de menores escalas. Esta situación de áreas improductivas no es igual a lo largo de todo el año, encontrando en el otoño los mayores problemas. La combinación de varios factores en esta época del año como la prolongación de verdeos estivales, el tener grandes áreas a sembrar en un mismo momento, conspiran contra la base forrajera. A su vez en esta época las praderas establecidas son presionadas y se afecta su longevidad.

La erosión de suelo es uno de los procesos de degradación ambiental más significativos por el impacto en el propio sistema de producción y también fuera de los límites prediales, en el lugar de deposición. La erosión compromete el potencial productivo de un determinado suelo, y genera en el ambiente impactos negativos por la acumulación de material, eutrofización de cursos de agua y acumulación de productos sintéticos (agroquímicos en general). Las principales causas de la pérdida de suelo se relacionan con los períodos en donde la cobertura vegetal es escasa, generalmente cuando hay barbechos prolongados y bajas cantidades de materia orgánica, tanto en las raíces como en superficie, para la descomposición. Estos dos factores son las principales explicaciones por las cuales sistemas bajo siembra directa reportan valores de pérdida de suelos mayores al tolerable.

Otro de los elementos centrales que determinan la calidad ambiental es la materia orgánica del suelo, asociada a la actividad biológica y a la calidad físico-química del suelo. Varios autores reportan pérdidas sostenidas de materia orgánica en sistemas bajo producción de leche y en sistemas de rotaciones de pasturas con cultivos en laboreo. En cambio para situaciones bajo siembra directa la información es consistente reportando menores pérdidas e incluso ganancias de materia orgánica. En el caso de los tambos la pérdida de carbono y la reducción en la calidad en general del recurso suelo se asocia a la baja productividad de las pasturas, a la alta extracción de carbono y a efectos de degradación física del suelo.

La intensificación de los sistemas de producción agropecuarios está acompañada de un incremento en el uso de agroquímicos, con las respectivas consecuencias en los ecosistemas, afectando la calidad de recursos como suelo y agua, al tiempo que provoca efectos directos sobre las comunidades bióticas. La información a nivel nacional es escasa y en sistemas de producción de leche de base pastoril es aun menos frecuente.

Cuando se analiza la estabilidad de diferentes sistemas de producción es clara la mayor estabilidad reportada en las producciones secundarias (carne o leche) frente a las primarias (grano o forraje), que dependen fuertemente de las condiciones ambientales. La diversificación de los sistemas está

fuertemente relacionada con la estabilidad, siendo esta relación menos importante en ambientes menos restrictivos. La diversidad de los sistemas afecta de manera errática a la productividad; para algunos autores la integración funcional de los elementos del sistema para determinar una mayor productividad es más importante que la diversidad por sí misma.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MARCO METODOLÓGICO

Se utiliza el Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de recursos naturales integrando indicadores de Sustentabilidad. Se opta por este marco metodológico debido a su flexibilidad en la adaptación a diferentes situaciones, su enfoque sistémico y multiescalar, porque permite el abordaje de los sistemas de manera integral y presenta múltiples experiencias de aplicación.

Para su uso en la presente investigación se adapta el marco según las características del trabajo, modificando algunos elementos. Los pasos realizados y el orden de los mismos se detallan a continuación:

- Paso 1: Definición del objeto en estudio.
- Paso 2: Identificación de los puntos críticos.
- Paso 3: Selección de indicadores.
- Paso 4: Medición de indicadores.
- Paso 5: Presentación e integración de resultados.

En cuanto a las modificaciones en la utilización se destaca el análisis de un único ciclo de evaluación, es decir que no se trabaja en la propuesta ni en la evaluación de su implementación. En cuanto a la identificación de los puntos críticos, éstos se establecen previamente a partir de antecedentes bibliográficos, de trabajo y el conocimiento en sistemas lecheros, relegando la participación de los productores en la identificación de los mismos. En cuanto a la selección de los indicadores a utilizar, si bien se tiene en cuenta la metodología planteada por el MESMIS, el pool de indicadores final surge de la discusión con docentes y de una previa evaluación de factibilidad de cálculo con los datos recabados.

3.2. OBJETO DE ESTUDIO

Se define al objeto de estudio como los procesos biofísicos vinculados directamente con la producción y el manejo tecnológico que puedan comprometer la sustentabilidad del sistema lechero en el tiempo. Se busca analizar los posibles compromisos entre la productividad y la calidad de atributos ambientales, especialmente estabilidad y diversidad.

Los límites de análisis corresponden al área de pastoreo de vaca en ordeño a los efectos de hacer comparables los resultados entre predios. De esta manera no se contempla en el análisis áreas de recría, reservas, etc.

3.3. FUENTES DE INFORMACIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS

Las fuentes de información utilizadas surgen de antecedentes de trabajo de estudiantes de cuarto año de la carrera de Ingeniero Agrónomo de Facultad de Agronomía de los cursos de taller y lechería de los años 2008 y 2009. Por otro lado, se realiza en el marco de trabajo de campo dos entrevistas por establecimiento con el fin de profundizar en la información necesaria. En esta instancia se busca presentar el trabajo e integrar a los productores. La información obtenida fue sistematizada e ingresada en planillas para el cálculo de indicadores. Como criterio básico se busca generalizar el uso del suelo y las prácticas de manejo. Se generan de esta manera rotaciones promedio que contemplan el uso predominante del suelo. Al igual que el manejo tecnológico que contempla los elementos principales. Es así que se trabaja con las reglas generales de cada establecimiento sin tener en cuenta los aspectos puntuales de cada año. Se opta por teorizar y trabajar con situaciones promedio para viabilizar y facilitar el uso de algunas herramientas de simulación y diagnóstico.

3.4. SELECCIÓN Y MÉTODO DE CÁLCULO DE INDICADORES

La selección de indicadores se realiza mediante la identificación de problemas relacionados a la producción lechera y su consecuente análisis de viabilidad y pertinencia en el de trabajo tesis en conjunto con los docentes tutores. Dichos indicadores intentan responder la hipótesis y los objetivos planteados.

Cuadro No. 5: Indicadores utilizados y método de estimación

Atributo	Número	Nombre
Productividad	Indicador 1	Eficiencia uso Biomasa
	Indicador 2	Eficiencia de uso Energía Fósil (Mj Mj ⁻¹)
	Indicador 3	Erosión (Mg ha ⁻¹ año ⁻¹)
Estabilidad	Indicador 4	Balance Materia Orgánica
	Indicador 5	Cambio de stock Carbono (Mg ha ⁻¹ año ⁻¹)
	Indicador 6	Balance de nutrientes (Kg./ha/año)
	Indicador 7	Contaminación por plaguicidas (Relativo)
	Indicador 8	Diversidad-estabilidad (Relativo)
Adaptabilidad	Indicador 9	Superficie Efectiva de Pastoreo Lechero (% del Total)
Resiliencia	Indicador 10	Porcentaje Gastos funcionamiento (% de PB)
Confiabilidad	Indicador 12	Sensibilidad a Precipitaciones
	Indicador 13	Sensibilidad a Precios

3.4.1. Indicadores relativos a la productividad

3.4.1.1. Indicador 1: eficiencia uso biomasa

La eficiencia de uso de la biomasa se calcula estimando la cantidad de litros producidos por kilogramo de alimento consumido por las vacas en ordeño. Para ello se cuantifica la totalidad de alimentos consumidos independientemente de su origen (predial o extrapredial) y del tipo de alimento (concentrado o voluminoso) expresado en kilogramos de materia seca, así como también los litros totales producidos.

La estimación del forraje consumido se utiliza las bases de datos reportadas por Leborgne (1974). Para ello, se utilizan rotaciones teóricas representativas de las diferentes situaciones productivas encontradas en cada predio. En el caso de la suplementación ofrecida se le asigna un valor de desperdicio según tipo de alimento. Para el caso de alimento concentrado (sorgo grano húmedo, ración, etc.) se le asigna un valor de desperdicio del 15 por ciento, para el caso de alimentos voluminosos (ensilaje planta entera de maíz o sorgo) un porcentaje de pérdida del 30 por ciento y para los fardos un porcentaje de 40 por ciento de desperdicio.

3.4.2. Indicadores relativos a la estabilidad

3.4.2.1. Indicador 2: eficiencia de uso energía fósil

Para su estimación se utiliza el Software Agro-Eco-Index®, desarrollado por Viglizzo et al. (2006). Se calcula estimando la cantidad de energía que ingresa al predio contenida en insumos (fertilizantes, semillas, suplementos, combustibles etc.) necesarios para la realización de labores, y la energía que sale del predio bajo forma de productos (leche o carne). Todos los insumos ingresados hacen referencia al área de vaca en ordeño. La carne producida se considera mediante el porcentaje de parición para incluir así a los terneros nacidos. En el caso de que las reservas consumidas por las vacas en ordeño sean producidas en el mismo predio, fuera del área de pastoreo de vacas en ordeño, se las considera como un insumo extrapredial y no se incluyen los insumos necesarios para la producción de la misma.

Se utilizan coeficientes de costo energético originados a partir de las prácticas y tecnologías aplicadas a nivel local (Ver anexo XX).

3.4.2.2. Indicador 3: erosión

La estimación es realizada mediante el programa EROSION 5.91, el cual se basa en la adaptación a nuestras condiciones de la ecuación Universal USLE/RUSLE (García Préchac et al., 2009b). Se analizan los tipos de suelos, la ubicación topográfica y la pendiente de cada uno. Para la estimación de las pendientes se utiliza Google earth, y el mapa CO.N.E.A.T para definir el mapa de suelos de cada predio (URUGUAY. MGAP. CONEAT, 1979). Basándose en dichos antecedentes se analiza la sensibilidad de las rotaciones establecidas en dos escenarios diferentes:

- Escenario 1: Unidad de suelos Young y pendiente promedio de 3 por ciento, simulando las laderas altas de menor pendiente.
- Escenario 2: Unidad de suelos Fray Bentos y pendiente promedio de 4 por ciento, simulando laderas medias y bajas.

De esta forma y con esta discriminación se busca analizar la sensibilidad de cada rotación ante diferentes escenarios factibles a ser encontrados en los sistemas analizados, mejorando así la estimación riesgo de erosión.

Para la estimación de las pérdidas, se toman la o las rotaciones más representativas de los predios. En el caso de verdeos se toma a cultivos de

invierno como representativos de los verdeos de invierno y a sorgo o soja como representativo de los verdeos de verano, según corresponda. En este caso se opta por modificar el factor C de uso y manejo, estableciendo que a causa del pastoreo se prolonga el período 2 (establecimiento), pasando directamente a período 4 (rastreo). De esta forma se establece que el suelo permanecerá con una cobertura media, y nunca se encontrarán etapas de coberturas altas como las esperadas en cultivos para grano (correspondientes al período 3 de crecimiento y maduración). En cuanto a las pasturas se toma como factor de ajuste la productividad según la edad de las mismas y las situaciones productivas observadas.

3.4.2.3. Indicador 4: situación actual de materia orgánica

Mediante este indicador se pretende conocer el estado actual de la materia orgánica de los suelos, a partir de la comparación de las áreas perturbadas bajo producción con la situación de referencia. Para esto se utiliza la metodología desarrollada por Morón et al. (2009) en la que se hacen muestreos de suelo con alta repetitividad en las dos situaciones analizadas y que se quiere comparar. Se toman tres muestras en cada situación, compuesta de 20 submuestras, cada una. Se utiliza calador de 2,5 cm. de diámetro a una profundidad de 20 cm. Para la extracción de la materia orgánica en laboratorio se utiliza el método Walkley-Black. Las muestras de la zona perturbada corresponden a diferentes momentos de la rotación, mientras que la zona imperturbada se ubica generalmente debajo de los alambrados.

Se asume que las diferencias entre la situación perturbada y la imperturbada es producto del manejo actual del suelo así como también de la historia agrícola del mismo. Conocer cómo se encuentra la materia orgánica de los suelos en la actualidad, permite saber el grado de deterioro que presenta uno de los indicadores más importantes de la calidad de suelo.

3.4.2.4. Indicador 5: cambio de stock carbono

Por otro lado la variación de carbono en el suelo en un período de 20 años, se estudia mediante el Software Agro-Eco-Index®, cuantificando las toneladas de carbono perdido (o ganado) por hectárea y por año. Este indicador permite conocer cómo es la variación anual de carbono en el suelo para cada predio, dado un manejo y uso de suelo establecido. La variación en este elemento en el suelo permite conocer la tendencia sobre la cual están funcionando los sistemas. A partir de la metodología que utiliza el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático se estima el stock de C para cada

uno de los extremos de los períodos de 20 años, tal como se detalla en la fórmula No.1:

Fórmula No. 1

$$\text{Stock Actual} = \text{Stock previo} \times U \times L \times R$$

El stock actual del carbono en el suelo está determinado por cuatro componentes. El primero es el stock previo que parte de un valor estimado según el stock nativo de carbono (región) y la diferencia anual entre los dos últimos extremos designados suponiendo los mismos manejos que en la actualidad; el factor uso de la tierra (U), surge del tipo de uso que ha tenido cada fracción de tierra en el período analizado; el factor labranza (L) asigna coeficientes según el tipo de labranza laboreo o siembra directa; el factor rastrojo (R) que se utiliza para estimar el aporte relativo de la vegetación remanente.

En base al indicador cuatro y cinco, analizados de forma conjunta se pretende aproximar a la situación del carbono en el suelo de forma estática y dinámica.

3.4.2.5. Indicador 6: balance nutrientes

El análisis se realiza mediante el Software Agro-Eco-Index®. En cuanto al balance de nitrógeno de este modelo tiene en cuenta los ingresos al sistema por precipitaciones, fertilizantes, fijación biológica por leguminosas, alimentos comprados consumidos por animales como suplemento y los egresos estimados a través de los productos finales extraídos. En cuanto al fósforo se consideran los ingresos por fertilizantes y alimentos comprados consumidos por animales como suplemento, en tanto los egresos se estiman como el fósforo en los productos finales. Este modelo no contempla en sus cálculos pérdidas de nutrientes consideradas en el ciclo de nutrientes como volatilización, percolación, escurrimiento superficial (erosión), ni considera las variaciones en el stock de materia orgánica.

Para ingresar los valores de fertilizantes en el modelo se toma en cuenta los manejos promedio que se realizan por cultivo. Para el caso de los suplementos se consideran los alimentos totales ofrecidos por vaca en ordeño sin importar si son o no producidos en el predio. En búsqueda de una mejor aproximación a las situaciones de producción se modifican los contenidos de nitrógeno y fósforo a partir de datos nacionales (Acosta, 2008).

3.4.2.6. Indicador 7: contaminación por plaguicidas

Para estimar el riesgo de contaminación por plaguicidas se utiliza el Software Agro-Eco-Index®. El índice generado es relativo ya que mediciones absolutas no permitirían realizar comparaciones de casos. El mismo contempla fundamentalmente la toxicidad, la cantidad y frecuencia de uso. Toma como base la solubilidad en agua del producto (Ksp), el coeficiente de adsorción por fase orgánica de suelo (Koc), la vida media del producto (T 1/2), y la capacidad de recarga del acuífero (R) que depende de la permeabilidad de los suelos en estudio. Para ingresar los datos en el programa se consideran los manejos promedios por cada componente de la rotación.

3.4.2.7. Indicador 8: diversidad- estabilidad

El indicador desarrollado en este trabajo pretende contemplar la complejidad y las características propias de los sistemas lecheros y ganaderos pastoriles en general. Se busca también con esta propuesta, superar la inadecuación de algunos indicadores desarrollados para sistemas netamente agrícolas o para estudios de ecología sobre áreas naturales. Este indicador se construye a partir del cociente entre el número de componentes funcionales presentes y la sumatoria del producto entre la importancia, la perennidad y la riqueza específica de cada componente.

Fórmula No. 2

$$\text{Índice} = \frac{\text{No. Componentes}}{\sum (\text{Importancia} * \text{Perennidad} * \text{Riqueza específica})}$$

Los componentes funcionales que se consideran en el indicador son los verdes, tanto invernales como estivales, el año de cada pastura plurianual y el tapiz natural. La importancia de cada componente está dada por la proporción que representa de la producción global de materia seca de forraje en el predio o rotación. De este modo se integra así la productividad por hectárea y la superficie que es destinada a cada componente. La estimación de la producción de forraje se realiza mediante el establecimiento de una rotación teórica y la producción de cada componente se estima en base a Leborgne (1974). La importancia como proporción se expresa en forma decimal (producción componente/producción total anual), la suma de la importancia de todos los componentes será igual a 1. Para la perennidad y riqueza específica se utiliza una escala que asigna valores diferenciales según la longevidad del

componente y el número de especies que lo componen, las mismas son independientes entre si. Esta escala se detalla en el siguiente cuadro.

Cuadro No. 6: Escalas a utilizar según criterios de perennidad y riqueza específica

Escala a usar	Perennidad	Riqueza específica
1	Campo Natural	Más de 4 especies
2	Praderas de 4 años	4 especies
3	Praderas de 3 años	3 especies
4	Praderas de 2 años	2 especies
5	Verdeos	1 especies

Se genera así un valor relativo, que permite comparar diferentes esquemas productivos pastoriles. Mayores valores en el índice señalan una mayor diversidad de los sistemas.

3.4.3. Indicadores relativos a la adaptabilidad, resiliencia y confiabilidad

3.4.3.1. Indicador 9: superficie efectiva de pastoreo lechero

Este indicador considera la proporción del área de pastoreo de vaca en ordeño que se encuentra fotosintetizando estacionalmente. Es decir que se descuenta de la superficie lechera toda área que se encuentre en barbecho o en etapa de implantación, logrando como resultado el área que teóricamente se encontraría con posibilidades de ser pastoreada. Se busca identificar posibles problemas intrínsecos a las rotaciones, relacionándolos con la variación de carga estacional. Se presume que los altos valores de este indicador estarán relacionados con predios menos vulnerables a cambios externos y más eficientes en el uso de la energía.

3.4.3.2. Indicador 10: porcentaje del producto bruto representado por los gastos de funcionamiento

Se analiza el producto bruto lechero anual, resultante de la producción de leche anual y el precio de la leche, y el costo de funcionamiento del sistema. Se entiende por costo de funcionamiento todo aquel que no dependa del nivel de producción y que forme parte de la estructura de costos fijos del predio. En este caso se toman en cuenta los salarios, contribuciones, impuestos que no dependan de la producción, rentas, productos de limpieza y mantenimiento de tambo, servicios como por ejemplo luz y comunicaciones, gastos familiares (alimentación, estudios, etc.). Como resultado se obtiene el porcentaje del producto bruto que no es destinado al funcionamiento base del sistema,

logrando de esta forma estimar la proporción de dinero que puede ser efectivamente destinado a la producción. Se analiza la variación de este indicador a través de los años (corregido por índice de precios al consumo) y dentro del año, identificando el peso relativo de los costos base y el margen destinado a la producción ante variaciones en el precio de la leche o en la producción. Resultarán por tanto menos confiables aquellos sistemas en que el costo de funcionamiento representa una proporción importante del producto bruto.

3.4.3.3. Indicador 11: sensibilidad a precipitaciones

El análisis de la sensibilidad de la producción de leche a las precipitaciones, uno de los factores más importantes de la variación climática, está condicionado a la fuente de información disponible. La misma se basa en la serie histórica de remisión mensual de cada predio y la serie de precipitaciones mensuales de la Estación Experimental (EEMAC). Se busca entender así, cómo varía la producción en función de las lluvias registradas y la magnitud de dicha variación.

Dada la multiplicidad de factores que afectan a la producción de leche en un momento determinado, las correlaciones simples o las regresiones lineales entre ambas series de datos esconden y mezclan diversos efectos (por ejemplo: época de parto, nivel de suplementación, estacionalidad de las pasturas, relación de precios e insumos etc.).

Se acota el análisis a una época del año determinada, en donde existe un comportamiento potencialmente comparativo entre años y sistemas, y se compara el comportamiento de los sistemas en años contrastantes consecutivos.

Se analiza el semestre noviembre-abril, donde los sistemas lecheros tienden a reducir su producción mes a mes a partir de noviembre. Se toma noviembre como mes de máxima producción asignándole el valor 100. Esta disminución en la productividad estival y otoñal, responde a las condiciones restrictivas de este período en comparación con el período primaveral, así como a características propias de la organización productiva. Se utiliza el año 2006/07 como lluvioso, donde la lluvia acumulada para el semestre en estudio es de 1030 mm y el año 2007/08 como seco, donde el acumulado semestral alcanza los 453 mm y donde exceptuando el mes de febrero la lluvia mensual para el resto del período estuvo sensiblemente por debajo del promedio histórico mensual.

La forma en que se da el descenso en la producción relativa desde el mes de noviembre, para los dos años contrastantes, determina el comportamiento de cada sistema frente a las variaciones climáticas.

3.4.3.4. Indicador 12: sensibilidad a precios de la leche

Se pretende con este indicador analizar el grado en que los niveles productivos mensuales son afectados por el precio mensual de la leche, esto se restringe a los meses primaverales (setiembre, octubre, noviembre), en donde se dan las mejores condiciones para la producción de pasto y leche. Se busca determinar así, la relación que existe entre ambas variables y la medida en que la producción se ve determinada por las fluctuaciones en el precio, que es considerado uno de los principales estímulos para los productores.

Se excluye otros períodos del año, dado que se busca reducir el efecto de otras variables involucradas en la producción de leche. Los datos con que se cuenta son las series históricas de remisión de cada predio, que tiene un alcance diverso pero que en todos los casos involucra más de cinco años. Estos datos son cruzados con la evolución que ha tenido el precio de la leche para cada productor.

Al analizar la relación existente se propone hacer regresiones simples (lineal) y la correlación entre ambas series de datos, para conocer y comparar la magnitud de esta relación.

3.5. CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA AGROECOLÓGICA

Los predios en análisis se encuentran en la región sur-este del departamento de Paysandú, sobre la Ruta de los Charrúas, número 90 entre los kilómetros 18 y 25.

Entre las características agro climáticas se destaca que la evapotranspiración anual y las precipitaciones anuales presentan valores similares 1250 mm y 1223 mm respectivamente (García Petillo et al., 2008). La evapotranspiración presenta leves variaciones entre años, y su curva está determinada por la demanda atmosférica, lo que genera la máxima evapotranspiración en los meses de verano y las mínimas en los meses de invierno. En cuanto a la distribución anual de las lluvias, estas tienen un comportamiento isohigro por lo tanto no se diferencian estaciones lluviosas o secas dentro del año. Las precipitaciones anuales presentan alta repetitividad y las precipitaciones mensuales son altamente variables. Las temperaturas medias se encuentran en promedio en torno a los 18.

Los predios se encuentran ubicados sobre la formación geológica Fray Bentos. La misma está compuesta principalmente por rocas limosas o areniscas muy finas, presentando arcillas, arenas finas y carbonato de calcio en cantidades variables (Bossi, 2000).

Según el mapa de suelos Coneat se desarrollan en el área dos grupos de suelos agrícolas asociados a diferentes unidades, el 10.15 y el 11.4. La primera asociación ocurre en las laderas transicionales entre grupos correspondientes a la formación Fray Bentos situados a niveles altimétricos superiores y los grupos cretáceos, localizados a niveles altimétricos inferiores. El material geológico es un sedimento coluvial con mezcla de litologías de Fray Bentos y Cretáceo. El relieve corresponde a laderas ligeramente convexas, de pendientes de alrededor de 2 por ciento. Los suelos dominantes son Brunosoles Subéutricos Típicos y Lúvicos, de color pardo muy oscuro a negro, textura franco arcillo arenosa a franco arenosa, fertilidad media y alta y moderadamente bien a imperfectamente drenados y Vertisoles Rúpticos Lúvicos (Grumosoles) de color pardo muy oscuro a negro, textura franco arcillosa, fertilidad alta y moderadamente bien a pobremente drenados. Este grupo se encuentra integrado, por razones de escala en las unidades Fray Bentos, San Manuel y Young de la carta a escala 1:1.000.000. (D.S.F).

Por otro lado el grupo 11.4 se desarrolla sobre el material geológico que corresponde a sedimentos limosos con herencia litológica de la formación Fray Bentos, que recubren en delgados espesores a la misma; se encuentran siempre edafizadas y, en algunos casos, constituyen solo los horizontes superiores del suelo. En este grupo, la formación Fray Bentos no presenta la consolidación existente en el grupo anterior, siendo más friable y con abundante calcáreo en concreciones friables. El relieve es ondulado fuerte, con predominio de pendientes de 4 a 8 por ciento. Los suelos predominantes son Brunosoles Éutricos Típicos, moderadamente profundos, de color negro, textura franco arcillosa, fertilidad alta y muy alta y moderadamente bien drenados. En posiciones de ladera de convexidad muy marcadas se asocian Brunosoles Éutricos Hápticos, superficiales (Regosoles) y en las de menor convexidad, Brunosoles Éutricos Típicos y Hápticos profundos. En las concavidades existen Planosoles Eutricos Melánicos. Este grupo integra la unidad Young de la carta a escala 1:1.000.000 (D.S.F).

3.6. CARACTERIZACIÓN DE LOS ESTABLECIMIENTOS EN ESTUDIO

3.6.1. Caracterización productiva

Los predios que forman parte del estudio fueron seleccionados contemplando la diversidad en sus características principales. Es por esta razón que se trabaja con cuatro predios que difieren en el tipo de explotación, combinación de rubros y recursos involucrados en el proceso productivo. A su vez existe diversidad en las escalas y esquemas productivos de cada establecimiento. En cuanto a la escala existen diferencias en la superficie y el número de animales así como también en los niveles productivos. Todos los establecimientos analizados remiten a plantas industriales, dos de ellos a PILI y los restantes a CONAPROLE.

Cuadro No. 7: Tipo de explotación, recursos involucrados y escala de producción

	1	2	3	4
Rubros	Lechero	Lechero	Lechero Ganadero	Lechero Agrícola-Ganadero
Tipo de explotación²	Productor simple de mercaderías	Productor simple de mercaderías	Empresario familiar	Empresario rural
Mano de obra contratada	Servicios	Servicios	Permanente y servicios	Permanente y servicios
Instalaciones³	1	1	4	5
Mecanización⁴	1	3	4	4
Superficie de Vaca ordeñe (Has)	29	51	220	400
Producción (Lts/ Ha VO/ Año)	2.854	3.881	4.429	5.390
Vacas masa	22	74	202	375
Vacas en ordeñe	18	48	161	336

² Dos Santos et al. (1997)

³ 1 - Tanque de frío hasta 1000 lts. y ordeñadora hasta 4 órganos. 2- Tanque de frío entre 1001-2000 lts y ordeñadora de 6 órganos. 3- Tanque de frío entre 2001- 4500 lts de 10 órganos Tanque de frío entre 4501 - 7000 lts de 12 órganos. 4- Tanque de frío mayor a 7001 lts ordeñadora mayor a 12 órganos.

⁴ 1- Sin tractor o Tractor Hasta 50 HP. 2-Tractores entre 50 - 100 HP , rotativa. 3-Tractores entre 50-150 HP , pendular, pulverizadora. 4- Tractores entre 150-450 HP, pendular, pulverizadora, enfardadora, sembradora y/o cosechadora. 5-Tractores mayor a 300 HP, rotativa, pendular, pulverizadora, enfardadora, sembradora y/o cosechadora, equipo para silo.

Una de las características que diferencian los sistemas es el uso del suelo. La base pastoril en algunos casos se compone principalmente por verdesos y en otros por pasturas de corta o larga duración. Las rotaciones teóricas utilizadas para cada establecimiento se detallan a continuación.

Cuadro No. 8: Rotaciones teóricas e importancia por establecimiento

Predio	Rotación	% Área en rotación	Secuencia
1	A	100	PP1-PP2-PP3-VV/VI
2	A	100	VI-VV-Bcho
3	A	100	VI/PP1-PP2-PP3-VI/VV
4	A	16	VI-VV
4	B	30	VI/VV-PP1-PP2
4	C	54	VI/VV-VI/PP1-PP2-PP3

La composición de la base pastoril determina la producción de forraje total y las áreas improductivas bajo forma de barbecho. Vale destacar la existencia de un área de campo natural que en todos los casos toma una importancia mayor al veinte por ciento. Las diferencias entre los predios pueden observarse en el siguiente cuadro, donde se expone el esquema de uso de suelo que generalmente se observa en los predios.

Cuadro No. 9: Uso promedio del suelo por establecimiento (%)

Predio	Pradera corta	Pradera larga	Verdeos	Campo natural	Barbecho
1	0	41	26	22	11
2	0	0	32	35	32
3	0	48	14	24	14
4	15	30	24	20	11

El uso del suelo de los predios en análisis presenta en la mayoría de los casos una relación con las características de la generalidad de los establecimientos lecheros (desarrollado en el Capítulo 2). Las pasturas plurianuales representan en tres de los casos un porcentaje mayor al 40 por ciento, seguido en orden de importancia por el campo natural y rastrojos que representa en torno al 33 por ciento. Es notoria la diferencia que existe en el uso del suelo del predio número 2, con los datos reportados por URUGUAY. MGAP. DIEA (2007) para los establecimientos lecheros. En este caso, no existen pasturas plurianuales ya que la producción de forraje está basada en verdesos y el área de baja o nula productividad es sensiblemente mayor representando el 67 por ciento de la superficie del establecimiento. Este hecho

es señalado en la caracterización de establecimientos lecheros como un fenómeno corriente en establecimientos de menor escala, dentro del estrato de predios menores a 50 hectáreas.

El manejo del barbecho es un elemento que diferencia a los predios bajo estudio, en todos los casos existen diferentes criterios en cuanto a duración y volumen del rastrojo que permanece en el campo. Algunos sistemas como el 1, permiten que los barbechos luego de los verdeos, tanto de invierno como de verano, aporten altas cantidades de rastrojo en superficie. También en este caso hay un alto aporte de materia orgánica por la inclusión de un cultivo que rota con las pasturas. Con una lógica similar, el predio 4 presenta un manejo conservador de los rastrojos donde se busca dejar en los verdeos y al finalizar la etapa de pastura, barbechos con grandes cantidades de rastrojos. Otros casos son más extremos, como los predios 2 y 3, donde no se considera el aporte de material en la fase de barbecho. Sin embargo estos últimos difieren entre sí ya que para el caso del predio 3, la rotación arroja cortos períodos de barbecho en contraposición con el predio 2 donde los barbechos son largos, adquiriendo una importancia relativa mayor a lo largo del año (32 por ciento).

Entre los esquemas productivos existen diferentes lógicas de alimentación, lo que determina una mayor o menor importancia relativa del suplemento, aunque todos los sistemas en estudio son de base pastoriles. La estrategia de suplementación difiere en el tipo de alimento que se utiliza, concentrado o voluminoso. Se destaca al predio 1 como el que presenta un componente forrajero más importante, los predios 2 y 3 presentan una importancia relativa del forraje similar pero difieren en el tipo de suplemento utilizado. Por último el predio 4 es el que presenta una lógica de suplementación más importante, con base fuerte en los alimentos de tipo concentrado.

La composición de la dieta puede o no estar ligada con la producción de los alimentos dentro del predio. En este punto existen lógicas tendientes al autoabastecimiento, así como otras dependientes de la compra de alimentos externos (Cuadro No. 10).

Cuadro No. 10: Caracterización de los establecimientos en estudio

	1	2	3	4
Concentrado consumido (Kg BS/ Ltr)	0,25	0,22	0,15	0,43
Voluminoso consumido (Kg BS/Ltr)	0,08	0,11	0,20	0,05
Suplemento predial/ Suplemento extrapredial (%)	82	31	100	54

Cuadro No. 11: Composición porcentual de la dieta de los establecimientos en estudio

Alimento	1	2	3	4
Forraje (%)	86	77	77	68
Concentrado (%)	10	16	10	29
Voluminoso (%)	3	8	13	3

3.6.2. Conceptualización de los predios en estudio

A partir de la descripción de los establecimientos en la sección anterior, donde se señalan las principales características productivas y se detalla los resultados obtenidos, se pretende ubicar los sistemas dentro de los modelos productivos sugeridos por Durán (2004), para explicar la trayectoria tecnológica de los establecimientos lecheros del país. Se toma para ello fundamentalmente el uso del suelo, el tipo y la cantidad de suplemento, la dotación y la producción, así como también otras características relevantes.

Los modelos planteados son conceptualizaciones teóricas que, como toda simplificación de la realidad, no logran contemplar la infinidad de situaciones encontradas en los establecimientos particulares. Dentro de los cuatro predios bajo estudio se pueden diferenciar cuatro modelos aunque en todos hay elementos importantes que no coinciden necesariamente con el modelo original.

El sistema 2 bajo estudio, se asocia con el modelo “Extensivo”. El mismo basa su producción en el uso de campo natural, cultivos anuales y concentrados con escasa utilización de reservas forrajeras. A diferencia del modelo, en el predio en análisis existe una mayor área de verdeos la cual es realizada en siembra directa. Otras diferencias frente a este sistema son la mayor carga animal y la mayor productividad reportada por hectárea.

El predio 1 podría ser ubicado dentro del modelo “Organizado” ya que presenta un uso planificado del suelo con áreas importantes de pasturas de larga duración. A diferencia del modelo original se utiliza la siembra directa, presenta además otras características diferentes como ser la menor carga animal en el sistema, un mayor uso de ración y la ausencia de la utilización de ensilaje.

El predio 3 se ubica dentro el modelo teórico “Controlado” donde existen aumentos en el uso de ensilaje y concentrados que permiten aumentos en la producción. La diferencia con el modelo teórico es el uso de la siembra

directa en lugar del laboreo del suelo, la presencia de menores cargas animales por hectárea y un mayor uso de ensilaje por animal, sustituyendo en alguna medida los niveles de suplementación con concentrado.

En el caso del predio 4 en análisis, el modelo teórico más cercano es el “Avanzado con siembra directa” por buscar alcanzar altos performances animales en base a una importante suplementación con dietas de alta calidad sobre una base forrajera de alta producción. A diferencia del modelo teórico, el sistema real presenta una menor carga animal y un mayor uso de concentrado en detrimento del uso de ensilaje y heno, situación inversa que el predio 3.

Cuadro No. 12: Ubicación de los predios en los modelos teóricos de intensificación

Modelo	Extensivo		Organizado		Controlado		Avanzado SD	
	Modelo	Predio 2	Modelo	Predio 1	Modelo	Predio 3	Modelo	Predio 4
Rotación	No	No	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Siembra directa	No	Si	No	Si	No	Si	Si	Si
Praderas (%)	9	32	60	67	60	62	60	54
Producción (MS/há)	Muy baja	Media	Alta	Alta	Máxima	Alta	Máxima	Alta
Heno	Muy baja	Media	Bajo	Bajo	Muy baja	Alto	Bajo	Bajo
Ensilaje	Muy baja	Muy baja	Medio	Muy baja	Alto	Muy alto	Muy alto	Muy baja
Concentrado (gr MS./Lt leche)	300	220	110	250	255	150	262	430
Dotación (VM/há)¹	0.35	0,94	0.7	0,62	1	0,73	1.07	0,84
Producción (Lts/há)²	770	3.881	3100	2.854	4700	4.429	6500	5.390

¹ Para el caso de los predios en análisis se utiliza vaca en ordeño sobre área destinada a vaca en ordeño.

² Para el caso de predios las hectáreas utilizadas en el cálculo son únicamente las destinadas a las vacas en ordeño.

A partir de la conceptualización anterior de los predios se establecen claramente las diferentes estrategias de producción y diferente combinación de recursos representando la base para explicar diferencias en los resultados obtenidos.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS POR INDICADOR

4.1.1. Eficiencia de uso de la biomasa

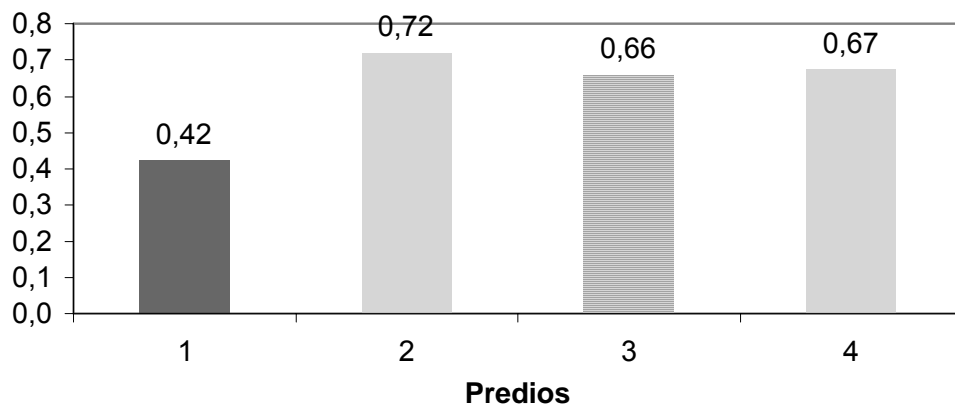
La eficiencia en el uso de la biomasa (litros producidos por kilogramo de alimento consumido) muestra diferencia entre los predios con valores que varían entre 0,4 y 0,8. Estos valores en todos los casos se ubican en los niveles más bajos de los rangos citados por la bibliografía, que están en torno de 0,4 a 1,3 litros por Kg de materia seca (Baudracco et al., 2010). La eficiencia así calculada, permite identificar los resultados que se obtienen en los predios por la diferente combinación de recursos.

Los mayores valores de eficiencia en el uso de la biomasa se encuentran en el predio 2 con 0,72 litros por kilogramo de alimento consumido, mientras que las peores eficiencias se encuentran en el predio 1 con 0,42 litros por kilogramo de alimento consumido. En el predio 2, que presenta la mayor eficiencia, las pasturas tienen un peso relativo menor en la alimentación y la suplementación un peso mayor. En el otro extremo el predio 1, con menores eficiencias, presenta el menor nivel de suplementación y las pasturas son el componente principal de la dieta.

En un nivel intermedio de eficiencia en el uso de la biomasa están los predios 3 y 4, con valores de 0,66 y 0,67 respectivamente. Las pasturas en ambos predios tienen gran importancia con un nivel intermedio a los casos anteriores. A pesar de la similitud, estos predios presentan características muy diferentes en cuanto a la estrategia de suplementación.

La metodología de cálculo del indicador presenta algunas limitantes que condicionan los resultados, especialmente en la estimación del forraje consumido. Para todos los casos se puede señalar una clara sobre estimación de este valor, asumiendo una producción y consumo superior al reportado en predios lecheros comerciales donde se ha medido. Por ello los valores están presionados a la baja, determinando eficiencias tan bajas.

Gráfica No. 3: Eficiencia de uso de la biomasa consumida



Según diferentes autores la respuesta biológica a dietas con mayor o menor suplementación está fuertemente afectada por el potencial genético del animal y la oferta de forraje. El déficit relativo de energía entre la energía potencialmente demandada y la ofrecida es la clave para manejar la respuesta y la eficiencia en dietas con mayor suplementación. Bajo altas cargas animales, con animales de alto potencial genético y lactancias prolongadas, se generan numerosos déficit de energía que deben ser manejados con suplementación (Baudracco et al., 2010).

La eficiencia de uso de la biomasa se encuentra directamente asociada a la carga animal de los sistemas, ajustando una regresión lineal con alta correlación ($y = 0,9249x + 0,2123$; $R^2 = 0,788$). Esa relación observada se explica básicamente por la sustitución de forraje por suplemento; al ser la asignación de forraje diferente entre predios y presentar niveles de suplementación similares, la sustitución es la que definiría la eficiencia de uso de la biomasa.

El predio 1, con la mayor asignación de forraje, es el que presenta peores eficiencias de uso de biomasa con mayores niveles de sustitución. En sentido opuesto el predio 2, con la mejor eficiencia, presenta la menor asignación de forraje, y es en este caso donde se espera menor sustitución. En una relación intermedia a ambos se encuentra el predio 3. El predio 4 presenta algunas diferencias con respecto al resto, aunque el nivel de asignación de forraje es menor que el predio 3 (con mayor producción de MS de forraje y aumentos de carga), los niveles de suplementación son mayores al resto de los predios por lo que la sustitución de forraje se incrementa reduciendo la eficiencia.

4.1.2. Eficiencia de uso de la energía fósil

La estimación de la eficiencia de uso Energía Fósil para los cuatro predios, a través el Software Agro-Eco-Index®, se detalla en el siguiente cuadro.

Cuadro No. 13: Eficiencia de uso energía fósil por predio expresado en Mj consumido/ Mj producido por hectárea

	1	2	3	4	Referencia ¹
Entradas	12813	11746	14257	23344	27393
Salidas	8485	11563	13122	16682	22690
Eficiencia	1,5	1,0	1,1	1,4	1,9

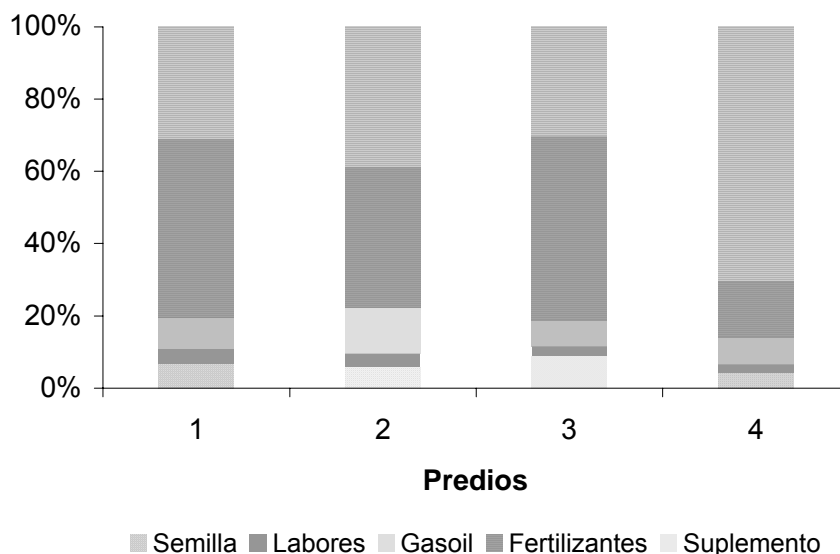
¹ Frank (2007), (los valores representan promedios).

Los predios en análisis resultan más eficientes que lo reportado por Frank (2007) de 1,9 Mj/Mj producto, para ochenta tambos en la región pampeana. Si bien estos datos pueden ser comparables, por usar la misma metodología, existen algunos aspectos que deben ser señalados. A diferencia de Frank (2007), que analiza a los tambos como un sistema, contemplando todas las producciones que allí se hacen (leche, carne, pasturas, reservas, cultivos, etc.), este estudio solo se remite al área de pastoreo de vaca en ordeño, excluyendo del análisis las reservas, cultivos, recría de reemplazos o engorde animal. También existen diferencias en algunos coeficientes asignados a las reservas alimenticias que forman parte de la dieta animal y que fueron recalculados para la situación de análisis (Ver Anexo No. 3).

La salida de energía más importante en estos sistemas está vinculada a la producción de leche, siendo la producción de carne muy marginal, esto se debe a que hay una focalización sobre el área destinada a las vacas en ordeño. Se observa una asociación muy fuerte entre la producción de leche por hectárea y la salida de energía de los sistemas bajo estudio. La producción de leche se asocia también con la entrada de energía en los predios; esta asociación no es tan fuerte como la anterior, producto de las diferentes eficiencias observadas en los cuatro sistemas.

Las eficiencias energéticas encontradas para cada caso pueden ser relacionadas con diversas características de los predios estudiados. Para asociar los resultados observados con las particularidades de cada sistema, se opta por desagregar el indicador global. En la siguiente gráfica se presenta el peso relativo que tiene cada componente en el consumo total de energía para cada predio.

Gráfica No. 4: Entradas de energía según origen para cada predio



Los componentes más importantes del consumo energético son los fertilizantes y el suplemento, en un segundo plano pueden ser ubicadas el resto de las entradas de energía. En los predios 1 y 3 los fertilizantes son el componente principal representando el 50 por ciento, mientras que la energía incorporada vía suplemento se encuentra próxima al 30 por ciento de las entradas globales. En otra situación se encuentra el predio 2 con una proporción similar de entradas por fertilizantes y suplemento de 42 por ciento cada uno. El caso 4 presenta la situación más extrema donde los suplementos superan ampliamente al fertilizante, representando el 73 por ciento.

Tanto el consumo como la producción de energía por hectárea año se incrementan desde el predio 1 al 4. Estos valores se ubican, para todos los casos, por debajo de los valores reportados por Frank (2007), lo cual está asociado, entre otras razones, a diferentes intensidades productivas.

A partir de la desagregación de las entradas de energía, se destaca que la que ingresa vía fertilizantes está asociada directamente a la producción de pasturas y verdes para el consumo animal. Su importancia relativa diferente, responde a un peso diferencial del componente forrajero en la dieta animal. En cambio, la energía entrada por suplemento responde a las estrategias alimenticias que se combinan con el forraje y que implican en algunos casos un subsidio energético muy importante (Gráfica No. 4).

Frank (2007), reporta que una mayor proporción de cultivos anuales es asociada a un incremento en el consumo de energía, en la producción de energía y en un mejor desempeño energético. A diferencia de esto y para los cuatro predios analizados una mayor proporción de componentes anuales (verdeos) no se asocia a un mayor consumo, ni producción de energía, ni con una mejora en la eficiencia. En contradicción con lo reportado por Frank (2007) para el caso de producciones primarias, un incremento en el peso de los verdeos en el uso del suelo muestra una leve tendencia a reducir el consumo y producción de energía y no presenta ningún tipo de efecto sobre la eficiencia. Seguramente otras variables de importancia en el flujo de energía de los sistemas están explicando la baja relación observada. El menor peso relativo que asumen en las entradas de energía las labores, el gasoil y las semillas reduce la importancia del uso del suelo en el comportamiento energético de los predios, lo que hace que no se encuentre una asociación directa entre la proporción de cultivos anuales y el consumo de energía. Por otro lado si se considera que los cultivos anuales en los esquemas de producción que se analizan, se destinan para el pastoreo, es lógico que la producción de energía no se asocie directamente a ese cultivo ya que éste representa un producto intermedio. Por esta razón no se detectan aumentos en la producción de energía con un mayor uso de cultivos anuales en la rotación.

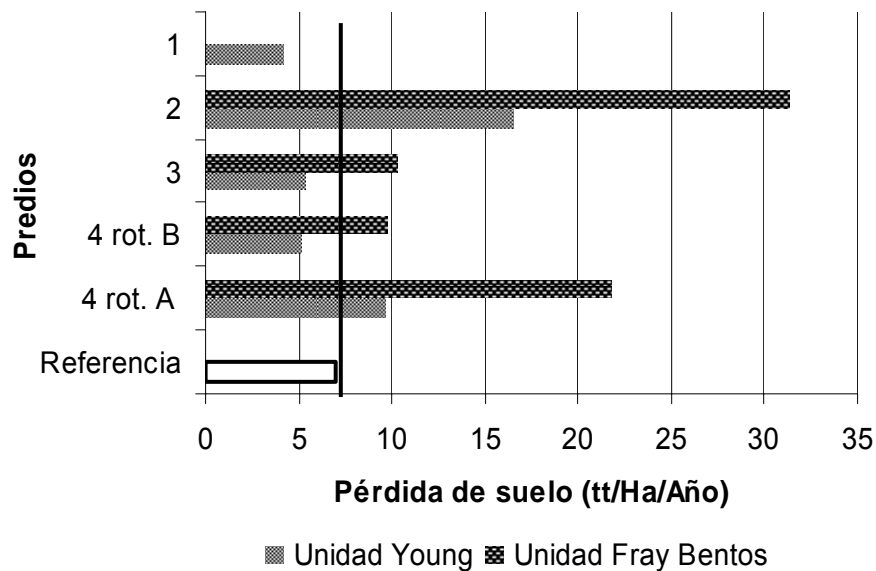
Los sistemas más ineficientes energéticamente están asociados a dos esquemas de producción contrastantes. Por un lado, sistemas con bajas cargas animales, que determinan una baja productividad por hectárea, y que presentan bajos niveles de suplementación. En el otro extremo, sistemas con alta suplementación que sustentan mayores cargas y mayores productividades por hectárea, pero que dicha suplementación no se traduce en aumentos significativos en la producción individual ni sustantivos en la carga. Se presume entonces que las variables que más determinan la eficiencia de uso de la energía fósil en los sistemas pastoriles estudiados son en esencia la carga y la suplementación, es decir los arreglos diferenciales entre ambas variables que se realizan en los predios que determinen alcanzar altas producciones con el menor consumo de energía posible.

4.1.3. Pérdida de suelo por erosión

La estimación de la erosión a través del programa Erosión 5.91 para los diferentes escenarios generados que pueden ser encontrados en cada predio, se presentan en la gráfica No. 4. En la misma se observa una gran variabilidad de pérdidas de suelo con respecto al valor de tolerancia. Este corresponde a 7 tt/Ha/ año, tanto para los suelos de la unidad Young como Fray Bentos. La unidad de suelos Fray Bentos (4% de pendiente) es más erodable que la unidad

Young (3 % de pendiente), por tanto se hace más frecuente encontrar rotaciones de uso con pérdidas por encima del rango tolerable. Esto indica la presencia de zonas con un comportamiento muy diferente frente a la erosión, en donde la tasa de pérdida y la degradación de suelo bajo un manejo homogéneo son superiores.

Gráfica No. 5: Pérdidas de suelo por establecimiento



Estos valores de erosión estimada son superiores a todas las estimaciones reportadas para situaciones bajo siembra directa, y se encuentran cercanos a los valores encontrados para situaciones de laboreo intensivo reportados por varios autores. (Sawchik y Quintana, Terra y García Préchac, Clérico et al., citados por Durán y García Préchac, 2007).

Las rotaciones en donde se combinan de forma diferente verdes y praderas, tienen una pérdida estimada que oscila entre 4,2 hasta 10,3 $\text{tt. ha}^{-1}\text{Año}^{-1}$, según el caso. Los resultados obtenidos se ubican por encima de los valores reportados en la bibliografía para siembra directa, en rotación de cultivos y pasturas (Clérico, citado por García Préchac, 2004). Estos resultados se asemejan a situaciones de rotación con pasturas en laboreo reducido, siendo en los casos más extremos, similares a laboreo intensivo (Sawchik y Quintana, Terra y García Préchac, citados por Durán y García Préchac, 2007).

Para el caso de las rotaciones que se componen únicamente por verdes, los valores oscilan entre 9,7 y 31,4 $\text{TT. Ha}^{-1}\text{Año}^{-1}$, a excepción de la rotación A del predio 4 sobre la unidad Young, representan pérdidas elevadas

que según la bibliografía se asemejan a situaciones de cultivo continuo y laboreo intensivo (18 y 20 TT. Ha⁻¹Año⁻¹) (Sawchik y Quintana, Terra y García Préchac, citados por Durán y García Préchac, 2007). El peor de los escenarios encontrados se ubica por encima de los datos reportados para soja continua con laboreo reducido de 25 TT. Ha⁻¹Año⁻¹ (Clérici, citado por García Préchac, 2004).

Es clara la relación existente entre las pérdidas de suelo por erosión y el peso en las rotaciones de los verdeos o componentes anuales y los tiempos de barbecho, en donde el suelo queda más expuesto a la acción erosiva de la lluvia. Esto puede identificarse en la rotación del predio 2 y en la rotación A del predio 4, en estas situaciones se dan los valores más alarmantes. Los menores valores de riesgo de erosión estimado se dan en las rotaciones largas con praderas. En el predio 1, en donde se encuentra el menor valor, además de haber una presencia fuerte de praderas plurianuales hay una mayor cobertura de suelo por los componentes a lo largo del tiempo, reduciendo así el riesgo frente a la acción erosiva.

Si bien en todos los predios en análisis el área sembrada se realiza bajo siembra directa, los resultados obtenidos indican que las pérdidas de suelo en todos los casos se encuentran por encima de los valores citados por la bibliografía, para un mismo sistema de uso. Esto se asocia a problemas en la implementación de la tecnología de siembra directa en predios lecheros. Los altos riesgos de erosión encontrados en las rotaciones analizadas, se deben principalmente a que las mismas no cumplen con los principios básicos de la siembra directa y que esta práctica no logra en estos casos dar respuesta a la pérdida de suelo. En estos casos no se estaría garantizando por la secuencia de usos del suelo y por prácticas de manejo, altas coberturas de suelo durante las fases de cultivo, debido al pastoreo y durante el barbecho, debido a la baja cantidad de rastrojo que permanece en superficie. Esta baja cantidad de materia orgánica disponible para la descomposición, sumada a los largos períodos de suelo descubierto exponen a los sistemas a altos riesgos de pérdida de suelo.

4.1.4. Estado actual de la materia orgánica

En concordancia con varios autores, los resultados obtenidos indican que los valores actuales de materia orgánica (suelo perturbado) se encuentran en todos los casos por debajo del valor de referencia (suelo imperturbado) (García Préchac 2004, Álvarez 2006, Morón et al. 2009). Existen diferencias importantes entre los predios, variando la magnitud de la pérdida entre 8 y 33 por ciento.

Cuadro No. 14: Diferencia entre el estado actual de la materia orgánica y la situación de origen

Predio	MO Perturbado (%)	MO Imperturbado (%)	Diferencia (%)
1	3,9	5,3	-26
2	4,6	6,9	-33
3	3,9	5,8	-32
4	5,3	5,8	-8

Relacionando los resultados obtenidos con la curva de pérdida de materia orgánica por introducción de agricultura (Álvarez, 2006), puede señalarse que existen predios que se encuentran cercanos a la situación teórica de equilibrio (2 y 3), el predio 1 que presenta un grado de degradación intermedio y el predio 4 que se encuentra cercano a la situación original.

Los valores de pérdida de materia orgánica se encuentran cercanos a los reportados por Morón et al. (2009), 20,4 por ciento para producciones lecheras, atribuyéndole una importancia moderada en comparación con valores de agricultura continua con laboreo, como los valores estimados por Álvarez (2006) de 50 por ciento y 25 por ciento luego de 27 años de agricultura continua.

Si bien los valores pueden representar una pérdida moderada de materia orgánica total en comparación con otros escenarios, debe considerarse que existen diferencias en la pérdida relativa de cada fracción (particulada o asociada a fracciones minerales) y que existen diferencias funcionales entre ambas. Este hecho es de trascendencia dado que no se conoce exactamente la naturaleza de la fracción que se pierde en el proceso de degradación (Fabrizzi et al. 2003, Álvarez 2006, Six, citado por Durán y García Préchac 2007).

Si bien los valores obtenidos y las diferencias entre los predios están explicados por la historia de uso del suelo, al relacionarlos con la tasa de pérdida de carbono permiten conocer las consecuencias del uso actual del suelo.

4.1.5. Cambio en el stock de carbono en el suelo

En cuanto al cambio del stock de carbono en los suelos, todos los predios presentan tasas negativas. Existe variación en la magnitud de los valores obtenidos que se relacionan con las prácticas actuales de manejo.

Cuadro No. 15: Cambio en el stock de carbono orgánico anual

Predio	Pérdida de C orgánico (Kg. C/Ha/ Año)
1	-2
2	-101
3	-37
4	-71

Se destaca la correlación entre la pérdida de carbono, el porcentaje de verdes y el tiempo de barbecho, encontrándose mayores pérdidas de carbono en situaciones con altos porcentajes de verdes y largos períodos de barbecho, tal como sucede en el predio 2 (Cuadro No. 9 y cuadro No. 15).

Según la curva de pérdida de materia orgánica en los suelos Álvarez (2006) afirma que a mayor cantidad de años de cultivo la materia orgánica decrece a tasas decrecientes, tendiendo al equilibrio. En relación con los resultados de materia orgánica obtenidos, los predios 1 y 4 serían los que estarían más cercanos a la situación original y por tanto los que teóricamente deberían presentar las mayores tasas de pérdida. En tanto los predios 2 y 3 estarían más cercanos al equilibrio y por tanto deberían presentar menores tasas de pérdidas anuales. En contradicción a lo anterior, los resultados indican que no existe una relación clara entre la magnitud de la pérdida de carbono total y la tasa de pérdida anual actual. Este hecho se explica por que las tasas de pérdida de carbono se estiman teniendo en cuenta el uso y manejo actual del suelo, y éste no es igual que el uso histórico del suelo, por lo tanto no explica el porcentaje de pérdida de materia orgánica con respecto a la situación original.

Las tasas de pérdida obtenidas se encuentran por debajo de lo reportado por García Préchac (2004) para agricultura continua con laboreo convencional ($307 \text{ Kg. ha}^{-1}\text{Año}^{-1}$). En general los valores se encuentran más cercanos a los registrados para la rotación de cultivos y pasturas ($45 \text{ Kg. ha}^{-1}\text{Año}^{-1}$), con excepción del predio 2 el cual se encuentra sensiblemente por encima de dichos valores, dada la ausencia de pasturas plurianuales.

Según la tasa de pérdida registrada en los predios y en relación con la diferencia de carbono en los suelos en la situación perturbada e imperturbada, se puede presumir que las pérdidas de carbono orgánico en períodos anteriores han sido ampliamente superiores a las actuales sin considerar el efecto de la pérdida de carbono por erosión.

El efecto de la pérdida de suelo se detalla en el cuadro No. 16, donde se estima la tasa de pérdida anual de carbono contemplando la magnitud de la pérdida de suelo para cada predio y para las unidades de suelo comprometidas en cada uno de ellos. Según Ernst², se utiliza un factor de enriquecimiento de la fracción erosionable de 1,5 y se realiza en función de la cantidad de carbono orgánico presente en los suelos mediante relevamiento a campo.

Cuadro No. 16: Tasa de pérdida de carbono orgánico considerando el efecto de la pérdida de suelo

Predio	tt suelo Erosión	tt C Erosión	tt C s/Erosión	tt C total
1 Yg	-4	-0,14	-0,002	-0,1
2 FB	-31	-1,26	-0,101	-1,4
2 Yg	-17	-0,66	-0,101	-0,8
3 FB	-10	-0,35	-0,037	-0,4
3 Yg	-5	-0,19	-0,037	-0,2
4 rot. A FB	-10	-0,45	-0,071	-0,5
4 rot. A Yg	-5	-0,24	-0,071	-0,3
4 rot. B FB	-22	-1,01	-0,071	-1,1
4 rot. B Yg	-10	-0,45	-0,071	-0,5

Los resultados obtenidos indican que si bien las relaciones encontradas en el análisis, sin considerar la erosión, se mantienen, los valores absolutos de pérdida son considerablemente mayores. Es decir que se potencian las tasas de pérdida en aquellas situaciones en las que las rotaciones poseen un componente fuerte de verdeos, largos tiempos de barbecho y donde no se contempla la cobertura de la superficie del suelo mediante rastrojos.

Las tasas de pérdida reportadas considerando el efecto erosivo se encuentran en la mayoría de los casos por encima de los valores presentados para agricultura continua con laboreo convencional. Al comparar este nuevo escenario con los resultados obtenidos de la materia orgánica perdida con respecto a la situación original, se destaca que las tasas actuales de pérdida no están alejadas de las tasas de pérdida históricas. Si se supone que la situación actual es producto de 60 años de agricultura, el rango de pérdida de los

² Ernst, O. 2010. Com. personal

diferentes predios oscila entre - 0,11 y - 0,56 tt C/ha/año. Según los resultados obtenidos considerando el efecto de la pérdida de suelo, las rotaciones más intensivas (predio 4 rotación B y predio 2) en las unidades de suelos más erodables arrojan valores que sobrepasarían ampliamente las tasa históricas e incluso representarían más del doble de las pérdidas (Cuadro No. 16).

Por lo tanto, si se analiza la dinámica de carbono en los predios lecheros analizados, si bien todos arrojan tasas negativas estas no se encontrarían tan alejadas del equilibrio ni del valor reportado para rotaciones cultivos y pasturas. Esta afirmación pierde validez cuando se incluye el efecto de la pérdida de suelo estimada para cada predio. Es decir que se puede afirmar que en la medida que exista un control real de la erosión en los sistemas, el balance de carbono no estaría comprometiendo la sustentabilidad de los mismos.

4.1.6. Balance de nutrientes: nitrógeno y fósforo

4.1.6.1. Nitrógeno

Al analizar la dinámica del nitrógeno en los sistemas, se destacan balances positivos en todos los casos. Los resultados obtenidos varían en un rango de 24 a 70 Kg. ha⁻¹Año⁻¹.

Cuadro No. 17: Entradas, salidas, balance de nitrógeno expresado en Kg. Ha⁻¹Año⁻¹.

Predios	1	2	3	4
Entradas	63	44	92	69
Salidas	14	20	22	28
Balance	49	24	70	41
Balance s/FBN	20	24	37	7

Los ingresos de nitrógeno a los sistemas están representados por insumos (suplemento y fertilizante), lluvias y fijación biológica por leguminosas en el caso que existan pasturas con este componente. Las salidas del sistema las determinan los productos leche y carne. Para todos los casos analizados la leche representa el 98 por ciento del total de las salidas de nitrógeno y el resto está compuesto por producción de carne. Comparativamente las salidas presentan menor variación que las entradas de nitrógeno por hectárea, lo cual en concordancia con lo encontrado en la bibliografía (Larrosa y Lutz, 2003), se debe a que los productos finales presentan bajos valores de nitrógeno por kilogramo. Por esta razón se puede decir que los balances están determinados por diferencias en entradas de nitrógeno.

Al desglosar las entradas de nitrógeno al sistema se observa que el mayor ingreso está dado por fertilizantes o por fijación biológica, en los casos con pasturas en la rotación. En cuanto al suplemento en general es el que menos explica las entradas, aunque para el caso de los predios 2 y 4 llega a alcanzar el 30 por ciento.

Larrosa y Lutz (2003), encontraron para el análisis de nueve predios lecheros del litoral oeste, balances que oscilan entre -3 y 84 kg. de N ha⁻¹Año⁻¹, con un promedio 32 Kg. ha⁻¹Año⁻¹. Por tanto los valores inferiores obtenidos en el sistema 2, se encuentran muy por encima de los datos inferiores reportados por la bibliografía. En tanto los datos máximos de balance de nitrógeno (70 Kg. ha⁻¹Año⁻¹), se encuentran dentro del rango reportado por La Manna et al. (2008) de tolerancia para los suelos del Uruguay (100 Kg. ha⁻¹Año⁻¹), indicando que sin considerar el efecto de la distribución espacial no existirían por el momento problemas de contaminación por nutrientes.

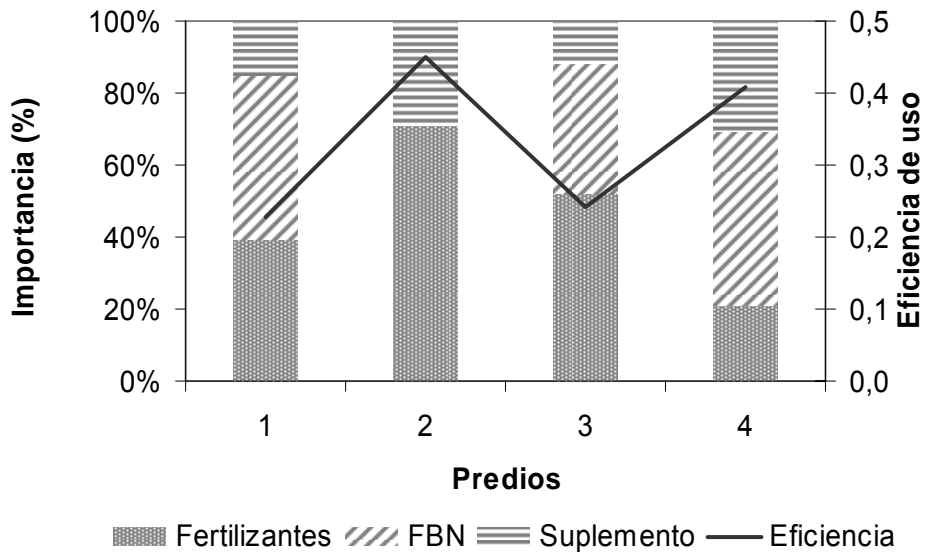
Según Larrosa y Lutz (2003), el balance de nitrógeno no estaría explicado por las entradas por insumos, dado que existirían otras variables como la dotación y el área de pasturas que lo explicarían en mayor medida. Este hecho puede verse reflejado en la importancia relativa que toma la fijación biológica que en algunos casos es cercana al 50 por ciento (predios 1 y 4). (Grafica No. 7). Los mismos autores señalan que cuanto mayor es el área bajo pasturas los balances se tornan más positivos, ya que se asocia a mayores entradas de nitrógeno por fijación biológica. Este fenómeno se presenta en dos casos contrastantes en los predios 2 y 3. El balance más alto se registra en el predio 3 el cual consecuentemente con lo anterior, es el que presenta la mayor proporción de pasturas de larga duración, en el otro extremo el predio 2 con balances más bajos no incluye pasturas en su esquema de rotación.

Al igual que lo citado por Larrosa y Lutz (2003), si no se considera la FBN los balances continúan siendo positivos debido a los importantes ingresos de nitrógeno por suplemento y fertilización (Cuadro No. 15).

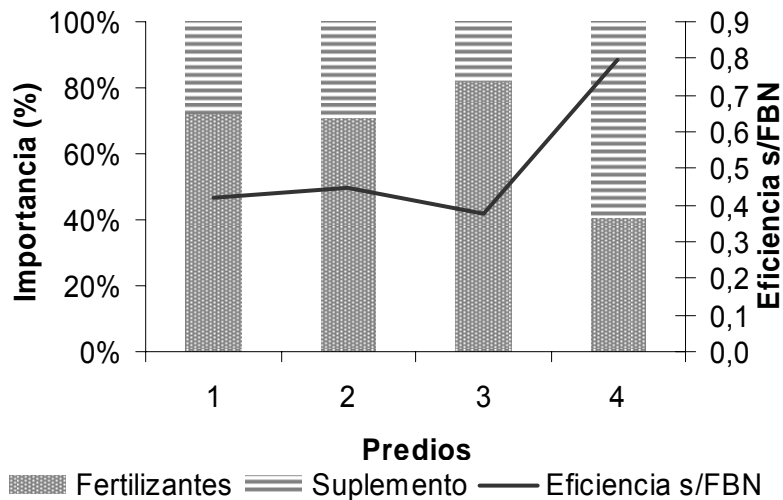
La recuperación de nitrógeno presenta variaciones que oscilan entre 0,45 y 0,23 kilogramos de nitrógeno en producto por kilogramo que ingresa. Según los resultados obtenidos los sistemas más eficientes (2 y 4) son aquellos que presentan los balances más bajos y altas cargas (0,94 y 0,84 vacas/ha.), sostenidas por alta incorporación de suplemento. En contraste con sistemas altamente intensificados de Europa, donde se plantea la disminución de las cargas, entre otras modificaciones, para lograr mayores eficiencias de uso de nutrientes (Aarts et al., 1992).

No se encuentra una relación clara ente la eficiencia y porcentaje de pasturas ni producción por hectárea tal como es citado por la bibliografía (Larrosa y Lutz 2003, La Manna et al. 2008).

Gráfica No. 6: Entradas de nitrógeno según origen y eficiencia de uso



Gráfica No. 7: Entradas de nitrógeno según origen y eficiencia de uso sin considerar la fijación biológica



La relación entre la suplementación y la eficiencia de uso se presenta claramente en la Gráfica No. 8, cuando no se considera el efecto de la fijación

biológica, la eficiencia de uso aumenta sustantivamente en situaciones en las que el suplemento representa la entrada principal. Un ejemplo claro es el predio 4 donde la eficiencia llegaría a 0,8 kilogramo de nitrógeno en producto por cada kilogramo de nitrógeno que ingresa al predio. Este efecto sugiere que la recuperación de nitrógeno en producto es mayor en la medida que los nutrientes incorporados se exponen a una menor probabilidad de pérdidas o ineficiencias. Por esta razón existe una mayor recuperación de nutrientes cuando estos provienen vía suplemento y en lugar del fertilizante.

4.1.6.2. Fósforo

Los balances de fósforo de los predios se encuentran cercanos al rango reportado de 12 a 32 Kg. ha⁻¹Año⁻¹. Tal como cita la bibliografía, éstos se explican en mayor medida por las entradas totales que por las salidas (Larrosa y Lutz, 2003).

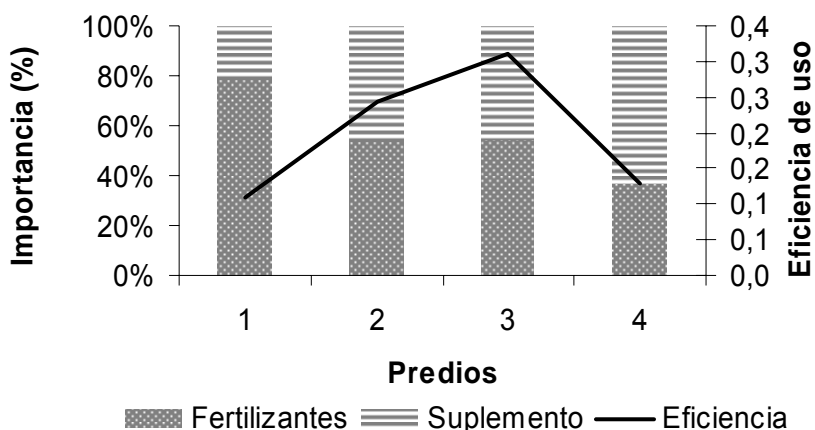
Cuadro No. 18: Entradas, salidas y balance de fósforo expresado en Kg. Ha⁻¹Año⁻¹

Predios	1	2	3	4
Entradas	23	14	13	39
Salidas	3	3	4	5
Balance	21	11	9	34

Las entradas de fósforo se dan por insumos (suplemento y fertilizante) y las salidas por la cantidad de este nutriente contenido en productos finales. Las salidas en productos representan una relación similar a la del nitrógeno donde aproximadamente el 97 por ciento se explica por leche y el resto por carne.

Para el caso de las entradas se observa en la Gráfica No. 9, que para los tres primeros predios el componente que más explica las entradas es el fertilizante, al igual que lo citado por la bibliografía (Larrosa y Lutz, 2003). En cambio el caso 4 presenta una importancia relativa de ingresos de fósforo por suplemento mucho mayor (64 por ciento).

Gráfica No. 8: Entradas de fósforo según origen y eficiencia de uso

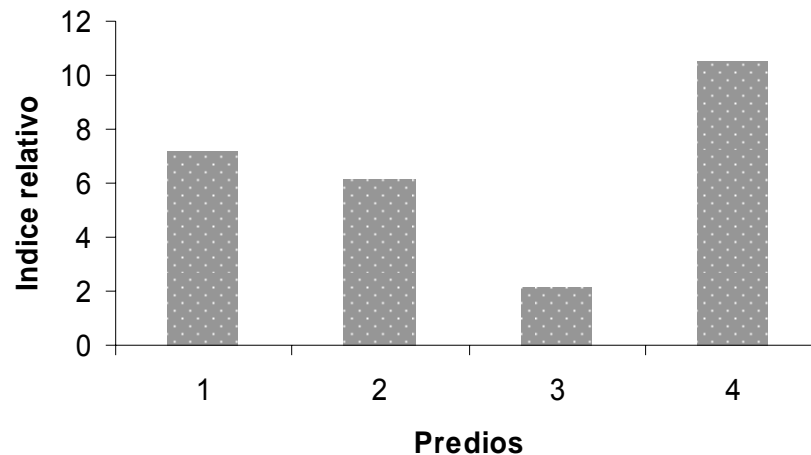


La recuperación en producto de este nutriente varía entre los predios en un rango menor y con magnitudes menores que para el caso del nitrógeno. Para el caso del fósforo no es tan clara la relación entre eficiencia e ingresos por suplemento o dotación. En tanto existe una relación entre balance y eficiencia, encontrándose generalmente mayores eficiencias en los predios donde los balances de fósforo son más bajos. Larrosa y Lutz (2003) registran otras variables que presentan altas correlaciones para explicar la eficiencia de uso del nutriente.

4.1.7. Contaminación por plaguicidas

La estimación del riesgo de contaminación por plaguicidas con el Software Agro-Eco-Index®, se presenta en el siguiente gráfico. Los valores relativos de este indicador, se encuentran entre 2,2 y 10,6, los mismos se ubican por debajo de lo reportado por Frank (2007), el cual señala valores de riesgo de contaminación por plaguicidas para tambos de 23,4. A partir de esto, se puede señalar que la carga de plaguicidas (biocidas en general) en los tambos analizados es sensiblemente menor a los tambos analizados en Argentina. Los niveles encontrados se asemejan a la situación de sistemas netamente ganaderos con valores de 7,3.

Gráfica No. 9: Contaminación por plaguicidas (Índice relativo)



Dentro de los diferentes tipos de plaguicidas, para los predios estudiados los herbicidas son los productos de mayor importancia en la producción y manejo de pasturas. La exclusión de la producción de reservas, tanto grano como silos y el peso relevante del tapiz natural en todos los sistemas, hacen que los valores de este indicador sean más favorables.

Las diferencias observadas entre predios no responden a una mayor intensidad en el uso del suelo; sino a que las tecnologías de manejo son diferentes y en algunos casos se hace un uso mayor de herbicidas para mantener las praderas limpias de malezas.

4.1.8. Diversidad- estabilidad

El indicador Diversidad-Estabilidad que fue desarrollado en este trabajo, muestra para los cuatro predios estudiados resultados diferentes que se detallan en el Cuadro No. 10.

Si bien una de las dificultades que existen a la hora de utilizar indicadores nuevos o con pocos antecedentes de uso es la fuente de comparación, los resultados obtenidos permiten hacer un análisis restringido a los cuatro sistemas.

Cuadro No. 19: Indicador diversidad-estabilidad por predio y productividad de forraje

Resumen	Índice	Productividad (Kg./Ha/año)
1	0,38	7052
2	0,15	6698
3	0,43	7617
4	0,45	8317

Es claro que el menor valor se presenta en el predio 2, donde los verdes poseen un peso muy importante y donde no se siembran pasturas plurianuales. En este sistema, el componente más diverso y estabilizador es el campo natural, que llega a representar el 30 por ciento del predio aproximadamente. En los otros tres predios (1, 3 y 4), los niveles del indicador se ubican por encima del registrado en el predio 2, de manera significativa teniendo en cuenta el rango de variación que presenta el indicador. Entre estos sistemas las diferencias son mínimas, menos de 0,05 unidades, y se deben a una combinación diferente de verdes y pasturas, con longevidades y composición de mezclas forrajeras diferentes. El sistema 4, con el mayor valor, combina tanto praderas de corta duración como de larga y con especies diferentes, a la vez que hace verdes y utiliza una superficie bajo campo natural.

Los resultados presentados son coincidentes con las premisas que se utilizaron para la construcción de este indicador, en donde una mayor cantidad de componentes, como de especies fueron valoradas positivamente, por considerar que aportan a la diversidad y estabilidad. De igual modo la perennidad fue ponderada de manera positiva, por considerarla fundamental en la estabilidad de estos sistemas pastoriles.

A pesar de lo que cita la bibliografía, donde se señala que la diversidad y la estabilidad se comportan de manera inversa a la productividad, en los predios analizados, no se observa esta tendencia. Considerando la productividad de leche por hectárea se puede observar que los predios más diversos y que presentan mayor estabilidad en su base forrajera, son a la vez los más productivos. Esta situación observada es señalada por algunos autores, al mencionar cómo algunos sistemas consiguen incrementar su estabilidad en el tiempo (menor oscilación o variación) sin reducir la productividad, considerados como anomalía a la tendencia general (Viglizzo et al. 1984, Viglizzo y Roberto 1997).

Otra tendencia que puede ser relacionada con los datos del indicador de Diversidad-Estabilidad y las características de los sistemas, es que en situaciones de menor calidad agroecológica o donde las restricciones productivas son mayores, la diversificación implica un incremento en la

productividad (Viglizzo et al. 1984, Viglizzo y Roberto 1985). Según lo anterior los sistemas en estudio podrían ubicarse en escenarios productivos con ciertas restricciones como ser clima, suelo, etc.

Frank (2007), indica que a medida que se incrementa el porcentaje de cultivos anuales, si bien aumenta la diversidad agrícola, el impacto ambiental también es mayor, lo que cuestiona la estabilidad de estos sistemas en el tiempo.

4.1.9. Superficie efectiva de pastoreo lechero

El porcentaje de área efectiva de pastoreo se presenta en el Cuadro No. 17. Los resultados son variables entre los predios pero en general indican que el área que se encuentra en barbecho o en etapa de implantación, en promedio varía desde 20 a 44 por ciento en promedio anualmente.

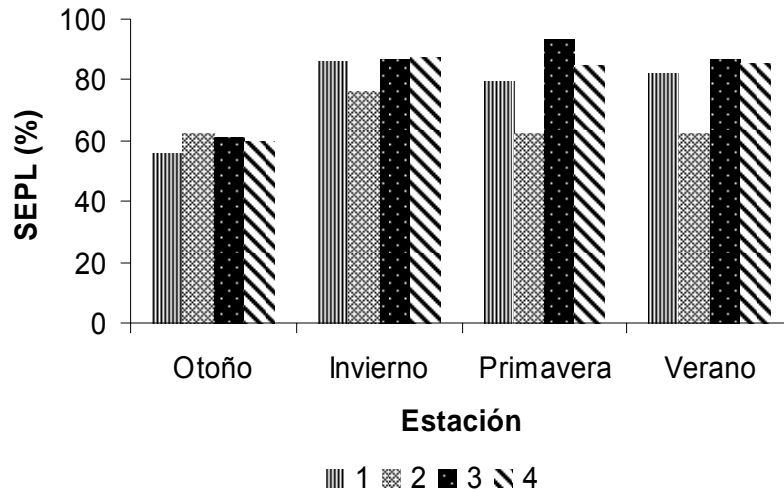
Cuadro No. 20: Superficie efectiva de pastoreo promedio anual según predio

Predios	SEPL (%)
1	76
2	66
3	82
4	80

Las grandes áreas de baja a nula productividad en la producción lechera han sido reportadas por varios autores, los cuales le asignan valores cercanos a un tercio de la superficie de los predios, teniendo en cuenta además el campo natural (URUGUAY. MGAP. DIEA, 2007).

El caso más crítico lo representa el predio 2, donde se encuentra la mayor área que no está en condiciones productivas (Cuadro No. 17).

Gráfica No. 10: Superficie efectiva de pastoreo estacional

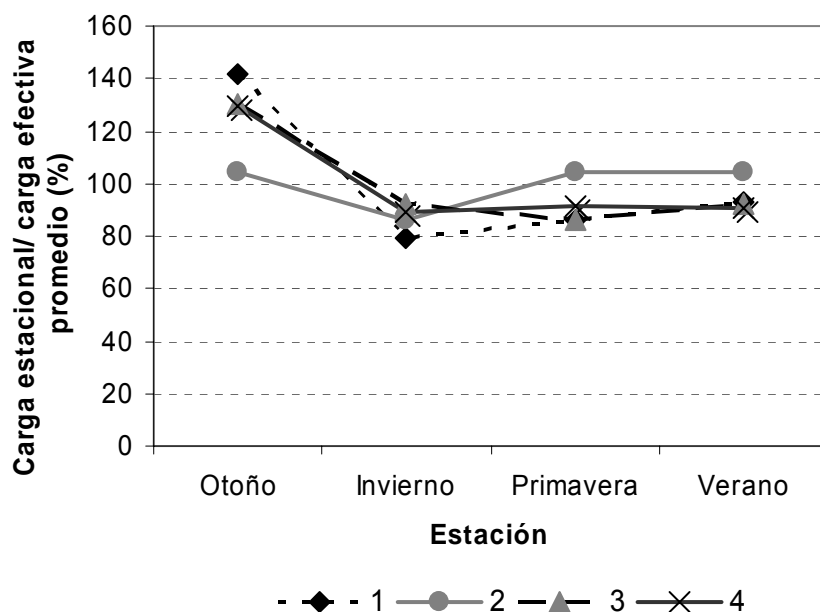


Según Ernst (2003) en los pequeños establecimientos es frecuente encontrar mayores áreas de baja productividad (50 por ciento), dado que se realizan rotaciones más cortas que generan mayores áreas improductivas.

Los bajos valores de área productiva otoñal están dados principalmente por el fin de los verdeos de verano y por la siembra de los verdeos de invierno y nuevas praderas. A medida que existe mayor área con verdeos de verano con pastoreos tardíos y mayores siembras otoñales tanto de pasturas como de verdeos invernales, disminuye el número de días hábiles para realizar labores y aumenta la concentración de estos en tiempo, atentando contra las siembras en un rango de fecha óptima.

Analizando las variaciones en la superficie efectiva de pastoreo se visualiza claramente el impacto de estas, en la carga estacional. En la mayoría de los casos en el otoño el área efectiva de pastoreo queda reducida a las praderas de segundo y tercer año. Las mismas a su vez se encuentran reiniciando el crecimiento otoño - invernal y son fuertemente presionadas afectando así su productividad y longevidad. En el caso 2 en que no se utilizan praderas el área de pastoreo luego que finalizan los verdeos de verano, el área de pastoreo está representada por verdeos de invierno de siembras muy tempranas sobre tierras en barbecho y campo natural (Gráfica No. 12).

Gráfica No. 11: Carga estacional en función de la carga efectiva promedio



4.1.10. Importancia relativa en el producto bruto de los costos de funcionamiento

Este indicador busca identificar la variación de los costos de funcionamiento en el producto bruto. Dichos costos no dependen del nivel productivo, por tanto al descontarlos de producto bruto anual, resulta el margen potencialmente utilizado para labores productivas.

Con respecto a lo anterior, se puede decir que existen diferencias en el porcentaje que representan los costos fijos en cada predio, lo que indica la existencia de diferentes lógicas de producción. En rangos generales, los costos de funcionamiento varían entre el 20 y 36 por ciento del producto bruto, para el año 2009. Es decir que el margen relacionado a la producción varía entre 80 y 64 por ciento.

En cuanto a los costos por vaca o por litro, los resultados indican múltiples comportamientos. Por un lado los predios 2 y 4, que presentan los costos de funcionamiento más bajos, el predio de mayor escala (4) es el que presenta los menores costos por litro aunque los costos por vaca son más elevados. Este predio presenta un menor número de vacas que el predio 2, pero diluye los costos produciendo mayor cantidad de litros por vaca. La misma relación se encuentra en los predios 1 y 3 que presentan los costos de funcionamiento más altos, en este caso, la relación más clara es la dilución de

los costos del predio 3 por la producción de mayor cantidad de litros que el predio 1.

Cuadro No. 21: Costo de funcionamiento según predio para el año 2009

	% del PB	Costo U\$\$/VO	Costo U\$\$/Ltr
1	32	351	0,076
2	23	204	0,050
3	33	444	0,073
4	21	316	0,049

Gráfica No. 12: Evolución anual de los costos de funcionamiento según predio



Según los resultados obtenidos, no se encuentra una clara asociación entre los costos de funcionamiento y la escala de producción. Aunque sí se puede decir que el predio de menor escala (1) es el que presenta mayores costos de funcionamiento y el de mayor escala (4) el que presenta menores, en promedio expresado en porcentaje del producto bruto (Cuadro No. 17).

Al analizar las variaciones anuales, se distingue la diferente importancia relativa que asumen los costos de funcionamiento según el producto bruto anual. Es así que en el año 2008, donde se registran los mayores precios de la leche en todos los predios disminuye la importancia de los costos de

funcionamiento. Por otro lado también, este indicador incluye a la dimensión productiva (producción anual de leche) además de la variable de precio por litro de leche. Este hecho es visualizado claramente en el año 2007 donde se registran aumentos en el precio de la leche, consecuentemente los predios 2, 3, y 4 aumentan su producto bruto y diluyen los costos de funcionamiento. En cambio en el predio 1 los aumentos en el precio de la leche no logran compensar las bajas producciones de leche anuales registradas para ese año.

En lo que respecta a la evolución mensual de este indicador, se observa que generalmente los mayores costos relativos de funcionamiento se registran en los meses de otoño. En esta estación es donde frecuentemente se registran bajas producciones, aunque existen variaciones entre años y predios, y además donde existe mayor actividad productiva (siembra, partos, etc.).

4.1.11. Sensibilidad a precipitaciones

A partir del análisis propuesto para este indicador, se presentan a continuación para cada predio los resultados obtenidos donde se observa la variación en la performance productiva en años contrastantes desde el punto de vista pluviométrico.

Gráfica No. 13: Evolución de la producción del predio 1, en el período noviembre-abril para años seco y lluvioso, tomando el mes de noviembre como base 100

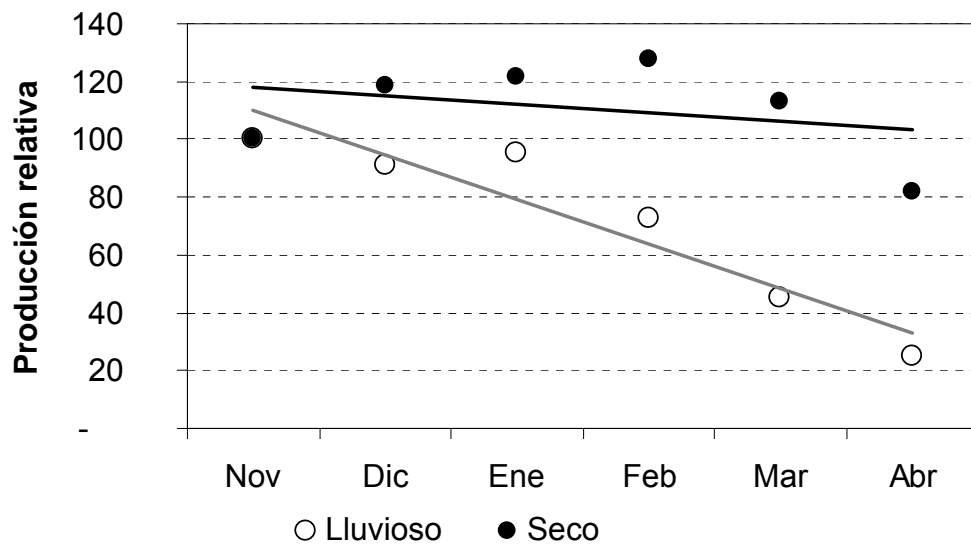


Gráfico No. 14: Evolución de la producción del predio 2, en el período noviembre-abril para años secos y lluviosos, tomando el mes de noviembre como base 100

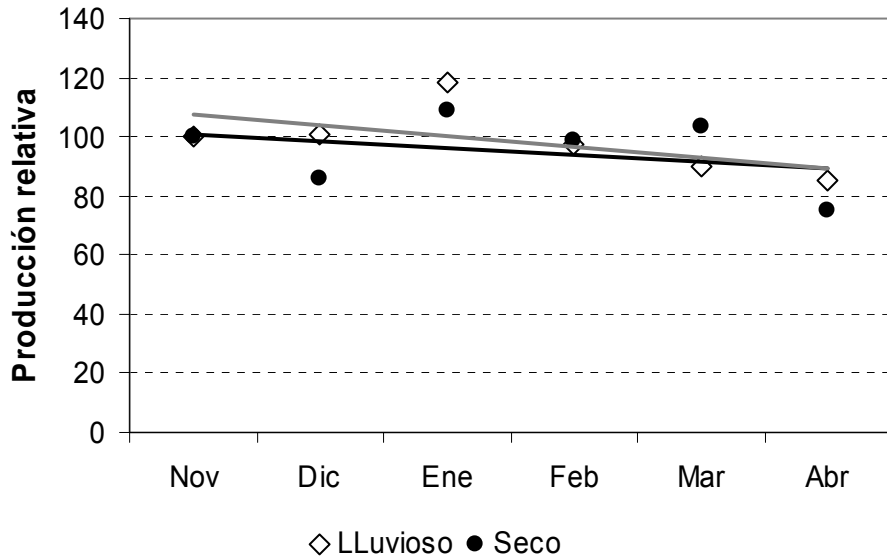


Gráfico No. 15: Evolución de la producción del predio 3, en el período noviembre-abril para años secos y lluviosos, tomando el mes de noviembre como base 100

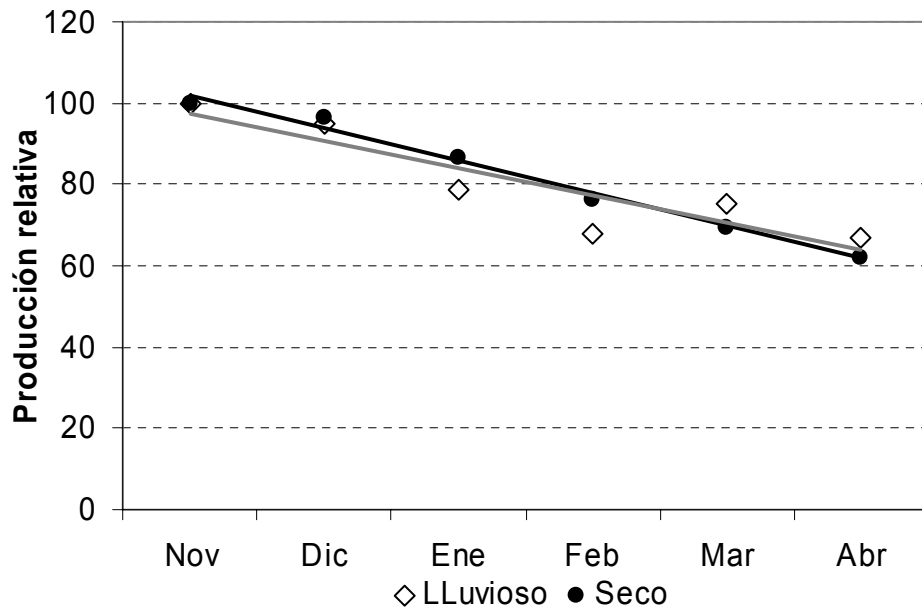
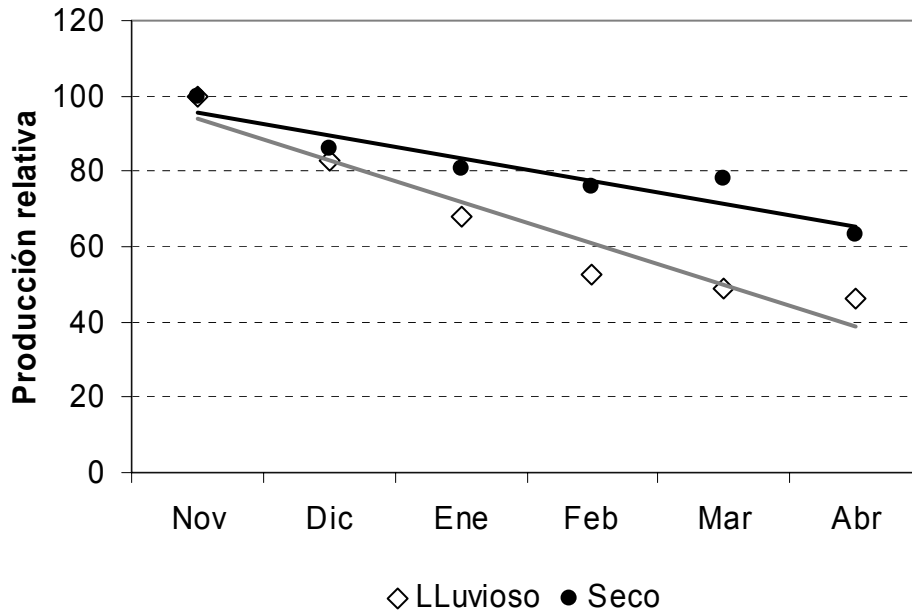


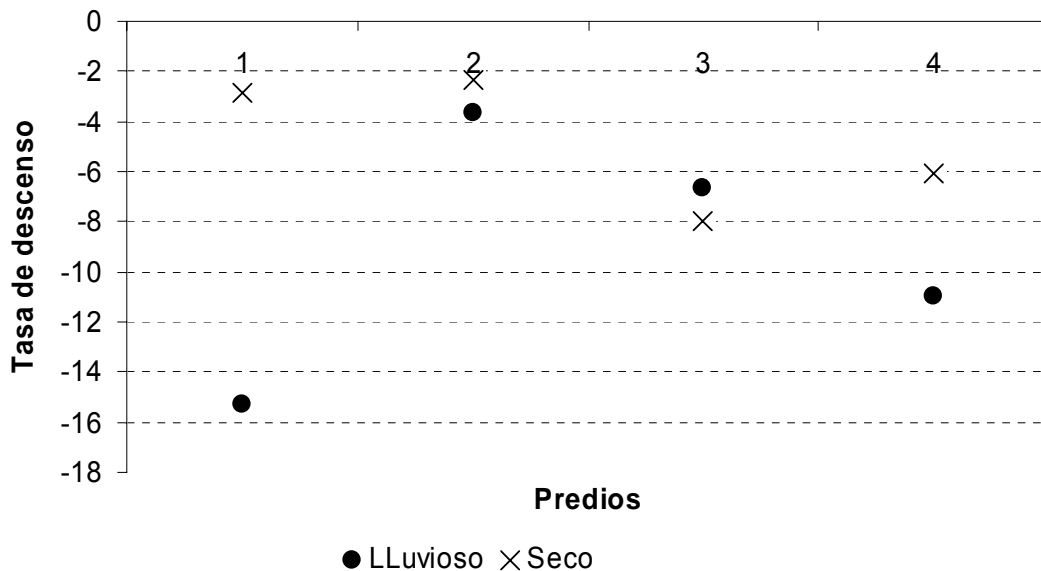
Gráfico No. 16: Evolución de la producción del predio 4, en el período noviembre-abril para años secos y lluviosos, tomando el mes de noviembre como base 100



Las gráficas anteriores permiten visualizar el descenso de la producción en los cuatro predios, donde existen comportamientos diferentes para un mismo año (lluvioso o seco), lo que demuestra diversidad de los sistemas bajo estudio.

Al comparar el efecto de los años contrastantes en los sistemas, se pueden diferenciar dos grandes comportamientos. Por un lado sistemas poco sensibles, en donde la tasa de descenso en la producción para el semestre no varía frente a cambios en las precipitaciones, este es el caso de los predios 2 y 3. Por otro lado se ubican los predios 1 y 4 que presentan sensibilidad a las precipitaciones. Ambos predios presentan iguales comportamientos reduciéndose en mayor medida la producción relativa en año lluvioso frente al año seco. Esta tendencia es mayor en el predio uno, el cual se presenta como el sistema más sensible al exceso hídrico.

Gráfica No. 17: Sensibilidad de los cuatro predios a las precipitaciones



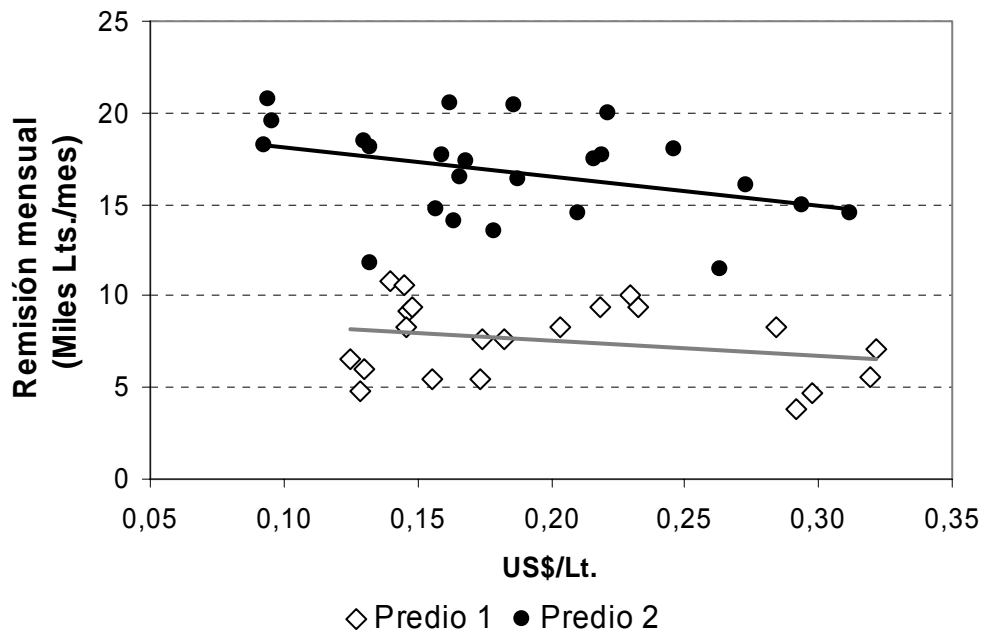
A partir de los resultados obtenidos mediante la metodología utilizada, se confirma que todos los predios reducen la producción en el semestre noviembre-abril, y presentan diferentes tasas según predios y en algunos casos según años. Las tasas de descenso diferencial entre los predios, independientemente del año que se analice, responden a arreglos diferenciales internos en los sistemas (curvas de lactancia, uso del suelo, etc).

En los predios 2 y 3 se presume que existirían mecanismos de compensación que estabilizarían los niveles productivos en años lluviosos. La estabilidad de los sistemas frente a variaciones climáticas, confirma lo reportado por Viglizzo y Roberto (1985), quienes indican que las producciones primarias (grano o forraje) son las que presentan mayores fluctuaciones en la producción, siendo las producciones secundarias (leche o carne), menos sensibles a dichas variaciones. Los mismos autores reportan altas y significativas correlaciones entre las producciones primarias y el régimen hídrico mientras que para las producciones secundarias la correlación no es significativa, tal como se da en los predios 2 y 3.

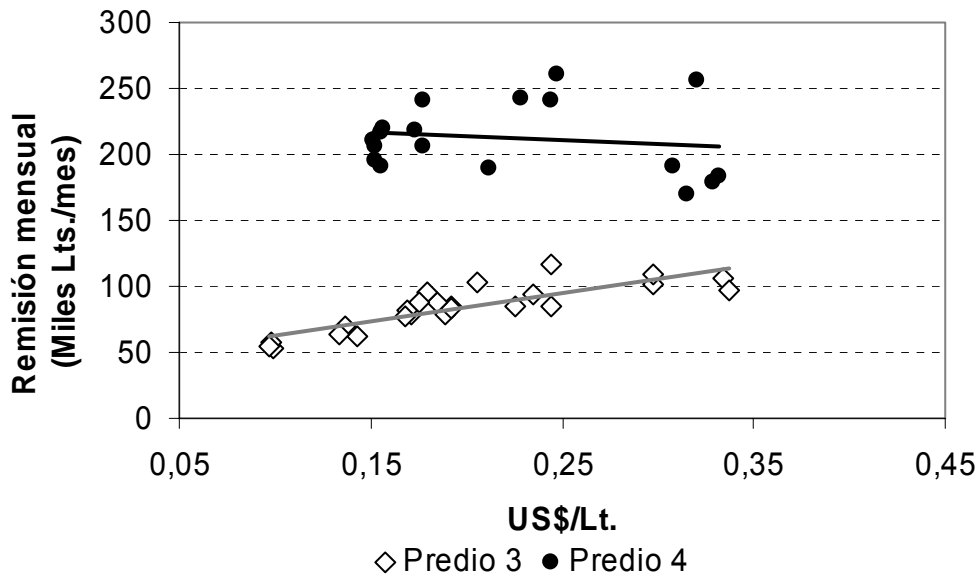
4.1.12. Sensibilidad a los precios de la leche

Los resultados obtenidos para este indicador, se observan en las dos gráficas que siguen, en donde se grafica la remisión mensual en litros por mes para los tres meses de la primavera, según el precio del litro de leche en dólares. En la primera gráfica se muestra el predio 1 y 2, mientras en la segunda se grafican los predios 3 y 4.

Gráfica No. 18: Producción primaveral según precio por leche, para el predio 1 y 2



Gráfica No. 19: Producción primaveral según precio por leche, para el predio 3 y 4



Si bien los datos no son muy claros en cuanto a la asociación de estas dos variables, pueden ser distinguidos dos grupos con relaciones diferentes. Por un lado los predios 1, 2 y 4 presentan una muy baja asociación entre la producción mensual y el precio del litro de leche, donde se reduce la producción con el incremento de los precios recibido por litro. Por otro lado el predio 3 presenta una relación más fuerte que el resto, con una asociación positiva entre ambas variables, al incrementarse la producción mensual con el precio de la leche. Este comportamiento no se explica únicamente por las variables analizadas, ya que el sistema 3 se encuentra en una etapa de expansión y el aumento registrado año tras año en la remisión coincide en parte, a una tendencia coyuntural de incremento del precio por litro de leche.

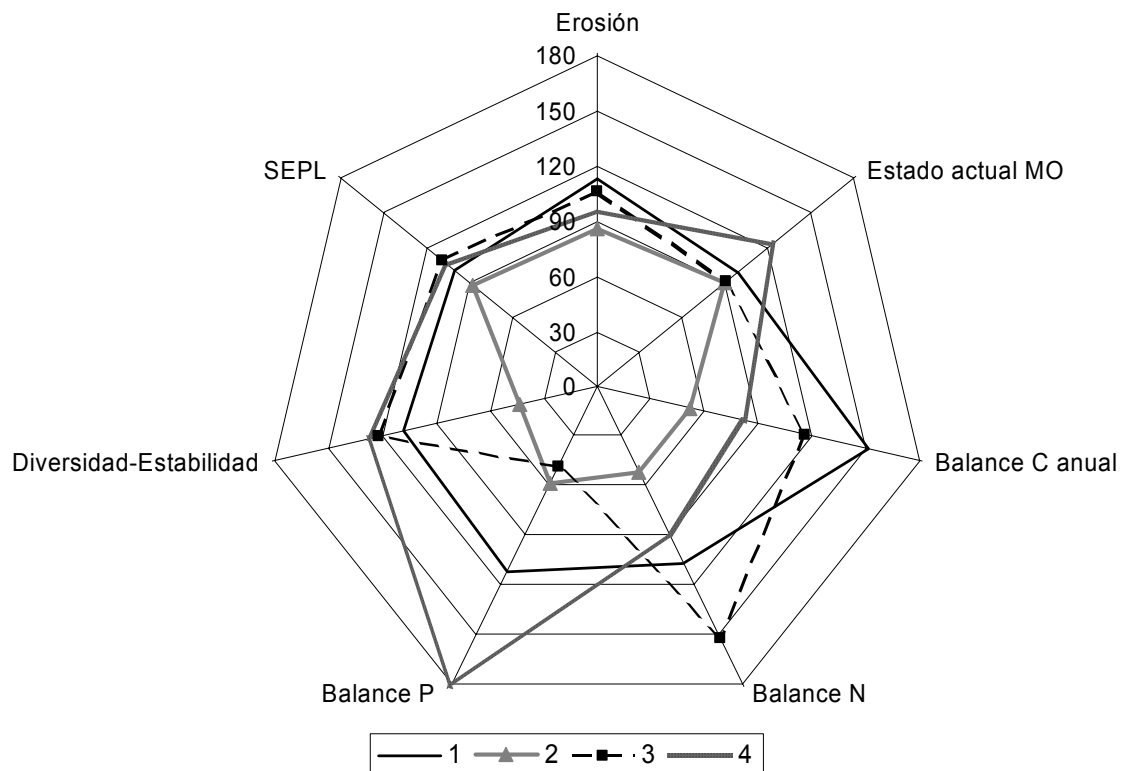
A partir de estos resultados, se puede señalar que el grado de relación entre el precio del producto final, leche, es mucho menor y más débil que la esperada con la producción. Siendo la producción de leche una variable que responde más a otras variables que a los estímulos de precio. Vale mencionar que para este estudio no se determinaron las relaciones insumo producto, ni márgenes netos.

4.2. EVALUACIÓN INTEGRADA DE LOS INDICADORES

Al analizar de forma conjunta los indicadores se pueden identificar conexiones entre los resultados obtenidos lo cual explica las múltiples consecuencias de algunas prácticas productivas.

Para el análisis global de los cuatro sistemas bajo estudio se realiza una estandarización de los indicadores vinculados con el estado de los recursos naturales, para ello se tomaron 7 de los 12 indicadores que se presentan en la siguiente gráfica (Gráfica No. 20). La estandarización utiliza como base valores promedio de los casos en estudio. El valor de referencia se considera para todo los casos con el valor 100, ubicándose por encima las situaciones con mejores desempeños relativos y viceversa. Se destaca al predio 2 por presentar valores relativos menores a la referencia en la mayoría de los indicadores analizados en la gráfica No. 20, en contraste con el resto de los predios.

Gráfica No. 20: Diagrama ameba



4.2.1. Compromisos entre producción y degradación ambiental

Las altas superficies improductivas encontradas en los predios se asocian directamente con mayores pérdidas de suelo. Principalmente en el otoño, donde existe alta fragilidad del sistema por finalización de verdeos de verano e inicio de siembra de nuevas praderas y verdeos. Estas áreas con suelo descubierto determinan generalmente altos riesgos de pérdidas de suelo. El efecto erosivo determina pérdida de las capas superiores más ricas en materia orgánica y de mejor estructura del suelo, lo cual condiciona directamente la capacidad productiva del mismo, retroalimentando ciclos de productividades decrecientes.

Esta relación señalada anteriormente puede ser conceptualizada como un compromiso entre variables que condiciona fuertemente la producción en el largo plazo. La búsqueda de mayor o más inmediata productividad por medio de verdeos, genera mayores tiempos de barbecho y tiempos sin cobertura efectiva contra la lluvia, lo cual determina un alto riesgo de erosión que, de concretarse, genera a lo largo de los años pérdida de suelo y degradación

Al estimar las pérdidas de carbono por erosión, estas sobrepasarían ampliamente la tasa estimada si no se considera el efecto de la pérdida de suelo. Las tasas de pérdida de carbono al incluir la erosión serían iguales o incluso mayores a las tasas históricas estimadas. Por tanto se desprende de lo anterior, que según la tecnología de uso del suelo en la medida que no existan pérdidas de suelo por erosión, las tasas de pérdida de carbono anual se ubicarían en un rango cercano al equilibrio. De lo contrario en los peores escenarios las elevadas pérdidas de suelo determinan altas tasas de pérdidas de carbono con la consecuente degradación de los suelos comprometiendo la sustentabilidad del sistema.

4.2.2. Conflicto entre eficiencia productiva y conservación de recursos naturales

En cuanto a la eficiencia productiva, los dos indicadores analizados poseen la misma base conceptual, por lo que se comportan de la misma manera. Se identifican así diferentes eficiencias en el proceso productivo, es decir la eficiencia en el uso de insumos para la producción de forraje, en el consumo del forraje y suplemento y la eficiencia de conversión del alimento en producto. Es de esta manera que cada predio compone un esquema productivo propio donde la suma de las eficiencias parciales determinan resultados

globales diferentes. Se confirma para ambos indicadores, que el predio más eficiente es el predio 2 y el menos eficiente es el predio 1.

La bibliografía sugiere que la degradación ambiental se asocia con un elevado consumo de energía fósil y con bajas eficiencias energéticas (Agriculture y Agri-Food Canada, citado por Frank, 2007). En contraste con lo anterior, los resultados obtenidos indican que los predios más eficientes energéticamente, son a la vez los de mayor degradación ambiental, según en la erosión estimada y en la dinámica del carbono (estado actual y cambio en el stock anual). En cambio, sistemas más conservacionistas en donde las tasas de degradación son menores, presentan un desempeño menos eficiente en relación al resto.

Viglizzo y Roberto (1998), en la Pampa Argentina encontraron que tras el desarrollo de sistemas netamente extractivos de baja reposición y alta eficiencia energética, existe una reducción en el potencial productivo de los ecosistemas. En estas situaciones existiría un subsidio ecológico que soporta la productividad a costa de consumo de capital natural, debido a una baja incorporación de insumos y energía, lo que estaría explicando los resultados encontrados para los predios más eficientes energéticamente.

Los sistemas más ineficientes están asociados a dos esquemas de producción contrastantes. Por un lado sistemas con bajas cargas animales, que determinan una baja productividad por hectárea, y que presentan bajos niveles de suplementación. En el otro extremo sistemas con alta suplementación que sustentan mayores cargas y mayores productividades por hectárea, pero que dicha suplementación no se traduce en aumentos significativos en la producción individual ni sustantivos en la carga.

Del análisis primario de la dinámica de los nutrientes en los cuatro predios estudiados, se puede señalar que no existe un manejo conjunto del nitrógeno y el fósforo. Existen variadas entradas de cada nutriente en los predios. No se observa, tampoco, una relación entre el uso de fertilizantes y otros insumos, como los plaguicidas, lo que demuestra un manejo diferencial de ambos productos.

Para el caso del nitrógeno, la FBN aparece como una entrada estimada y en los hechos no implica un insumo agregado, por tanto si se lo excluye de las entradas de nitrógeno, pueden encontrarse vinculaciones con otros indicadores analizados. En este sentido hay una relación entre las entradas de nutrientes (fósforo y nitrógeno sin FBN) y las entradas de energía en el sistema, es así que en los predios 1, 2 y 3 las entradas de nutrientes son fundamentalmente vía fertilizante al igual que la energía. El predio 4 presenta un comportamiento

disímil, donde los concentrados son los responsables mayoritarios de la entrada de energía y nutrientes.

En cuanto a las eficiencias encontradas para el uso de la energía fósil y las eficiencias de uso de los nutrientes, nitrógeno y fósforo, no se observa una relación aparente entre la eficiencia de uso de la energía y de nitrógeno. En este caso las eficiencias son diferentes si se consideran o no los ingresos al sistema por FBN, pero en ningún caso las eficiencias en uso de este nutriente se relacionan con la eficiencia energética. En cambio se destaca la relación entre la eficiencia de uso de la energía y la eficiencia de uso del fósforo, donde se visualiza una mayor recuperación de fósforo en los sistemas 2 y 3 que son a la vez los sistemas energéticamente más eficientes.

4.2.3. Sensibilidad a factores externos

Analizando de manera conjunta la performance de los sistemas en diferentes escenarios productivos, se destacan las bajas relaciones encontradas en la mayoría de los escenarios estudiados. Es así que no se encuentra relación entre la producción y los cambios experimentados en los precios del producto. La variación registrada ante el aumento o disminución del precio de la leche en el producto bruto es considerable, por tanto el precio del producto tiene un alto impacto en la importancia relativa que representan los costos de funcionamiento del sistema. Es decir que las variaciones en el precio de la leche afectan significativamente sobre el margen neto que potencialmente será destinado a labores productivas, pero que existirían mecanismos de compensación con la industria que atenúan los efectos en la producción.

Por otro lado no se encuentra una relación clara entre diversidad-estabilidad productiva y la sensibilidad frente a las precipitaciones. Según lo reportado por la bibliografía es esperable encontrar que los predios menos diversos presentan una alta sensibilidad frente a cambios ambientales (Viglizzo y Roberto, 1998). En este trabajo sería esperable encontrar que predios con baja diversidad presenten una disminución muy marcada en la producción en el semestre analizado (noviembre-abril), en años contrastantes. Esta contradicción entre los resultados obtenidos y los esperados se ve expresada claramente en el predio 2. Este presenta el valor más bajo de agrodiversidad (0,15), con una lógica de uso del suelo netamente anualizada, es uno de los predios que no presenta sensibilidad según año (Gráfica No. 18). En el otro extremo predios con índices de agrodiversidad más altos (predios 1 y 4) presentan alta disminución de la producción en años lluviosos con respecto a los secos.

5. CONCLUSIONES

La metodología utilizada en el presente trabajo permitió un acercamiento en profundidad sobre algunos aspectos de los sistemas de producción, a la vez que ofreció la oportunidad de comprender la globalidad de los predios y valorar los procesos puntuales en relación al conjunto de los mismos. El MESMIS como marco metodológico ofreció la flexibilidad y orientó la construcción de los indicadores en función de criterios de diagnóstico, contemplando los puntos críticos identificados para los sistemas lecheros.

Para la construcción del pool de indicadores, no se contempló la participación de los productores involucrados, quedando la definición y ajuste de los mismos en órbitas académicas. Este elemento responde a las características propias de una investigación exploratoria. El análisis se focalizó en el diagnóstico sin plantearse la intervención en los sistemas, ni una apropiación por parte de los productores de la propuesta metodológica.

Dentro de los doce indicadores que finalmente se seleccionaron y se presentan en el trabajo, se pueden hacer diferentes valoraciones acerca de cada uno. Esto se explica porque no todos los indicadores presentaron la misma robustez o no dieron respuesta a las interrogantes planteadas. Algunos indicadores que estaban presentes originalmente debieron ser eliminados por falta de información para su cálculo, y en otros casos la información disponible condicionó la forma de calcular el indicador.

Si bien la metodología y los indicadores seleccionados son relevantes para conocer el estado de la sustentabilidad en diferentes sistemas, es necesario profundizar por un lado, a nivel de cada indicador y por otro a nivel de conjunto de indicadores. A nivel de indicador se requiere profundizar en el método de cálculo, tendiendo a propuestas accesibles, más precisas y correlacionadas con la realidad. A nivel del conjunto de indicadores, es necesario valorar el peso relativo que aporta cada indicador para conocer cómo se afecta la sustentabilidad. La sensibilidad y la relevancia de cada indicador debe ser contemplada al integrarlo en un análisis que pretende comprender a los sistemas de producción de forma holística.

La investigación desarrollada es un estudio de casos, evaluando cuatro sistemas de producción con características marcadamente diferentes. Este hecho limita el alcance de las conclusiones y tendencias encontradas, ya que estas se restringen a los casos particulares en estudio. Al trabajar con sistemas tan diversos, surge la interrogante del grado de representatividad de los mismos con respecto a los sistemas lecheros en general, y de esta manera generalizar

algunos de los resultados. Sin duda para arribar a conclusiones generales son necesarios más estudios, contemplando tipologías de producción claramente definidas y meta análisis que impliquen un número muy superior de predios de los que se evaluaron en este trabajo.

La sustentabilidad de los sistemas, en particular la ambiental, es afectada claramente por las prácticas de manejo y la tecnología utilizada. En este sentido se puede mencionar que la anualización de la base forrajera, por una mayor inclusión de verdeos en relación a praderas plurianuales, tiene fuertes impactos en la conservación de los recursos naturales. Esto se confirma en el presente estudio, con el aumento de la erosión y la pérdida de carbono de los sistemas. Para los predios analizados, se encontraron pérdidas de carbono cercanas al equilibrio, únicamente cuando no se contempla el efecto de la pérdida de suelo. Se puede afirmar entonces que en la medida que no exista un control real de la erosión, los sistemas comprometen su sustentabilidad y se genera en estas situaciones un espiral decreciente en donde se condiciona la productividad futura por la degradación ambiental y la baja productividad genera mayores riesgos de degradación.

El mayor peso de las pasturas anuales (o semestrales) en la producción de forraje, no tuvo un efecto sobre otras variables que a priori se esperaba, como la eficiencia energética, la sensibilidad de los sistemas frente a la variación de clima o de precio, ni con la dinámica de nutrientes en los sistemas. Esta observación permite señalar que hay otros factores en los esquemas productivos, como la carga animal o la suplementación, que tienen un impacto mayor en determinar estos procesos.

La eficiencia de los sistemas es uno de los aspectos centrales en la propuesta de evaluación. Para el caso de las eficiencias biológicas y energéticas se encontró una fuerte correlación entre ambas, indicando su pertinencia a la hora de evaluar de forma global a los sistemas. En los casos bajo estudio se observó una tendencia clara entre mayor eficiencia energética y la degradación ambiental, por tanto surge la necesidad profundizar en este indicador para conocer claramente sus implicancias y establecer aquellas combinaciones de recursos que generen altas eficiencias energéticas y baja degradación ambiental.

Los sistemas estudiados se encuentran incorporando nutrientes vía fertilizante, suplementación y fijación biológica, esta última con alto impacto en los sistemas con praderas que incluyen leguminosas. La dinámica de los nutrientes a nivel predial requiere un mayor estudio, contemplando por un lado los balances a nivel del suelo y por otro a nivel global considerando las pérdidas focalizadas y los posibles problemas con zonas de alta concentración. Los

cuatro predios evaluados presentan balances positivos para nitrógeno y fósforo, y aunque los niveles no son en principio problemáticos, existe riesgo de contaminación en la medida que la erosión no es controlada y no exista un aumento en el carbono orgánico del suelo que permita retener dichos nutrientes.

La diversidad estructural y funcional de los sistemas observados fue un elemento interesante a estudiar pero que implicó un desafío para su medición, en este sentido la búsqueda y la innovación, desembocó en una propuesta para medir la diversidad y la estabilidad en sistemas pastoriles complejos. Si bien la propuesta presenta limitantes, por carecer de una base de comparación, resulta en una aproximación que debe ser ajustada pero se destaca como una herramienta prominente para su uso en diferentes sistemas pastoriles.

Los indicadores relativos a la estabilidad de los sistemas permitieron reafirmar y complementar los problemas derivados del uso del suelo y del impacto negativo de los verdeos sobre la estabilidad de la base forrajera, sobre todo en otoño. Esta problemática estacional, tiene consecuentemente impactos en la estabilidad económica de los sistemas, generando problemas que se amplifican en los predios con menores márgenes económicos. En cuanto a la estabilidad frente a cambios en las variables externas, los sistemas presentaron menor sensibilidad que la esperada. La metodología utilizada y la información disponible, no permiten identificar claramente a los elementos que amortiguan cambios en el ambiente externo.

A la luz de los resultados en cada indicador, de las interacciones observadas entre ellos y considerando las características y manejo de cada sistema productivo, surgen algunos elementos claves para avanzar en la búsqueda de mayor sustentabilidad en la producción. Los elementos centrales a contemplar en el re-diseño de sistemas o en la generación de nuevas tecnologías deberán contemplar de manera significativa el uso del suelo y las rotaciones forrajeras. Si bien parte de la hipótesis y centro de estudio tuvo foco en este aspecto, los resultados son contundentes en mostrar el alto impacto que tiene este elemento en la conservación de los recursos naturales y en la producción.

Sobre el uso de insumos, fundamentalmente fertilizantes y suplemento, es necesario introducir otros aspectos al analizar su inclusión en los sistemas, más allá de la productividad; cuantificando su impacto en el balance de energía y en la dinámica de nutrientes. Este enfoque habilita a buscar las mejores combinaciones de recursos teniendo en cuenta el impacto en la productividad, la eficiencia económica, y además sobre el ambiente.

Las interacciones entre los diferentes atributos de productividad, estabilidad y diversidad, deberán ser profundizadas y contempladas en las propuestas de re diseño e investigación. Como resultados de la investigación no se arriban a elementos claros que relacionen los tres atributos, a pesar de ello han sido detectadas tendencias que permiten visualizar hacia dónde se encaminan los sistemas lecheros de la actualidad.

6. RESUMEN

En las últimas décadas la lechería uruguaya ha experimentado fuertes transformaciones tecnológicas con aumentos significativos en la productividad de los sistemas, basados en un incremento de insumos extraprediales (suplementos y fertilizantes) y en un uso más intensivo de recursos naturales, fundamentalmente el suelo. Este modelo de intensificación coloca una interrogante sobre la conservación de la base productiva a largo plazo y la sensibilidad de los sistemas frente a cambios del ambiente externo, principalmente climático y económico. En este escenario se plantea la investigación y profundización en el comportamiento de sistemas lecheros, para anticipar y promover cambios que tiendan a garantizar su sustentabilidad a largo plazo. Se evalúan cuatro sistemas de producción lechera, del litoral oeste del Uruguay, con importantes diferencias en escala de producción, esquemas de uso del suelo y capacidades de gestión. Se utiliza el Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de recursos naturales integrando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS) como guía metodológica, a partir de la cual se propone una serie de doce indicadores. Estos indicadores responden a los atributos de sustentabilidad del sistema y a los puntos críticos más relevantes. Los resultados obtenidos muestran una fuerte relación entre el deterioro ambiental y la proporción de pasturas anuales, asociada fundamentalmente a la erosión y a la pérdida de carbono. Se genera en estas situaciones un espiral decreciente en donde se condiciona la productividad futura por la degradación ambiental y donde la baja productividad genera mayores riesgos de degradación ambiental. Aunque todos los predios realizan siembra directa, los resultados indican pérdidas de suelo por erosión en generar elevadas, lo que se asocia a problemas en la implementación de la tecnología de siembra directa. También se observa que la eficiencia en el proceso productivo, mirada desde varias ópticas (energía y nutrientes), no se asocia al uso del suelo y responde a otros factores como carga y suplementación. Los predios más eficientes energéticamente son, a la vez, los de mayor degradación ambiental donde existiría un subsidio ecológico que soporta la productividad a costa de consumo de capital natural. Los balances de nutrientes en todos casos fueron positivos, siendo claramente determinados por la eficiencia de uso en cada caso particular. La diversidad se relaciona positivamente con la productividad, observando que los predios más diversos presentan mayores productividades. A pesar de las diferencias estructurales entre los sistemas estudiados, todos presentan baja sensibilidad a las variaciones climáticas y económicas, reflejando la capacidad de compensación interna.

Palabras clave: Producción lechera; Sustentabilidad; Indicadores; Uso del suelo.

7. SUMMARY

In the last decades, Uruguayan dairy has experienced strong technological change with significant growth in system productivity, based on an increase in off-farm inputs (fertilizers and supplements) and a more intensive use of natural resources, mainly soil. This intensification model places a question on the conservation of long term productive basis and the sensitivity of systems to change due to external environments, mainly economical and climate related. This scenario proposes thorough research of dairy systems behaviour, to anticipate and promote changes that tend to ensure their long-term sustainability. We evaluated four dairy production systems, on Uruguay's west coast, with important differences in scale of production, patterns of land use and management capacities. We used the Framework for the Evaluation of Systems Integrated Natural Resource Management Sustainability Indicators (MESMIS) as a methodological guide, from which we propose a series of twelve indicators. These indicators respond to the sustainability attributes of the system and the most relevant critical points. The results obtained show a strong relationship between environmental degradation and the annual grass proportion, primarily related to erosion and loss of carbon. Therefore, these situations generate a downward spiral where future productivity is conditioned by environmental degradation and low productivity, generating a greater risk of environmental degradation. Although fields are all treated by direct sowing, the results indicate soil loss by erosion, generally high, which is associated with problems in the implementation of direct seeding technology. Also noted is that efficiency in the production process, seen from several viewpoints (energy and nutrients) are not associated with land use and respond to other factors such as loading and supplementation. The more energy efficient fields are also those of more environmental degradation, where there is an ecological assistance that supports productivity at the expense of natural capital consumption. Nutrient balances resulted positive in all cases, clearly determined by their efficient use in each particular case. Diversity is positively related to productivity, observing that the more diverse fields are highly productive. In spite of the structural differences between the systems studied, they all presented sensitivity to climatic and economic changes, reflecting ability for internal compensation .

Keywords: Dairy farming; Sustainability; Indicators; Land Usage.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. AARTS, HFM.; BIEWINGA, E.E.; VAN KEULEN, H. 1992. Dairy farming systems based on efficient nutrient management. Netherlands Journal of Agriculture Science. 40: 285-299.
2. ACOSTA, Y. 2008. Programa lecheras. s.n.t. s.p.
3. ALTIERI, M. A. 1999. Agroecología; bases científicas para una agricultura sustentable. Montevideo, Nordan comunidad. 338 p.
4. ALVAREZ, R. 2006. Materia orgánica; valor agronómico y dinámica en suelos pampeanos. Buenos Aires, Orientación gráfica. 206 p.
5. BAUDRACCO, J.; LOPEZ-VILLALOBOS, N.; HOLMES, C. W. AND MACDONALD, K. A. 2010. Effects of stocking rate, supplementation, genotype and their interactions on grazing dairy systems; a review. New Zealand Journal of Agricultural Research. 53(2): 1-25.
6. BLIXEN, C.; COLNAGO, P.; GONZÁLES, N. 2006. Propuesta de evaluación de Sustentabilidad en agricultura urbana para huertas vinculadas al Programa de Producción de Alimentos y Organización Comunitaria. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 120 p.
7. BOSSI, J. 2000. Regiones geológicas para aplicación agronomica. Montevideo, Facultad de Agronomía. 69 p.
8. CAPORAL, F.; COSTABEBER, J. 2002. Agroecología, principios e conceitos para a construção de estilos de agricultura sustentaveis. (en línea). s.n.t. s.p. Consultado jul. 2009. Disponible en <http://www.ufsm.br//desedvolvementorural>
9. CLERICI, C.; GARCIA PRECHAC, F. 2001. Aplicaciones del modelo USLE/RUSLE para estimar pérdidas por erosión en Uruguay y la región sur de la cuenca del Río de Plata. Agrociencia. 5 (1): 92-103.
10. CONFROTI, P.; GIAMPIETRO, M. 1997. Fossil energy use in agriculture; an international comparison. Agriculture, Ecosystems and Environment. 65: 231-243

11. _____.; FRANK, F.; BERNARDOS, J.; BUSCHIAZZO, D.; CABO, S. 2006. A rapid method for assessing the environmental performance of commercial farms in the pampas of Argentina. *Environment Monitoring Assessment*. 117:109-134.

12. CHIAPPE, M.; PIÑEIRO, D. 1998. La agricultura uruguaya en el marco de la integración regional y su impacto sobre la sustentabilidad. (en línea). In: Congreso Latinoamericano de Sociología Rural – Alasru (5º., 1998, Chapingo, México). Trabajos presentados. s.n.t. s.p. Consultado ene. 2010. Disponible en <http://www.rau.edu.uy/agro/ccss/publicaciones.htm>

13. _____. 2008. Sustentabilidad de la agricultura; un enfoque integrador. In: Chiappe, M.; Carámbula, M.; Fernández, E. comps. El campo uruguayo; una mirada desde la sociología rural. Montevideo, Facultad de Agronomía. pp. 277-300.

14. CHILIBROSTE, P.; IBARRA, D.; ZIBIL, S.; LABORDE, D. 2003. Producción de leche y alimentación; resultados del relevamiento de 37 predios comerciales durante el periodo abril – noviembre del 2003. In: Proyecto Interacción, alimentación, reproducción; informe final 2003. Montevideo, CONAPROLE. pp. 4-19

15. DABEZIES, M. 2008. Informe final de la consultoría sobre cadenas agroindustriales en el marco del plan estratégico nacional en ciencia, tecnología e innovación. Montevideo, BID. 92 p.

16. DE ROSNAY, J. 1978. El microscopio; hacia una visión global. Paris, Points. 289 p.

17. DOGLIOTTI, S.; ROSSING, W.; VAN ITTERSUM, M. 2003. Systematic desing and evaluation of crop rotations enhancing soil conservation, soil fertility and farm income; a case of study for vegetable farms in south Uruguay. *Agricultural Systems*. 80 (3): 267-302.

18. DOS SANTOS RODRÍGUEZ, A.; GUERREIRO, E.; MIRANDA, G. M.; DE SOUZA MILLÉO, R. D. 1997. Caracterizaçao e tipologia de sistemas de produção. In: Enfoque sistémico en P y D; a experiencia metodológica de IAPAR. Paraná, IAPAR. pp. 35-56 (Circular no. 97)

19. DURÁN, A.; GARCIA PRECHAC, F. 2007. Suelos del Uruguay; origen, clasificación, manejo y conservación. Montevideo, Hemisferio Sur. v. 2, 358 p.
20. DURÁN, H. 2004. El camino de la lechería: Los mojones de la intensificación en sistemas pastoriles. In: Resultados experimentales en lechería. Montevideo, INIA. pp. 115-121 (Actividades de Difusión no. 361).
21. ERNST, O. 2000. Siete años de siembra sin laboreo. Cangüé. no. 20:9-13.
22. _____. 2004. Uso de suelo en los tambos relevados. In: Proyecto Interacción alimentación producción; informe final 2003. Montevideo, CONAPROLE. pp. 19-25.
23. FABRIZZI, K.; MORON, A.; GARCIA, F. 2003. Soil carbon and nitrogen organic fractions in degraded vs. non-degraded mollisols in Argentina Soil Science Society of America. 67: 1831-1841.
24. FOLADORI, G.; TOMMASINO, H. 2006. Una revisión crítica del enfoque sistémico aplicado a la producción agropecuaria. In: Tommasino, H.; De Hegedüs, P. comps. Extensión; reflexiones para la intervención en el medio urbano y rural. Montevideo, Universidad de la República. pp. 181-195.
25. FRANK, F. 2007. Impacto agroecológico del uso de la tierra a diferentes escalas en la región pampeana de Argentina. Tesis Magister Scientae. Mar del Plata, Argentina. Facultad de Ciencias Agrarias. 164 p.
26. FUNES-MONZOTE, F. 2009. Eficiencia energética en sistemas agropecuarios; elementos teóricos y prácticos para el cálculo y análisis integrado. Habana, Biblioteca ACATAF. 43 p.
27. GALVAN-MIYOSHI, Y.; MASERA, O.; LOPEZ-RIADURA, S. 2008. Evaluación de sustentabilidad In: Astier, M, Masera, O.; Galvan-Miyoshi, Y. comps. Evaluación de sostenibilidad; un enfoque multidisciplinario y multidimensional. Valencia, España, SEAE/ CTGA/ ECOSUR/ CIEco/ UNAM/ GIRA/ Mundiprensa/ Fundación Instituto de Agricultura, Ecológia y Sustentable. pp. 41-58.
28. GARCIA, F. 2004. El rol de fósforo en la producción de pasturas de la región pampeana. (en línea). s.n.t. s.p. Consultado abr. 2010. Disponible en

[http://www.ppi-ppic.org/ppiweb/ltams.nsf/\\$webindex/0530286655C70A7303256D920046F446](http://www.ppi-ppic.org/ppiweb/ltams.nsf/$webindex/0530286655C70A7303256D920046F446)

29. GARCÍA, M.; RODRÍGUEZ, A. 2003. Agricultura ecológica; marco general. In: Producción orgánica; aportes para el manejo de sistemas ecológicos en Uruguay. Montevideo, PREDEG/GTZ –MUO. pp. 74-87.
30. GARCÍA, R. 2008. Una aproximación metodológica a la evaluación de sustentabilidad de la lechería familiar; el caso de la colonia Daniel Fernández Crespo. Tesis Dr. en Ciencias Veterinarias. Montevideo, Uruguay. Facultad de Veterinaria. 118 p.
31. GARCÍA PETILLO, M.; PUPPO, L.; HAYASHI, R. 2008. Curso de riego y drenaje guía de clase. Montevideo, Facultad de Agronomía. 271 p.
32. GARCIA PRECHAC, F. 2004. Cultivo continuo en siembra directa o rotaciones de cultivos y pasturas en suelos pesados del Uruguay. Cangüé. no. 26:28-32.
33. _____. 2009a. La erosión en la agricultura de Uruguay. In: Simposio Efectos de la Agricultura, la Lechería y la Ganadería en el Recurso Natural Suelo (2009, La Estanzuela, Colonia). Impactos y propuestas; resúmenes expandidos. Montevideo, INIA. pp. 29-30.
34. _____.; HILL, M.; CLERICI, C. 2009b. Erosión 5.91. (en línea). Montevideo, Facultad de Agronomía. s.p. Consultado feb. 2010. Disponible en: <http://www.fagro.edu.uy/~manejo/>.
35. GARCÍA-BARRIOS, L.; MASERA, O.; GARCIA-BARRIOS, R. 2008. Construcción y uso de modelos dinámicos sencillos para evaluar estrategias de manejo productivo de recursos bióticos. Una guía básica ilustrada. In: Astier, M, Masera, O y Galvan-Miyoshi, Y. comps. Evaluación de sostenibilidad; un enfoque multidisciplinario y multidimensional. Valencia, España, SEAE/ CTGA/ ECOSUR/ CIEco/ UNAM/ GIRA/ Mundiprensa/ Fundación Instituto de Agricultura, Ecología y Sustentable. pp. 139-168.
36. GLIESSMAN, S. 2002. Agroecología; procesos ecológicos en agricultura sostenible. Turrialba, CATIE. 359 p.

37. HART, R. 1976. Agroecosistemas; conceptos básicos. Turrialba, CATIE. 211 p.
38. HERNÁNDEZ, A. 2001. El cambio técnico en el proceso de construcción de ventajas competitivas en el sector lácteo 1975-2000. Facultad de Agronomía (Montevideo). Nota técnica no. 48. 60 p.
39. LAMANA, A.; DURAN, H.; MIERES J. 2008. Una primera aproximación al proceso de intensificación y su impacto al ambiente en tambos a través del balance de nutrientes. In: Jornada de Actualización Técnica en Lechería (2008, Florida). Para una lechería eficiente. Montevideo, INIA. pp. 91-98 (Actividades de Difusión no. 549).
40. LARROSA, A; LUTZ, A. 2003. Intensificación y eficiencia de uso de nitrógeno y fósforo en sistemas agrícolas lecheros del litoral oeste uruguayo. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 111 p.
41. LEBORGNE, R. 1974. Antecedentes técnicos y metodología para presupuestación en establecimientos lecheros. Montevideo, Hemisferio Sur. 54 p.
42. MASERA, O.; ASTIER, M.; LÓPEZ-RIDAURA, S. 2000. Sustentabilidad y manejo de recursos naturales; el marco de evaluación MESMIS. México, D. F., Mundi-Prensa. 109 p.
43. _____; GALVAN-MIYOSHI, Y.; ORTIZ-AVILA, T.; GARCIA-BARRIOS, L.; GARCIA-BARRIOS, R.; GONZALEZ, C.; SPEELMAN, E. 2008. El proyecto de evaluación de Sustentabilidad MESMIS. In: Astier, M, Masera, O y Galvan-Miyoshi, Y. comps. Evaluación de sostenibilidad; un enfoque multidisciplinario y multidimensional. Valencia, España, SEAE/ CTGA/ ECOSUR/ CIEco/ UNAM/ GIRA/ Mundiprensa/ Fundación Instituto de Agricultura, Ecología y Sustentable. pp. 13-24.
44. MAX-NEEF, M. 1993. Desarrollo a escala humana conceptos, aplicaciones y algunas reflexiones. Montevideo, Nordan comunidad. 148 p.
45. MONDELLI, M.; PICASSO, V. 2001. Trayectorias tecnológicas en la Ganadería uruguaya; un enfoque evolucionista. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 115 p.

- medio urbano y rural. Montevideo, Universidad de la República. pp. 155-181.
55. _____. 2006b. Sustentabilidad; indicadores socio-económicos en la producción lechera familiar. *In*: Tommasino, H. y De Hegedüs, P. comps. Extensión; reflexiones para la intervención en el medio urbano y rural. Montevideo, Universidad de la República. pp. 101-120.
 56. _____. 2006c. Sustentabilidad rural; Desacuerdos y controversias. *In*: Tommasino, H. y De Hegedüs, P. comps. Extensión; reflexiones para la intervención en el medio urbano y rural. Montevideo, Universidad de la República. pp. 79-99.
 57. TORRES, P.; RODRÍGUEZ, L.; SÁNCHEZ, O. 2004. Evaluación de la sustentabilidad del desarrollo regional. El marco de la agricultura. *Región y Sociedad*. 16 (29): 109-144.
 58. UHART, M.; ZACCAGNINI, M. 1999. Manual de procedimientos operativos estandarizados de campo para documentar incidentes de mortandad de fauna silvestre. Buenos Aires, INTA. Comisión Interinstitucional para la Conservación de la Vida Silvestre en Agroecosistemas. 151 p.
 59. URUGUAY. MINISTERIO DE GANADERÍA, AGRICULTURA Y PESCA. DIRECCIÓN DE INVESTIGACIONES ECONÓMICAS AGROPECUARIAS. PROGRAMA RECURSOS NATURALES Y DESARROLLO DEL RIEGO. COMISIÓN NACIONAL DE ESTUDIOS AGROECONÓMICOS DE LA TIERRA. 1979. Índices de productividad grupos C.O.N.E.A.T. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado feb. 2010. Disponible en <http://www.prenader.gub.uy/coneat/viewer.htm?Title=CONEAT%20Digital>.
 60. _____. _____. DIRECCIÓN DE INVESTIGACIONES ECONÓMICAS AGROPECUARIAS. 2003. La lechería comercial en Uruguay; contribución a su conocimiento. Montevideo. 68 p.
 61. _____. _____. _____. 2007. La producción lechera en el Uruguay. Montevideo. 75 p.
 62. VAILLANT, M. 1999. El complejo productivo lácteo en el Uruguay. *In*: Apertura económica y (des)encadenamiento productivo. Santiago de Chile, CEPAL. pp. 263-314.

63. VIGLIZZO, E.; ROBERTO, Z.; PELUFFO, L. 1984. Efecto de la diversificación productiva del agroecosistema sobre su rendimiento y estabilidad. *Revista Argentina de Producción Animal*. 4:1167-1176.
64. _____. _____.1985. Estabilidad productiva en distintos ambientes del área pampeana. *Revista Argentina de Producción Animal*. 5:103-111.
65. _____. _____.1998. On trade-offs in low-input agroecosystems. *Agricultural Systems*. 56(2): 253-254.
66. _____. FRANK, F.; BERNARDOS, J.; BUSCHIAZZO, D.; CABO, S. 2006. A rapid method for assessing the environmental performance of commercial farms in the pampas of Argentina. *Environment Monitoring Assessment*. 117:109-134.

9. ANEXOS

ANEXO 1: Datos base por establecimiento

Nombre del Establecimiento	Predio 1		
Superficie (ha)	29	PP (mm/año)	1200
MO (%)	3,9	ETP media (mm/año)	1270
Clase Textural del suelo	Arcillo limoso	T media (°C)	18
Pendiente media (%)	4-7,99		
		Tipo	Kg
Carga Media (VO/ha)	0,62	Afrechillo de Trigo	6091
Producción de Carne (kg/ha)	11	SGH	17820
Producción de Leche (l/ha)	2855	Fardos Moh	10500

Potrero No. 1		Potrero No. 2		Potrero No. 3	
Primera Ocupación	Pastizal Natural	Primera Ocupación	Verdeo invierno	Primera Ocupación	Pastura
Segunda Ocupación	Pastizal Natural	Segunda Ocupación	Verdeo Verano	Segunda Ocupación	Pastura
Superficie del potrero (ha)	6	Superficie del potrero (ha)	7	Superficie del potrero (ha)	4
Manejo de rastrojo	Sin remoción	Manejo de rastrojo	Sin remoción	Manejo de rastrojo	Consumo
Labores y Aplicaciones		Labores y Aplicaciones	Número	Labores y Aplicaciones	Número
		Siembra Directa	2	Siembra Directa	1
		Aplicación de Fert y Plag	6	Aplicación de Fert y Plag	1
Fertilizantes	kg-l/ha	Fertilizantes	kg-l/ha	Fertilizantes	kg-l/ha
		Mezcla 18-46-0	200	Mezcla 18-46-0	100
		Urea	50		
Plaguicidas	kg-l/ha	Plaguicidas	kg-l/ha	Plaguicidas	kg-l/ha
		2,4 D amina	1		
		Roundup	17		

Potrero No. 4		Potrero No. 5		Potrero No. 6	
Primera Ocupación	Pastura	Primera Ocupación	Pastura	Primera Ocupación	Verdeo Invierno
Segunda Ocupación	Pastura	Segunda Ocupación	Pastura	Segunda Ocupación	
Superficie del potrero (ha)	4	Superficie del potrero (ha)	4	Superficie del potrero (ha)	4
Manejo de rastrojo	Consumo	Manejo de rastrojo	Consumo	Manejo de rastrojo	Sin remoción
Labores y Aplicaciones	Número	Labores y Aplicaciones		Labores y Aplicaciones	
				Siembra Directa	1
				Aplicación de Fert y Plag	4
Fertilizantes	Kg-l/ha	Fertilizantes	kg-l/ha	Fertilizantes	kg-l/ha
				Mezcla 18-46-0	100
				Urea	50
Plaguicidas	Kg-l/ha	Plaguicidas	kg-l/ha	Plaguicidas	kg-l/ha
				2,4 D amina	1
				Roundup	9

Nombre del Establecimiento	Predio 2		
Superficie (ha)	50	PP (mm/año)	1200
MO (%)	4,6	ETP media (mm/año)	1270
Clase Textural del suelo	Arcillo limoso	T media (°C)	18
Pendiente media (%)	4-7,99		
		Tipo	Kg
Carga Media (VO/ha)	0,94	SGH	37843
Producción de Carne (kg/ha)	17	Afrechillo de Trigo	12925
Producción de Leche (l/ha)	3881	Fardos Moha	35000

Potrero No. 1		Potrero No. 2		Potrero No. 3	
Primera Ocupación	Pastizal Natural	Primera Ocupación	Verdeo Invierno	Primera Ocupación	Barbecho
Segunda Ocupación	Pastizal Natural	Segunda Ocupación	Verdeo Verano	Segunda Ocupación	Barbecho
Superficie (ha)	18	Superficie (ha)	20	Superficie (ha)	12
Manejo de rastrojo	Sin remoción	Manejo de rastrojo	Consumo	Manejo de rastrojo	Consumo
Labores y Aplicaciones		Labores y Aplicaciones	Número	Labores y Aplicaciones	Número
		Siembra Directa	2		
		Aplicación de Fert y Plag	6		
Fertilizantes	Kg-l/ha	Fertilizantes	kg-l/ha	Fertilizantes	kg-l/ha
		Mezcla 18-46-0	50		
		Urea	150		
		Superfosfato triple	100	Plaguicidas	kg-l/ha
Plaguicidas	Kg-l/ha	Plaguicidas	kg-l/ha		
		Lorsban 48	0,5		
		Roundup	13		

Nombre del Establecimiento	Predio 3					
Superficie (ha)	220	PP (mm/año)	1200			
MO (%)	3.94	ETP media (mm/año)	1270			
Clase Textural del suelo	Arcillo limoso	T media (°C)	18			
Pendiente media (%)	4-7,99					
		Tipo	Kg			
Carga Media (VO/ha)	0.73	SGH	151110			
Producción de Carne (kg/ha)	14	Ens MZ pe	156600			
Producción de Leche (l/ha)	4429	Afrechillo de Trigo	16832			
		Fardos	140000			
Potrero No. 1		Potrero No. 2		Potrero No. 3		
Primera Ocupación	Pastizal Natural	Primera Ocupación	Verdeo Invierno	Primera Ocupación	Pastura	
Segunda Ocupación	Pastizal Natural	Segunda Ocupación	Verdeo Verano	Segunda Ocupación	Pastura	
Superficie (ha)	51	Superficie (ha)	42	Superficie (ha)	42	
Manejo de rastrojo	Sin remoción	Manejo de rastrojo	Consumo	Manejo de rastrojo	Consumo	
Labores y Aplicaciones		Labores y Aplicaciones	Número	Labores y Aplicaciones	Número	
		Siembra Directa	2	Siembra Directa	1	
		Aplicación de Fert y Plag	6	Aplicación de Fert y Plag	3	
Fertilizantes	kg-l/ha	Fertilizantes	kg-l/ha	Fertilizantes	kg-l/ha	
		Mezcla 18-46-0	121	Mezcla 18-46-0	66	
		Urea	240	Urea	100	
Plaguicidas	kg-l/ha	Plaguicidas	kg-l/ha	Plaguicidas	kg-l/ha	
		Roundup	12	Roundup	4	

Potrero No. 4		Potrero No. 5		Potrero No. 6	
Primera Ocupación	Pastura	Primera Ocupación	Pastura	Primera Ocupación	
Segunda Ocupación	Pastura	Segunda Ocupación	Barbecho	Segunda Ocupación	
Superficie (ha)	42	Superficie (ha)	42	Superficie del potrero (ha)	
Manejo de rastrojo	Consumo	Manejo de rastrojo	Consumo	Manejo de rastrojo	
Labores y Aplicaciones	Número	Labores y Aplicaciones		Labores y Aplicaciones	
Aplicación de Fert y Plag	3				
Fertilizantes	kg-l/ha	Fertilizantes	kg-l/ha	Fertilizantes	kg-l/ha
Mezcla 18-46-0	55				
Urea	120				
Plaguicidas	kg-l/ha	Plaguicidas	kg-l/ha	Plaguicidas	kg-l/ha
Roundup	8				
Preside	0.2				

Nombre del Establecimiento	Predio 4				
Superficie (ha)	400	PP (mm/año)	1200		
MO (%)	5.32	ETP media (mm/año)	1270		
Clase Textural del suelo	Arcillo limoso	T media (°C)	18		
Pendiente media (%)	4-7,99				
		Tipo	Kg		
Carga Media (VO/ha)	0.84	Gr. Trigo	580000		
Producción de Carne (kg/ha)	15	SGH	510000		
Producción de Leche (l/ha)	5645	Fardos	30000		
Potrero No. 1		Potrero No. 2		Potrero No. 3	
Primera Ocupación	Pastizal Natural	Primera Ocupación	Verde Invierno	Primera Ocupación	Pastura
Segunda Ocupación	Pastizal Natural	Segunda Ocupación	Verde Verano	Segunda Ocupación	Pastura
Superficie (ha)	80	Superficie (ha)	43	Superficie (ha)	43
Manejo de rastrojo	Sin remoción	Manejo de rastrojo	Sin remoción	Manejo de rastrojo	Consumo
Labores y Aplicaciones		Labores y Aplicaciones	Número	Labores y Aplicaciones	Número
		Siembra Directa	2	Siembra Directa	1
		Aplicación de Fert y Plag	4	Aplicación de Fert y Plag	2
Fertilizantes	kg-l/ha	Fertilizantes	kg-l/ha	Fertilizantes	kg-l/ha
		Mezcla 18-46-0	78	Mezcla 18-46-0	39
		Urea	60	Superfosfato triple	61
		Superfosfato triple	122	Plaguicidas	kg-l/ha
Plaguicidas	kg-l/ha	Plaguicidas	kg-l/ha	Roundup	6
		Roundup	12	Preside	0.3
		2,4 D amina	1		

Potrero No. 4		Potrero No. 5		Potrero No. 6	
Primera Ocupación Segunda Ocupación Superficie (ha) Manejo de rastrojo	Pastura Pastura 43 Consumo	Primera Ocupación Segunda Ocupación Superficie (ha) Manejo de rastrojo	Pastura Pastura 43 Consumo	Primera Ocupación Segunda Ocupación Superficie (ha) Manejo de rastrojo	Verdeo Invierno Verdeo Verano 32 Sin remoción
Labores y Aplicaciones Aplicación de Fert y Plag	Número 2	Labores y Aplicaciones Aplicación de Fert y Plag	Número 2	Labores y Aplicaciones Siembra Directa Aplicación de Fert y Plag	Número 2 4
Fertilizantes Superfosfato triple	kg-l/ha 120	Fertilizantes Superfosfato triple	kg-l/ha 120	Fertilizantes Mezcla 18-46-0 Urea Superfosfato triple	kg-l/ha 78 60 122
Plaguicidas 2,4 D amina Preside	kg-l/ha 0.8 0.3	Plaguicidas 2,4 D amina Preside	kg-l/ha 0.8 0.3	Plaguicidas Roundup 2,4 D amina	kg-l/ha 12 1
Potrero No. 7		Potrero No. 8		Potrero No. 9	
Primera Ocupación Segunda Ocupación Superficie (ha) Manejo de rastrojo	Pastura Pastura 32 Consumo	Primera Ocupación Segunda Ocupación Superficie (ha) Manejo de rastrojo	Pastura Pastura 32 Consumo	Primera Ocupación Segunda Ocupación Superficie (ha) Manejo de rastrojo	Verdeo Invierno Verdeo Verano 52 Sin remoción
Labores y Aplicaciones Siembra Directa Aplicación de Fert y Plag	Número 1 2	Labores y Aplicaciones Aplicación de Fert y Plag	Número 2	Labores y Aplicaciones Siembra Directa Aplicación de Fert y Plag	Número 2 4
Fertilizantes Mezcla 18-46-0 Superfosfato triple	kg-l/ha 39 61	Fertilizantes Superfosfato triple	kg-l/ha 120	Fertilizantes Mezcla 18-46-0 Urea Superfosfato triple	kg-l/ha 78 60 122
Plaguicidas Roundup Preside	kg-l/ha 6 0.3	Plaguicidas 2,4 D amina Preside	kg-l/ha 0.8 0.3	Plaguicidas Roundup 2,4 D amina	kg-l/ha 12 1

Anexo 3: Índice de agro diversidad estabilidad

Predio 1

Componente	N comp/Año	Importancia	Perennidad	Especies	Indice
VI	1	0,34	5	5	9
VV/VI	1	0,21	5	4	4
PP3	1	0,07	4	4	1
PP3	1	0,16	3	3	1
PP3	1	0,11	2	2	0,45
CN	1	0,10	1	1	0
		1,00			16
					0,38

Predio 2

Componente	N comp/Año	Importancia	Perennidad	Especies	Indice
VI	1	0,3	5	5	7
VV	1	0,5	5	5	13
CN	1	0,2	1	1	0
		3	1,0	20	
					0,2

Predio 3

Componente	N comp/Año	Importancia	Perennidad	Especies	Indice
VI	1	0,11	5	5	3
VV	1	0,22	5	5	6
PP3	1	0,11	4	4	2
PP3	1	0,25	3	3	2
PP3	1	0,18	3	3	2
CN	1	0,13	1	1	0
	6	1,00			14

0,43

Predio 4

Componente	N comp/Año	Importancia	Perennidad	Especies	Indice
VI	1	0,17	5	5	4
VV	1	0,33	5	5	8
PP2	1	0,09	4	4	1
PP2	1	0,07	4	4	1
PP3	1	0,06	4	4	1
PP3	1	0,11	3	3	1
PP3	1	0,08	3	3	1
CN	1	0,10	1	1	0
	8	1,00			18

0,45

ANEXO 3: Nuevos componentes ingresados en el AgroEcoIndex

Cuadro No. 1: Valores de referencia utilizados del AgroEcoIndex

Referencias	Valores AEI	Unidades
Semilla	16,7	Mj/Kg
Siembra	367,5	Mj/Ha
Aplicaciones	76	Mj/Ha
Cosecha	646	Mj/Ha
Picadora de forraje grueso	1236	Mj/Ha
Enfardado	309	Mj/Ha
Fertilizante	58	Mj/Kg
Plaguicidas	5,75	Mj/Kg- Ltr
Gas Oil	43	Mj/Ltr

Cuadro No. 2: Supuestos utilizados para la obtención de valores de energía para alimentos nuevos

	SGH	Ens MZ pe	Gr. Trigo	Fardos
Rend BF/Ha	5000	20000	3000	2800
MS (%)	73	37	76	86
Rend MS/Ha	3650	7400	2280	2408
Densidad	13 Kg	40 Kg	92 Kg	No
Siembra	SD	SD	SD	No
Aplicaciones	4	4	4	No
Cosecha	Cosecha	Picadora de forraje grueso	Cosecha	Enfardado
Fertilizante	100Kg 18/45	100Kg 18/46	100Kg 18/46	No
	100Kg Urea	100Kg Urea	200Kg Urea	No
Plaguicidas	8 Lts Glifo+ MCPA 2 Lts	8 Lts Glifo + Atrz 1 Ltr	8 Glifo -Banvel 0,5 Lt	No
	0,5 Ltr Lors	1 Ltr Lors	1 Ltr Opera	No
Gas Oil	Emb-Transp.	Emb-Transp.	Transp y molido	Transp.
	5-2,5 Lts	20-5,0 Lts	5-2,5 Lts.	2 Lts
Consumo de E. fósil	13517	15857	20353	395
Mj/Kg	2,7	2	9	0,16
Mj/Kg AEI	16	11	11	8

Cuadro No. 3: Resumen de los valores obtenidos para los alimentos nuevos ingresados en el AgroEcolIndex

Tabla de Suplementos	V. Energía (MJ/kg)	N (gr/kg)	P (gr/kg)	Metabolicidad	Consumo de Agua
SGH	2,7	5	3,4	0,68	550
Ens MZ pe	2	4,3	1,9	0,46	2700
Grano de Trigo	9	10	13,8	0,68	1150
Fardos	0,16	3,8	2	0,46	2500

ANEXO 4: Erosión

Cuadro No. 1: Datos generales predio 1

Caso	Predio 1
Duración de la Rotación	4 Años
Localidad	Paysandú
Unidad / Suelo	Young; Brunosol Eutrico Tipico fr.
Tolerancia	7 Mg/ha/año
Longitud de la Pendiente	80 Mts.
Gradiente de la Pendiente	3
Relación de Erosión	Mixto
Practica Mecánica de Apoyo	No Aplica
Porc. Cubierto por Pastura	0
Forma de Calculo Factor C	Por Componentes
FACTORES	
Factor C	0.063
EROSION ANUAL ESTIMADA	4.2 Mg/ha.

Cuadro No. 2: Componentes de la rotación predio 1

Componente 1	Cereales de Invierno	PC	MI	MF
Cultivo	Siembra directa	1	3	3
Manejo del Suelo	TODOS	2	4	10
Rendimiento	60	3	0	0
% de suelo Cubierto luego de la Siembra	96	4	11	11
% de suelo cubierto por Parte Aérea en el Período 3	---			
% de suelo cubierto por Residuos en el Período 4				

Componente 2					
Cultivo	Sorgo o Maíz	PC	MI	MF	
Manejo del Suelo	Siembra directa	1	12	12	
Rendimiento	BAJO – 2.600 k/ha MS	2	1	2	
% de suelo Cubierto luego de la Siembra	----	3	0	0	
% de suelo cubierto por Parte Aérea en el Período 3	80	4	3	3	
% de suelo cubierto por Residuos en el Período 4	30				
Componente 3					
Cultivo	Pastura Establecida o Consociada	PC	MI	MF	
Manejo del Suelo	NO APLICA	3	4	12	
Rendimiento	MEDIO - 4.5 a 6.75 Mg/ha/año de MS				
Componente 4					
Cultivo	Pastura Establecida o Consociada	PC	MI	MF	
Manejo del Suelo	NO APLICA	3	1	12	
Rendimiento	MEDIO - 4.5 a 6.75 Mg/ha/año de MS				
Componente 5					
Cultivo	Pastura Establecida o Consociada	PC	MI	MF	
Manejo del Suelo	NO APLICA	3	1	12	
Rendimiento	MEDIO - 4.5 a 6.75 Mg/ha/año de MS				
Componente 6					
Cultivo	Pastura Establecida o Consociada	PC	MI	MF	
Manejo del Suelo	NO APLICA	3	1	2	
Rendimiento	BAJO - 2.25 a 4.5 Mg/ha/año de MS				

Cuadro No. 2: Datos generales predio 2

Caso	Predio 2	
Duración de la Rotación	2 Años	2 Años
Localidad	Paysandú	Paysandú
Unidad / Suelo	Fray Bentos/ Brunosol E tipico	Young/ Brunosol E tipico
Tolerancia	Paysandú	Paysandú
Longitud de la Pendiente	80 mts	80 mts
Gradiente de la Pendiente	4	4
Relación de Erosión	Mixto	Mixto
Practica Mecánica de Apoyo	No aplica	No aplica
Porc. Cubierto por Pastura	0	0
Forma de Calculo Factor C	Por componentes	Por componentes
FACTORES		
Factor C	0,249	0,249
EROSION ANUAL ESTIMADA	31.4 Mg/ha.	16.5 Mg/ha.

Cuadro No. 3: Componentes de la rotación predio 2

Componente 1					
Cultivo	Cereales de Invierno	PC	MI	MF	
Manejo del Suelo	Laboreo reducido	1	2	2	
Rendimiento	TODOS	2	3	9	
% de suelo Cubierto luego de la Siembra	40	3	0	0	
% de suelo cubierto por Parte Aérea en el Período 3	80	4	10	10	
% de suelo cubierto por Residuos en el Periodo 4	----				
Componente 2					
Cultivo	Sorgo o Maíz	PC	MI	MF	
Manejo del Suelo	Siembra directa	1	11	11	
Rendimiento	BAJO – 2.600 k/ha MS	2	12	4	
% de suelo Cubierto luego de la Siembra	----	3	0	0	
% de suelo cubierto por Parte Aérea en el Período 3	80	4	5	1	
% de suelo cubierto por Residuos en el Periodo 4	30				

Cuadro No. 5: Datos generales predio 3

DATOS GENERALES	Predio 3	
Unidad\$	Unidad Fray Bentos	Unidad Young
Duración de la Rotación	4 Años	4 Años
Localidad	Paysandú	Paysandú
Suelo	Brunosol Eutrico Típico LAc.	Brunosol Eutrico Típico fr.
Tolerancia	7	7
Longitud de la Pendiente	80 Mts.	80 Mts.
Gradiente de la Pendiente	4	4
Relación de Erosión	Mixto	Mixto
Practica Mecánica de Apoyo	No Aplica	No Aplica
Porc. Cubierto por Pastura	0	0
Forma de Calculo Factor C	Por Componentes	Por Componentes
FACTORES		
Factor C	0.082	0.082
EROSION ANUAL ESTIMADA	10.3 Mg/ha.	5.4 Mg/ha.

Cuadro No. 6: Componentes de la rotación predio 3

Componente 1					
Cultivo	Cereales de Invierno	PC	MI	MF	
Manejo del Suelo	Siembra directa	1	3	3	
Rendimiento	TODOS	2	4	10	
% de suelo Cubierto luego de la Siembra	60	3	0	0	
% de suelo cubierto por Parte Aérea en el Período 3	96	4	11	11	
Componente 2					
Cultivo	Sorgo o Maíz				
Manejo del Suelo	Siembra directa	PC	MI	MF	
Rendimiento	BAJO - 2.600 k/ha MS	1	12	12	
		2	1	2	
% de suelo cubierto por Parte Aérea en el Período 3	80	3	0	0	
% de suelo cubierto por Residuos en el Período 4	30	4	3	3	
Componente 3					
Cultivo	Cereales de Invierno	PC	MI	MF	
Manejo del Suelo	Siembra directa	1	4	4	
Rendimiento	TODOS	2	5	10	
% de suelo Cubierto luego de la Siembra	60	3	0	0	
		4	0	0	
Componente 4					
Cultivo	Pastura Establecida o Consociada	PC	MI	MF	
Rendimiento	BAJO - 2.25 a 4.5 Mg/ha/año de MS	3	11	12	
Componente 5					
Cultivo	Pastura Establecida o Consociada	PC	MI	MF	
Rendimiento	MEDIO - 4.5 a 6.75 Mg/ha/año de MS	3	1	12	
Componente 6					
Cultivo	Pastura Establecida o Consociada	PC	MI	MF	
Rendimiento	BAJO - 2.25 a 4.5 Mg/ha/año de MS	3	1	3	

Componente 7					
Cultivo	Cereales de Invierno	PC	MI	MF	
Manejo del Suelo	Siembra directa	1	4	4	
Rendimiento	TODOS	2	5	9	
% de suelo Cubierto luego de la Siembra	85	3	0	0	
% de suelo cubierto por Parte Aérea en el Período 3	96	4	0	0	
Componente 8					
Cultivo	Pastura Establecida o Consociada				
Manejo del Suelo	NO APLICA	PC	MI	MF	
Rendimiento	BAJO - 2.25 a 4.5 Mg/ha/año de MS	3	10	2	

Cuadro No. 7: Datos generales Predio 4

DATOS GENERALES	Predio 4 rot. A.	
Duración de la Rotación	1 año	1
Localidad	Paysandú	Paysandú
Suelo	Brunosol Eutríco Típico LAc.	Brunosol Eutríco Típico fr.
Unidad\$	Unidad Fray Bentos	Unidad Young
Tolerancia	7 Mg/ha/año	7 Mg/ha/año
Longitud de la Pendiente	80 Mts.	80 Mts.
Gradiente de la Pendiente	4	4
Relación de Erosión	Mixto	Mixto
Practica Mecánica de Apoyo	No Aplica	No Aplica
Porc. Cubierto por Pastura	0	0
Forma de Calculo Factor C	Por Componentes	Por Componentes
FACTORES		
Factor C	0.173	0.173
EROSION ANUAL ESTIMADA	21.8 Mg/ha.	9.7 Mg/ha

Cuadro No. 8: Componentes de la rotación predio 4 rotación A

Componente 1					
Cultivo	Cereales de Invierno	PC	MI	MF	
Manejo del Suelo	Siembra directa	1	3	3	
Rendimiento	TODOS	2	4	10	
% de suelo Cubierto luego de la Siembra	60	3	0	0	
% de suelo cubierto por Parte Aérea en el Período 3	96	4	11	11	
% de suelo cubierto por Residuos en el Periodo 4	----				
Componente 2					
Cultivo	Sorgo o Maíz	PC	MI	MF	
Manejo del Suelo	Siembra directa	1	12	12	
Rendimiento	BAJO - 2.600 k/ha MS	2	1	2	
		3	0	0	
% de suelo Cubierto luego de la Siembra	----	4	0	0	
% de suelo cubierto por Parte Aérea en el Período 3	90				
% de suelo cubierto por Residuos en el Periodo 4	40				

Cuadro No. 9: Datos generales Predio 4 rotación B

DATOS GENERALES	Predio 4 rot. B.	
Duración de la Rotación	Unidad Fray Bentos. 4	Unidad Young. 4 años
Localidad	Paysandú	Paysandú
Unidad/Suelo	Fray Bentos; Brunosol Eutrico Tipico LAc.	Young; Brunosol Eutrico Tipico fr.
Tolerancia	7 \$Mg/ha/año	7
Longitud de la Pendiente	80 Mts.	80
Gradiente de la Pendiente	4	4
Relación de Erosión	Mixto	Mixto
Practica Mecánica de Apoyo	No Aplica	No Aplica
Porc. Cubierto por Pastura	0	0
Forma de Calculo Factor C	Por Componentes	Por Componentes
FACTORES		
Factor C	0.078	0.078
EROSION ANUAL ESTIMADA	9.8 Mg/ha.	5.2 Mg/ha

Cuadro No. 10: Componentes de la rotación predio 4 rotación B

Componente 1					
Cultivo	Cereales de Invierno	PC	MI	MF	
Manejo del Suelo	Siembra directa	1	3	3	
Rendimiento	TODOS	2	4	10	
% de suelo Cubierto luego de la Siembra	60	3	0	0	
% de suelo cubierto por Parte Aérea en el Período 3	96	4	11	11	
% de suelo cubierto por Residuos en el Periodo 4	----				
Componente 2					
Cultivo	Sorgo o Maíz				
Manejo del Suelo	Siembra directa	PC	MI	MF	
Rendimiento	BAJO - 2.600 k/ha MS de residuos en superficie en el momento del laboreo	1	12	12	
% de suelo Cubierto luego de la Siembra	----	2	1	2	
% de suelo cubierto por Parte Aérea en el Período 3	80	3	0	0	
% de suelo cubierto por Residuos en el Periodo 4	30	4	3	3	
Componente 3					
Cultivo	Cereales de Invierno	PC	MI	MF	
Manejo del Suelo	Siembra directa	1	4	4	
Rendimiento	TODOS	2	5	10	
% de suelo Cubierto luego de la Siembra	60	3	0	0	
% de suelo cubierto por Parte Aérea en el Período 3	96	4	0	0	
% de suelo cubierto por Residuos en el Periodo 4	----				
Componente 4					
Cultivo	Pastura Establecida o Consociada	PC	MI	MF	
Manejo del Suelo	NO APLICA	3	11	12	
Rendimiento	BAJO - 2.25 a 4.5 Mg/ha/año de MS				

Componente 5					
Cultivo	Pastura Establecida o Consociada	PC	MI	MF	
Manejo del Suelo	NO APLICA	3	1	12	
Rendimiento	MEDIO - 4.5 a 6.75 Mg/ha/año de MS				
Componente 6					
Cultivo	Pastura Establecida o Consociada	PC	MI	MF	
Manejo del Suelo	NO APLICA	3	1	12	
Rendimiento	MEDIO - 4.5 a 6.75 Mg/ha/año de MS				
Componente 7					
Cultivo	Pastura Establecida o Consociada	PC	MI	MF	
Manejo del Suelo	NO APLICA	3	1	2	
Rendimiento	BAJO - 2.25 a 4.5 Mg/ha/año de MS				