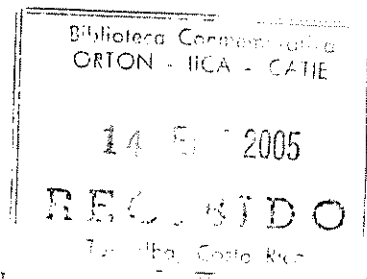


Modelos de toma de decisiones de los productores ganaderos
respecto al cambio de uso del suelo y la adopción de sistemas
silvopastoriles en Costa Rica

BYRON VINICIO MAZA ROJAS



CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
PROGRAMA DE ENSEÑANZA PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACIÓN
ESCUELA DE POSGRADUADOS

**Modelos de toma de decisiones de los productores ganaderos respecto al cambio
de uso del suelo y la adopción de sistemas silvopastoriles en Costa Rica**

POR

Byron Vinicio Maza Rojas

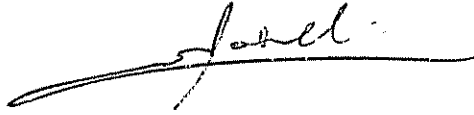
Turrialba, Costa Rica

2004

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por el Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del Estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

MAGISTER SCIENTIAE

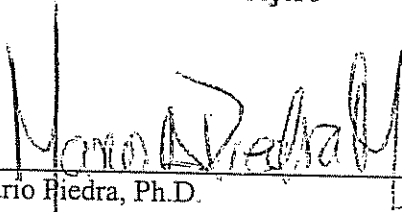
FIRMANTES:



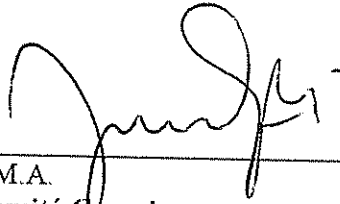
Bruno Locatelli, Dr.
Consejero Principal.



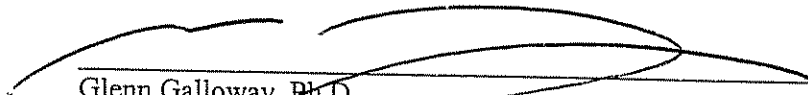
Muhammad Ibrahim, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



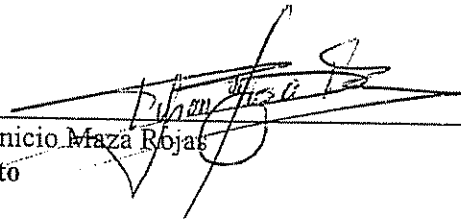
Mario Piedra, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



José Gobbi, M.A.
Miembro Comité Consejero



Glenn Galloway, Ph.D.
Director Programa de Educación y
Decano de la Escuela de Posgrado



Byron Vinicio Maza Rojas
Candidato

AGRADECIMIENTOS

Al comité consejero conformado por: Muhammad Ibrahim, Mario Piedra y José Gobbi por su predisposición en colaborar con mi tema de tesis.

Al consejero principal Bruno Locatelli por compartir sus conocimientos y brindar todo su apoyo en el desarrollo de la tesis, mil gracias por ser excelente profesor, tutor y amigo.

A los técnicos del proyecto GEF de Esparza en especial Wilma Holguin y Francisco Casasola por su colaboración.

A la OEA/LASPAU por el financiamiento económico de los estudios de maestría.

A mis compañeros de la promoción 2003 – 2004 por el apoyo brindado en los momentos alegres y difíciles de la maestría en especial a: Santiago Larco, Leonardo Uquillas, Natalia Ureña, Stella Amarilla, Cristina Vidal, Marcia Nuñez y Virginia Vergara.

A la comunidad Ecuatoriana residente en CATIE

DEDICATORIA

Para mi madre Julia y mi padre Héctor por su apoyo incondicional.
Todo se lo debo a ellos.

GRACIAS PADRES.

A mis hermanos Juan Carlos y Yessenia por su apoyo constante.

ÍNDICE GENERAL

PRÓLOGO	viii
ARTÍCULO	1
Resumen	1
Abstract	2
1. Introducción	3
2. Objetivos e hipótesis	6
3. Materiales	7
3.1. La zona de estudio y el contexto ganadero	7
3.2. Venta de servicios ambientales	13
4. Métodos	15
4.1. Representación del sistema de producción	15
4.2. Implementación del modelo	17
4.3. Los tipos de fincas ganaderas para la modelación	21
4.4. Datos del modelo	24
4.5. El plan de simulación	27
5. Resultados	30
5.1. Calibración y sensibilidad del modelo	30
5.2. Efecto del PSA sobre la finca mediana	32
5.3. Efecto de los factores externos a las fincas	33
5.4. Efecto de los factores internos a las fincas	36
5.5. Efecto del aumento del pago por servicios ambientales	38
6. Discusión	41
7. Conclusiones	46
8. Propuestas metodológicas	49
Referencias	51
Anexos	54

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Promedio de pagos del proyecto GEF por servicios ambientales	14
Cuadro 2. Distribución de los usos del suelo de la finca pequeña	22
Cuadro 3. Distribución de los usos del suelo de la finca mediana	23
Cuadro 4. Distribución de los usos del suelo de la finca grande	23
Cuadro 5. Cálculo del hatu típico para diferentes tamaños de fincas	24
Cuadro 6. Capital financiero inicial y número de jornales considerados para la simulación	24
Cuadro 7. Características de la pastura <i>Hyparrhenia rufa</i>	25
Cuadro 8. Características de la pastura <i>Brachiaria brizantha</i>	26
Cuadro 9. Factores externos, internos y PSA evaluados en la finca mediana (Simulación base)	27
Cuadro 10. Plan de simulación para determinar el efecto de los factores externos, internos y PSA (esquema de 2 años y esquema de 4 años) sobre el comportamiento ambiental de la finca	28
Cuadro 11. Aumento del pago por servicios ambientales	29
Cuadro 12. Análisis de sensibilidad sobre la digestibilidad de las pasturas	32
Cuadro 13. Cambio de uso del suelo y puntaje en la simulación base	32
Cuadro 14. Areas de uso del suelo en las tres fincas tipos	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Los precios reales de la carne bovina en los países en Costa Rica, en canal	8
Figura 2. Reseña histórica de uso del suelo en fincas ganaderas pequeñas	10
Figura 3. Reseña histórica de uso del suelo en fincas ganaderas medianas	11
Figura 4. Reseña histórica de uso del suelo en fincas ganaderas grandes	12
Figura 5. Cambio de uso del suelo en fincas que recibieron PSA entre el 2003 a 2004	12
Figura 6. Aumento de las áreas en fincas que recibieron PSA entre el 2003 a 2004	13
Figura 7. Representación del componente biofísico	15
Figura 8. Representación del componente socioeconómico	16
Figura 9. Implementación del modelo en MatLab TM	19
Figura 10. Cambios de uso del suelo considerados en el modelo	20
Figura 11. Esquema del proceso de optimización	21
Figura 12. Crecimiento de pasturas sin animales	30
Figura 13. Influencia del tipo de pasturas sobre la ganancia de peso en carga alta	30
Figura 14. Influencia del tipo de pasturas sobre el peso	31
Figura 15. Influencia de la carga animal sobre el incremento de peso en pastura natural	31
Figura 16. Curva de relación entre ganancia por animal en función de la carga animal (curva de Jones y Sandland en Peterson <i>et al.</i> , 1965)	31
Figura 17. Curva de relación entre ganancia por hectárea en función de la carga animal (curva de Jones y Sandland en Peterson <i>et al.</i> , 1965)	31
Figura 18. Efecto del pago por servicios ambientales	33
Figura 19. Influencia del precio de la carne sobre los cambios de uso del suelo con y sin PSA	33
Figura 20. Influencia del acceso al crédito a varias tasas de interés sobre los cambios de uso del suelo con y sin PSA	34
Figura 21. Influencia de no considerar costos de jornal sobre los cambios de uso del suelo con y sin PSA	34
Figura 22. Influencia de aumento del costo del jornal en un 100% sobre los cambios de uso del suelo con y sin PSA	34
Figura 23. Influencia de los costos de los insumos para el mantenimiento de pasturas sobre los cambios de uso del suelo con y sin PSA	35
Figura 24. Influencia de los costos de los insumos para el cambio de uso del suelo sobre los cambios de uso del suelo con y sin PSA	36
Figura 25. Influencia de la disponibilidad de capital inicial sobre los cambios de uso del suelo con y sin PSA	36
Figura 26. Influencia del 25% de los ingresos destinados para consumo familiar sobre los cambios de uso del suelo con y sin PSA	37

Figura 27. Influencia del 75% de los ingresos destinados para consumo familiar sobre los cambios de uso del suelo con y sin PSA.....	37
Figura 28. Influencia de la finca con mayor puntaje inicial sobre los cambios de uso del suelo con y sin PSA.....	37
Figura 29. Influencia de una finca con menor puntaje inicial sobre los cambios de uso del suelo con y sin PSA.....	37
Figura 30. Efecto del PSA en el cambio de uso del suelo en diferentes tamaños de fincas.....	38
Figura 31. Efecto del aumento del PSA sobre los cambios de uso del suelo en la finca pequeña.....	39
Figura 32. Efecto del aumento del PSA sobre los cambios de uso del suelo en la finca mediana.....	39
Figura 33. Efecto del aumento del PSA sobre los cambios de uso del suelo en la finca grande.....	40
Figura 34. Curva de oferta de servicios ambientales para fincas pequeñas, medianas y grandes.....	40

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Ubicación de la zona de estudio.....	54
Anexo 2. Descripción del puntaje e índice de los usos del suelo.....	55
Anexo 3. Modelos de producción de carne basada en pastoreo. Ecuaciones matemáticas.....	56
Anexo 4. Cálculo del hato típico en el sistema de engorde para diferentes tamaños de fincas.....	59
Anexo 5. Costos de mantenimiento de pasturas.....	60
Anexo 6. Costos de cambio de uso del suelo.....	60
Anexo 7. Costo de mantenimiento anual de una unidad animal en el sistema de engorde.....	62
Anexo 8. Análisis de sensibilidad.....	63
Anexo 9. Resultados de las simulaciones de cambios de usos del suelo.....	64
Anexo 10. Programación del sistema de producción en MatLab TM	72

PRÓLOGO

El proyecto GEF "Enfoques Silvopastoriles Integrados para el Manejo de Ecosistemas", que se ejecuta en la zona de Esparza (Costa Rica) propone incentivos financieros mediante el pago por servicios ambientales y asistencia técnica para lograr que en las fincas de producción de ganado se incorpore Sistemas Silvopastoriles (SSP). De esta manera, se pretende superar las barreras de adopción de estos sistemas amigables con el ambiente, que son el conocimiento limitado y la falta de incentivos financieros iniciales que restringen la conversión de fincas con sistemas tradicionales a SSP (CATIE, 2001).

El trabajo de investigación desarrolló modelos de toma de decisiones con la finalidad de contribuir con uno de los objetivos del componente socioeconómico del proyecto GEF que es "determinar el efecto del pago por servicios ambientales sobre el proceso de toma de decisiones en la finca y el determinar los factores que influyen en la adopción de sistemas de usos del suelo sostenibles".

Al tratarse de una tesis es interesante mostrar el proceso para la obtención del modelo final. A continuación se describen todas las etapas que se siguieron durante el trabajo que no se describen en el artículo.

La secuencia lógica de la modelación empezó con el estudio de los sistemas ganaderos desarrollados en la zona, establecimiento de esquemas conceptuales de la decisión sobre la base de literatura, abstracción y diseño de modelos computacionales.

Se elaboró un esquema conceptual mediante una revisión de literatura publicada y reportes técnicos del proyecto GEF, con la finalidad de elaborar un marco conceptual preliminar del funcionamiento del sistema silvopastoril. Esta fase permitió explorar las bases de datos existentes, adquirir un buen conocimiento de los posibles modelos y sus limitaciones, apreciar la lógica y los problemas concretos de la simulación y tener resultados para presentar a los expertos en las etapas del trabajo.

Se desarrollaron varios modelos de toma de decisiones. Estos cambiaron con el incremento del número de variables. El último modelo desarrollado se presenta en el artículo descrito a continuación.

Los niveles de complejidad se incrementaron con el aumento de variables de la siguiente manera:

- De 2 a 6 usos del suelo (variables de decisión) con la finalidad de representar las tipologías de las fincas. La representación gráfica se hizo para mostrar la combinación óptima de dos usos. Luego se utilizaron optimizaciones con varios usos del suelo.

- De un tipo de finca a varios tipos de fincas.
- De modelos estáticos a dinámicos. Los modelos estáticos simulan el uso del suelo y los modelos dinámicos tratan sobre el cambio de uso en el tiempo.

Para llegar al modelo final se desarrollaron previamente varios modelos que se describen a continuación:

1. Modelo estático de hogar ganadero con optimización lineal en Excel de Microsoft.

El modelo de hogar ganadero con optimización lineal con Excel fue el primer modelo desarrollado, se implementó con la finalidad de comprender el sistema silvopastoril y las interrelaciones entre los componentes de pastura y animal.

Se modeló una familia que tiene recursos (área de la finca, ganado, mano de obra familiar, días de trabajo máximo por persona). Se representó el sistema biofísico con una curva de productividad/ha y productividad/área en función de la carga animal (curva de Jones y Sandland en Peterson *et al.*, 1965). Cada uso del suelo presentaba requerimientos de trabajo e insumos. La familia podía decidir sobre el área total de pasturas y la mano de obra contratada. Su función objetivo era maximizar los ingresos. Sus restricciones fueron: mano de obra disponible, área total, carga animal, ingresos totales y tiempo de trabajo familiar.

El resultado de este modelo es la asignación óptima del número de hectáreas destinadas para pasturas. Se desechó el modelo porque no representaba las variables más importantes del sistema silvopastoril.

2. Modelo estático de hogar ganadero con tres usos del suelo en MatLab™

En una segunda etapa se decidió utilizar fórmulas matemáticas más complejas (Catrileo *et al.*, 2003) que muestran las principales interrelaciones del sistema. Se cambió al software MatLab™ por sus capacidades de cálculos rápidos y porque tiene incorporado un lenguaje de computación técnica para la programación de las diferentes rutinas y automatización de cálculos para la simulación de las fincas.

MatLab™ integra análisis numérico, cálculo matricial y su proceso de visualización gráfica. Además dispone del Toolbox de optimización con funciones incorporadas que se conecta al programa principal (MathWorks, 2004).

El modelo simuló la ganancia diaria de peso de los novillos a través de ecuaciones que consideraban el peso vivo, la disponibilidad de materia seca y el contenido energético de la pradera. Este fue un modelo de simulación y no se hizo optimización

Se realizaron varias pruebas de rendimientos de pesos de los animales con representaciones gráficas en tres tipos de pastura natural, pastura mejorada y degradada. Los resultados con las fórmulas de Carileo *et al.* (2003) sobrestimaron la ganancia de peso de los animales reportados para la zona, razón por la cual se cambió de ecuaciones

3. Modelo estático de hogar ganadero con 3 usos del suelo con fórmulas de Becker *et al.* 1984.

Para este modelo se utilizó ecuaciones matemáticas de Becker *et al.* (1984) que simula la producción de carne en condiciones de pastoreo. El modelo requería informaciones iniciales de: disponibilidad, crecimiento y digestibilidad de las pasturas, carga animal, edad de los animales expresada en semanas y peso vivo de los animales. Se generó un crecimiento de forraje, que es ajustado por la disponibilidad y posteriormente sumado a ella. Partiendo de esta información, se generó un consumo potencial en función de la edad de los animales, ajustado por la disponibilidad y digestibilidad de forraje. Conocido el consumo real de pastura, éste fue restado de los valores de disponibilidad de pastura

A partir del consumo y según sea los requerimientos de manutención de los animales se generó una ganancia o pérdida de peso. Conocida esta ganancia o pérdida de peso, se modificó diariamente el peso vivo. Este modelo sólo comprendió componentes sobre los cuales se disponía información y que pudieron relacionarse matemáticamente. En base a la comparación con rendimientos de la zona de estudio, el modelo simuló un comportamiento cercano de los animales y de las praderas

Se utilizaron tres tipos de pastura: natural, mejorada y degradada donde se realizaron rotaciones de los animales. Se elaboraron diferentes curvas con la finalidad determinar la lógica de los resultados a nivel mensual y anual:

- Curva de crecimientos de pasturas sin animales en pasturas mejorada y natural, inicializando en dos épocas del año (verano e invierno).
- Curva de ganancia de peso diario de un animal durante 1 año:
 - para los tres tipos de pastura (natural, mejorada y degradada).
 - para tres valores de carga animal (alta, media, baja).
 - para tres valores de rotación (1, 15 y 30 días)

- Gráfico 3D de los ingresos (z) en función de dos variables de decisión: área de pastura natural (x) y mejorada (y). Este gráfico permite ver la combinación óptima de pasturas para un hato determinado.
- Curva de relación de la ganancia por animal y por hectárea en función de la carga animal (curva de Jones y Sandland en Peterson *et al.*, 1965).

La solución gráfica en 3D sólo permitió dos variables de decisión (dos usos), esto fue una limitante si se desea representar más usos del suelo o su cambio de uso en el tiempo. Además, en este modelo no hubo toma de decisiones.

4. Optimización del modelo estático de hogar ganadero con tres variables de decisión

Para poder trabajar con más de 2 variables se utilizó el toolbox de optimización de MatLab™. El toolbox de optimización tiene incorporado funciones (fmincon) que optimizan funciones no-lineales.

Se utilizó el modelo de simulación anterior para realizar las optimizaciones de las tres variables de decisión: pastura natural, mejorada y degradada (ver Figura 1). El problema de este modelo fue que no consideraba usos del suelo de pasturas con árboles (Sistema Silvopastoril).

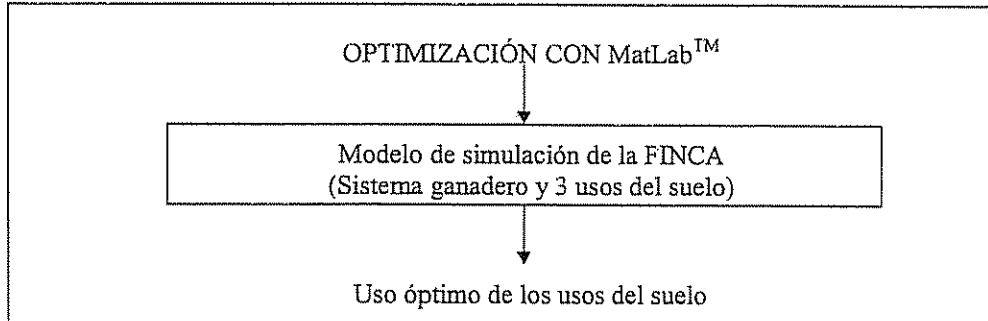


Figura 1. Optimización de los usos del suelo de una finca

5. Optimización de un modelo estático de hogar ganadero con seis variables de decisión

La característica de este modelo fue el aumento de los usos del suelo para la optimización. Se consideraron usos con árboles (SSP) todos relacionados con la ganadería: pastura natural (PN), pastura mejorada (PM), pastura natural con baja densidad de árboles (PNB), pastura mejorada con baja densidad de árboles (PMB), pastura natural con alta densidad de árboles (PNA), pastura mejorada con alta densidad de árboles (PMA). Esto buscaba representar los usos del suelo de las fincas incluidas en el proyecto "Enfoques silvopastoriles para el manejo de ecosistemas".

En primera instancia el modelo realizó los cálculos de crecimiento de animales y pasturas a nivel diario, pero los cálculos y la posterior optimización de los usos del suelo llevaron demasiado tiempo, en promedio más de una hora por optimización, razón por la cual se cambió a cálculos a nivel mensual.

Dado que las ecuaciones de Becker *et al* (1984) se refieren a cálculos diarios tanto para los animales como para las pasturas, se calcularon los crecimientos o consumos diarios utilizando los valores de materia seca o de peso de los animales del principio del mes. Luego se ajustaron: por ejemplo, el crecimiento diario del pasto se multiplica por 30. El consumo de los animales se multiplicó por el número de días que se quedaban los animales en la parcela (los animales se quedaban en cada parcela durante un tiempo proporcional a la disponibilidad de materia seca de la parcela).

El problema de este modelo es no considerar los cambios de uso del suelo y los costos (número de jornales e insumos) de cambiar de uso.

6. Optimización de un modelo dinámico de hogar ganadero nueve variables de decisión

Los modelos estáticos simulan el uso del suelo y los modelos dinámicos tratan sobre el cambio en el tiempo. En el modelo dinámico desarrollado, la decisión del productor al año t tomó en cuenta la situación del hogar o de la finca después de las decisiones del año $t-1$. En este modelo a más de los costos y beneficios de los usos se tomaron en cuenta los costos de los insumos y de mano de obra de cambio de uso, así el modelo de simulación calculó la siguiente función:

$$\text{Ganancia de la finca durante } N \text{ años de evolución} = f(\text{cambios de uso del suelo durante los } N \text{ años})$$

El proceso de optimización de la función f buscó la combinación de cambios de uso del suelo que permite tener un mejor desempeño. Las variables de decisión fueron las áreas anuales de 9 posibles cambios de uso del suelo (ver Figura 2)

Otra característica de este modelo fue la inclusión de restricciones: acceso al crédito y mano de obra disponible en la familia

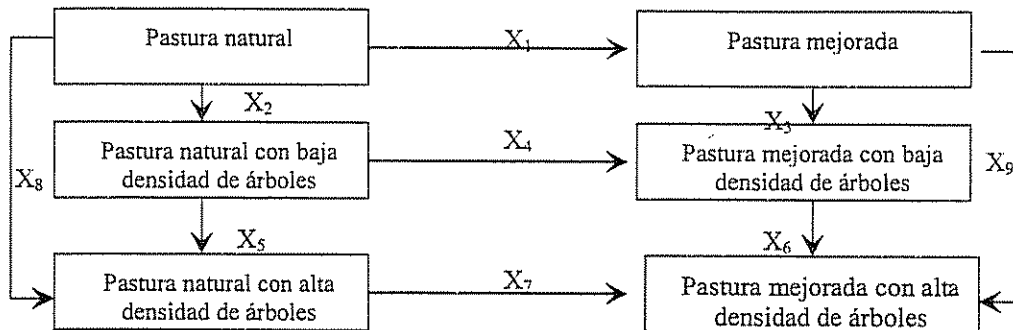


Figura 2. Nueve cambios de uso del suelo para la optimización

En un inicio los cambios de uso del suelo podían ser diferentes para cada año de la simulación, por ejemplo 90 variables de decisión en 10 años de simulación. Se representaron por una matriz las restricciones de cambio de uso. El problema con los cálculos de 90 variables de decisión fue su complejidad y la gran cantidad de tiempo necesaria para las optimizaciones. Por lo tanto se decidió de un cambio de uso del suelo constante durante los 10 años lo que redujo el número de variables a 9

Otro cambio fue el establecimiento del límite inferior para las variables. Primero los cálculos se realizaron con valores de cambio que podían ser positivos o negativos, posteriormente se estableció el límite inferior cero para ahorrar tiempo de optimización. Esto significaba que no hay cambios en una situación "peor", por ejemplo no habían cambios de PM a PN o de PMA a PM.

El limitante de este modelo fue no considerar el pago de servicios ambientales (PSA) por línea base y por cambio de uso del suelo.

7. Modelo dinámico de hogar ganadero de siete variables de decisión

El modelo final desarrollado fue parecido al anterior para simular el sistema de engorde y se utilizaron optimizaciones para buscar los cambios de uso del suelo que maximizaron los ingresos en 10 años. Los cambios realizados fueron la reducción de dos cambios de uso menos (X_8 y X_9) para el ahorro del tiempo y la introducción del PSA. El modelo permitió crear escenarios para determinar el efecto de factores externos, internos y del PSA en la finca (ver Figura 3).

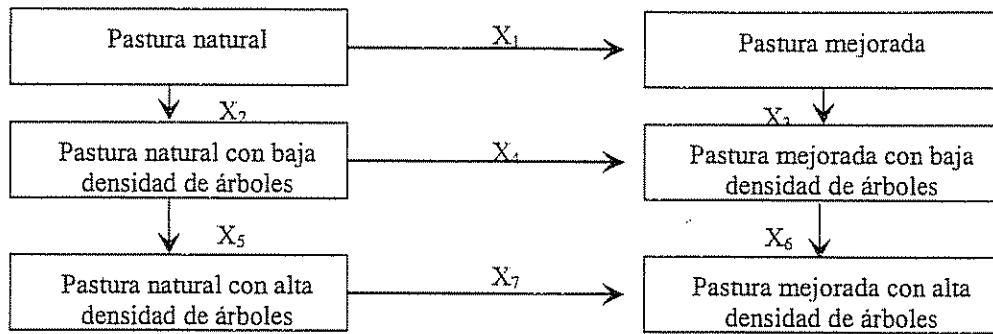


Figura 3. Siete cambios de uso del suelo para optimización

ARTÍCULO

Maza, B. 2004 Modelos de toma de decisiones de los productores ganaderos respecto al cambio de uso del suelo y la adopción de sistemas silvopastoriles en Costa Rica. Tesis M. Sc. CATIE Turrialba, CR

Resumen

Se utilizó un modelo de optimización no lineal que identifica la asignación óptima de cambio de uso del suelo mediante la maximización de las ganancias de los usos del suelo a nivel de finca. El modelo utiliza supuestos reales de acceso al crédito, mano de obra familiar disponibilidad de capital inicial y área de pasturas. Un supuesto fuerte del modelo es que los productores maximizan sus beneficios. Aunque en la realidad los productores no maximizan sus decisiones de la misma manera, el modelo muestra tendencias de cambio de uso del suelo similares a las tendencias reales. Se trata de un modelo dinámico y determinístico elaborado en el software MatLab™. El modelo provee una manera práctica para cumplir con el objetivo de evaluar el impacto de los factores externos e internos y de pago por servicios ambientales (PSA) sobre el uso del suelo y adopción de sistemas silvopastoriles (SSP). El modelo muestra que para una finca mediana en las condiciones de la simulación de base, el PSA incentiva el cambio a usos del suelo más amigables con el medio ambiente (SSP). Los mayores cambios de uso del suelo se dan de pasturas naturales a mejoradas. El efecto del PSA en la simulación de base esta condicionado por la ausencia de acceso al crédito y un capital bajo. Si la finca tiene acceso al crédito y más capital inicial, se hacen cambios de uso del suelo aún sin PSA. Esto demuestra el interés de PSA para remover barreras de capital. En las fincas pequeñas no hay impacto del PSA, el monto actual del PSA es insuficiente. En las fincas grandes hay cambio de uso del suelo sin necesidad de PSA, es decir el monto actual del PSA es innecesario. Un aumento del monto actual del PSA podrá superar la barrera financiera para la introducción de árboles. Con los montos actuales, los cambios de uso del suelo son hacia pasturas mejoradas. Con montos de 2,5 veces el monto actual para el esquema de 4 años y 3 veces para el esquema de 2 años, se hacen más cambios y los mayores cambios son hacia pasturas con alta densidad de árboles.

Palabras claves: Toma de decisión; Modelo dinámico; Optimización; Cambio de uso del suelo; Sistema ganadero; Pago por servicios ambientales; Sistema Silvopastoril.

ARTICLE

Maza, B 2004 Decision making models for cattle ranchers with respect to land use change and silvopastoral systems adoption in Costa Rica M.S Thesis. CATIE, Turrialba, CR

Abstract

A non-linear optimization model which identifies the optimal land use change allocations was applied using profit maximization for land use at the farm level. This model used real assumptions of credit access, family labor, initial capital availability and pasture areas. An assumed strength of the model is that the farmers maximize their benefits. Even though the farmers do not maximize their decisions the same way, the model shows land use change tendencies similar to real tendencies. This model is dynamic and deterministic and made by MatLabTM software. It provides a practical way to achieve the objective of evaluating the impact of external and internal factors as well as the environmental service payments (ESP) on land use and adoption of silvopastoral systems (SPS). The model shows that with base simulation conditions for medium farms, there is a positive effect of ESP incentives on more environmental friendly land use change (SPS). The greatest land use changes are due to natural or improved pastures. The effect of ESP in the base simulation was conditional for the absence of credit access and low capital. If the farm has access to credit and more initial capital, the land use will change even without ESP. This shows the interest of ESP to remove the capital barriers. Environmental service payments did not impact small farms as the current ESP amount is insufficient. On the large farms, there are land use changes without the necessity of ESP. That is to say the current ESP amount is not necessary. An increase in the current ESP amount could overcome the financial barriers for tree introduction. With the current amounts, land use is changing toward improved pastures. Amounts 2.5 times higher than the current in the 4-year scheme and 3 times higher in the 2-year scheme will cause more changes and the greatest changes will be toward pastures with high tree densities.

Keywords: Decision making; Dynamic model; Optimization; Land use change; Livestock system; Environmental service payments; Silvopastoral systems

1. Introducción

Durante varias décadas, la producción ganadera del trópico de América Latina se ha cuestionado debido a su asociación con la degradación ambiental y pérdida de la biodiversidad (Sánchez, 2002). En la mayoría de los países latinoamericanos prevaleció una estructura política que incitó la deforestación y conversión de áreas boscosas a pasturas o cultivos. Por ejemplo, se concedieron títulos de propiedad después de la tala del bosque. Además, la producción ganadera se fortaleció por créditos subvencionados, precios garantizados y otros incentivos (Revington, 1992; FAO, 1993; Nicholson *et al.*, 1994; Kaimowitz, 1996; Lascano y Holmann, 1997; CATIE, 2001). El escenario de política ha cambiado en los recientes años de dos maneras. Por un lado, se han suspendido los subsidios para la producción ganadera y la asignación de recursos está ahora en línea a los precios de mercado. Como resultado, las áreas de pastura se están asignando a usos alternativos y las operaciones ganaderas menos rentables están desapareciendo. Por otro lado, hay un número creciente de incentivos para la conservación de recursos naturales y para la provisión de servicios ambientales, los cuales están empezando a convertirse en otro factor que determina el uso del suelo y una opción que podría mejorar la viabilidad financiera de las fincas (CATIE, 2001; Rodríguez y Sáenz, 2001). Por ejemplo, gracias al conjunto de incentivos, compensaciones y esfuerzos estatales para evitar la destrucción de los bosques nacionales, recuperar zonas degradadas y mejorar la producción forestal en Costa Rica se ha revertido el proceso de deforestación, al pasar de una cobertura forestal en los 80 de 30.4% a un 45.4% en el 2001 (Rodríguez, 2001).

Los sistemas agroforestales, que incluyen los sistemas silvopastoriles (SSP), ofrecen una amplia gama de opciones para hacer a la ganadería más amigable con el ambiente. Entre estas se citan: 1) mantenimiento de la fertilidad del suelo, reducción de la erosión mediante el aporte de material orgánico al suelo, fijación de nitrógeno y reciclaje de nutrientes; 2) conservación del agua (cantidad y calidad) al favorecer la infiltración y reducir la escorrentía superficial que podría contaminar cursos de agua; 3) captura de carbono, enfatizando el potencial de los sistemas silvopastoriles; 4) conservación de la biodiversidad en paisajes fragmentados; 5) provisión de sustento económico para uso comercial o familiar; por ejemplo: leña, madera, frutos; y 6) sostén de la producción animal (CATIE, 2002; Beer *et al.*, 2003). Estos sistemas constituyen una alternativa a los modelos de producción convencional que después de un periodo inicial de altos rendimientos, disminuyen la fertilidad del suelo y causan degradación de pasturas, entre otros (CATIE, 2001; CATIE, 2002; Sánchez, 2002)

Existen muchos casos de promoción de la agroforestería, unos tienen como resultado bajas tasas de adopción, con finqueros renuentes a adoptar nuevos o mejores sistemas agroforestales o rápido abandono después del establecimiento. Como un resultado de la brecha percibida entre avances en

agroforestería, ciencia y extensión, recientemente se ha incrementado la investigación en adopción de innovaciones de sistemas agroforestales (Mercer y Snook, 2004). Una variedad de razones contribuyen para las bajas tasas de adopción, estos a menudo resultan de una inadecuada valoración de preferencias, prioridades y restricciones de los finqueros previo a designar nuevos sistemas agroforestales (Current *et al.*, 1995; Mercer y Millar, 1998 citados por Mercer y Snook, 2004;).

Algunas limitaciones claves para la adopción de tecnologías silvopastoriles se relacionan con: 1) falta de capital que restringen la conversión de fincas con sistemas tradicionales a SSP; 2) conocimiento limitado por falta de efectividad en los mecanismos de diseminación; 3) falta de políticas apropiadas e incentivos; 4) falta de información sobre preferencias del finquero. En este sentido, hay necesidad de desarrollar políticas de entorno para promover la adopción de SSP (CATIE, 2001; Ibrahim *et al.*, 2002). Para superar estas barreras el proyecto GEF "Enfoques Silvopastoriles Integrados para el Manejo de Ecosistemas", propone incentivos financieros mediante el pago por servicios ambientales y asistencia técnica para promover los SSP en las fincas de producción de ganado (CATIE, 2001).

Empero, a pesar de las estrategias del proyecto (PSA y asistencia técnica) se desconocen los factores del productor (capital, estrategias, percepciones, concienciación, sensibilización, otros) y factores externos (políticas, mercados, instituciones, otros) que promueven nuevas conductas para la adopción de SSP. El conocimiento del proceso de toma de decisiones por parte de los productores permite entender el impacto del PSA, por ejemplo ver si el pago es suficiente y cubre su costo de oportunidad o la percepción del mismo.

Estudios *ex ante* de rentabilidad, factibilidad y aceptabilidad de sistemas agroforestales experimentales son esenciales para investigadores en designar sistemas apropiados, para agencias de desarrollo en determinar quién y donde asignar programas con fondos escasos y para los productores en experimentar y evaluar en un proceso de adopción (Mercer, 2004). Así, rigurosos análisis *ex ante* proveen un entendimiento predictivo de las decisiones de uso del suelo de fincas de los hogares, y las características de sistemas de uso del suelo demandados por los finqueros deben proveer información valuable para planificadores de proyectos y diseños de sistemas agroforestales (Mercer y Snook, 2004). Mercer (2004) señala que progresos recientes han sido hechos en análisis de adopción *ex ante* usando un enfoque de análisis de fincas como sistemas (Current *et al.*, 2000, Barret *et al.*, 2002; Franzel y Scherr, 2002 citados por Mercer, 2004). Los análisis sistemáticos de adopción son relativamente raros, parcialmente porque según Franzel y Scherr (2002), indican que algunos científicos creen que estos análisis son "suaves o subjetivos".

Una vez implementado un modelo de decisión del productor, sirve para agrupar factores explicativos y probar su importancia relativa bajo diferentes condiciones, esto permite desenredar un complejo de

fuerzas socioeconómicas y biofísicas que influyen en el cambio de uso del suelo. El modelo es útil para sintetizar información de los factores de toma de decisiones y puede ser base para una discusión, análisis y disertación entre los actores y expertos (Agarwal *et al.*, 2002) El uso de la modelación permite separar y describir componentes, considerando la identificación misma del sistema y puede constituir la base del análisis de sistemas agropecuarios (León Velarde *et al.*, 1997). Un modelo permite también simular la evolución futura de un sistema y probar el efecto de futuras medidas (“laboratorio virtual”), es decir explorar los cambios de uso de suelo futuros bajo diferentes condiciones (Verbug *et al.*, 2002) Debe permitir el análisis y toma de decisiones sobre el comportamiento presente y futuro del sistema con base en información obtenida de sistemas reales (León Velarde *et al.*, 1997). Consecuentemente, la modelación y simulación de un sistema son el medio para estimar o realizar un análisis *ex ante* tendiente a obtener una respuesta bio-económica en forma inmediata y económica (Taylor *et al.*, 1980 citado por León Velarde *et al.*, 1997).

León Velarde *et al.*, (1997) mencionan que en el pasado se han construido diversos modelos de simulación para analizar separadamente los componentes de los sistemas de producción. Sin embargo la tendencia actual es considerar en forma total los recursos del sistema, tales como la inversión, trabajo, alimentos, estructura y dinámica del hato, estados fisiológicos de los animales (preñez, lactancia), genética y sanidad, entre otros. Los sistemas pueden ser complejos y, en muchos casos, difíciles de modelar y de simular, especialmente cuando las relaciones causa – efecto no son conocidas. En general los componentes principales con subrutinas que simulen los sistemas de producción. No es necesario construir modelos excesivamente detallados y complejos, ya que ella perjudica la comprensión del sistema analizado (Novoa y Loomis, 1981 citado por Becker, 1984); pero si deben incluir las variables y los procesos que son el corazón del sistema modelado, de tal modo que el comportamiento del modelo sea similar al sistema real (Becker, 1984). Para Herrero *et al.* (1999), el desarrollo de un sistema ganadero requiere: 1) un entendimiento del comportamiento y las interrelaciones de las diferentes partes del sistema; 2) el conocimiento de los objetivos básicos del manejo de toma de decisiones de manejo; y 3) el entendimiento del sistema como un todo en su contexto agro – ecoregional. Con esto, se pueden elaborar sistemas de soporte de la decisión basado en simulación y técnicas de programación matemática.

Las ecuaciones matemáticas que explican la relación entre y dentro de los componentes considerados varían según el objetivo y pueden considerar la escala del animal y del hato. A nivel del animal, se considera el ciclo reproductivo del animal con base a requerimientos nutricionales para el crecimiento, reproducción, producción de leche y sanidad, bajo situaciones particulares de decisiones de manejo tales como edad al primer servicio, días de apareamiento, número de servicios, descarte por selección según criterios de edad y reproducción. A nivel del hato se consideran grupos de animales por categorías manejados en forma secuencial incluyendo los procesos antes mencionados.

Los modelos pueden ser validados, dentro de un rango mínimo de precisión, utilizando parámetros observados en las fincas comerciales y/o con información de producción, reproducción, genética y economía que aparece en la literatura (León Velarde *et al.*, 1997).

La presente investigación trata sobre un modelo *ex ante* dinámico denominado MODUGA (Modelo de Decisión de Uso del suelo en GAnadería), donde la variable de decisión es el cambio de uso del suelo. El modelo contribuye con uno de los objetivos de la componente socioeconómica del proyecto GEF que es “determinar el efecto del pago por servicios ambientales sobre el proceso de toma de decisiones en la finca y el determinar los factores que influyen en la adopción de sistemas de usos del suelo sostenibles”.

2. Objetivos e hipótesis

El objetivo general es desarrollar y validar modelos de decisión de productores para determinar cómo el pago por servicios ambientales y otros factores explicativos influyen en el cambio de uso del suelo y la adopción de sistemas silvopastoriles en la zona de Esparza (Costa Rica)

Los objetivos específicos son:

- Establecer distintos esquemas conceptuales de la decisión, sobre la base de la literatura y expertos en la temática.
- Realizar abstracciones y diseñar modelos computacionales para evaluar el impacto de los factores externos e internos y de pago por servicios ambientales sobre el uso del suelo y adopción de SSP utilizando los modelos informáticos.

Se plantean las siguientes hipótesis:

- Los factores explicativos del uso del suelo son diferentes según el capital de la finca (ejemplo: suelo, finanzas y familia).
- El pago por servicios ambientales es el factor determinante para la adopción de sistemas silvopastoriles.
- En situación de crisis de ganadería, el PSA tiene más impactos sobre el cambio de uso del suelo.
- En una situación de falta de acceso al crédito, el PSA tiene más impacto.

3. Materiales

3.1. La zona de estudio y el contexto ganadero

La zona de ejecución del proyecto GEF es la cuenca principal del río Barranca (ver Anexo 1). Tiene gran importancia para la recarga de los acuíferos de los cuales toman el agua las poblaciones de Esparza, Barranca y Puntarenas en Costa Rica (Ibrahim *et al.*, 2003; Casasola *et al.*, 2004).

Según la clasificación de vida de Holdridge, la zona del proyecto se ubica en el bosque subhúmedo tropical. Posee una estación seca marcada entre los meses de diciembre a abril y una precipitación promedio anual de 2040 mm anuales. La temperatura promedio anual es de 27° C, y la topografía en las zonas bajas es plana mientras en la zona alta del proyecto es fuertemente ondulada (Ibrahim *et al.*, 2003; Casasola *et al.*, 2004).

Evolución de la población bovina en Costa Rica

La Corporación de Fomento Ganadero citado por Oses (2002) resume la evolución del hato ganadero de Costa Rica e indica que la población bovina creció de forma importante entre 1973 y 1982, se mantuvo en aproximadamente 2,2 millones de cabezas en la década de los 80 y luego un descenso en a 1,3 millones de cabezas en la década de los 90.

Evolución de los precios de la carne

De 1950 a 1973, los precios de la carne fueron muy altos en los países de Centroamérica porque eran orientados a la exportación (Nicholson *et al.*, 1995; Kaimowitz, 1996). Desde los años 80, los precios de carne disminuyeron (Flores y Monterroso, 2002; Monterroso, 2002). Pérez (2001) menciona los elementos que han influido históricamente sobre los precios de la carne en la Región Centroamericana:

- Los precios han disminuido a medida que se han alejado del mercado de EE.U.U. Para las décadas de los 70 y 80, EE.U.U. fue el principal destino de las exportaciones de carne de la Región. Para la década de los 90 la participación de Centroamérica ha disminuido significativamente.
- El crecimiento del comercio de la carne ha aumentado entre los países centroamericanos.
- La oferta de carne en la región como un todo ha disminuido.

En la Figura 1 se indican los precios para el periodo 1990 – 2001 de la carne bovina en Costa Rica.

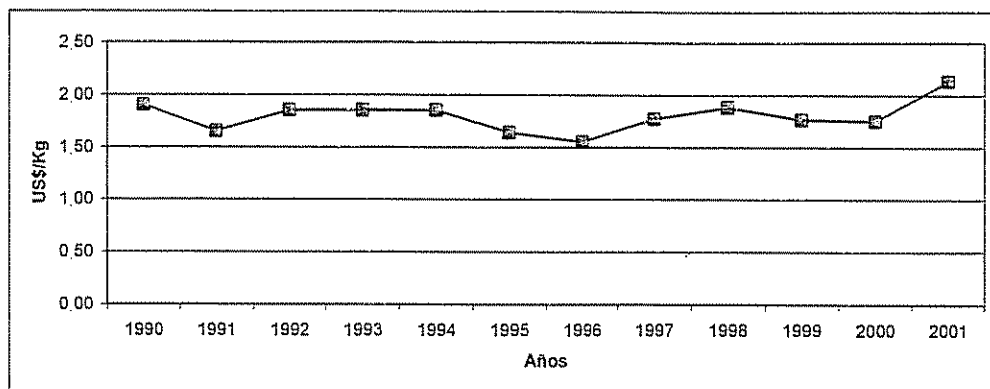


Figura 1. Los precios reales de la carne bovina en los países en Costa Rica, en canal
Fuente: Pérez, 2001; CORFOGA, 2004.

Osés (2002) señala que la producción de carne bovina en el período 1995 – 2001 se orientó al mercado nacional y los precios nacionales muestran un mayor incremento que los precios internacionales. Agrega que mientras que los precios establecidos por Estados Unidos para la carne industrial aumentaron durante 1995 -2000 en un 23,7%, en el mercado nacional los precios pagados en las plantas empacadoras aumentaron en un 110,7%. El aumento de los precios de la carne vacuna entre el 95 y el 2001 fue en este caso de un 29,76%. Los precios internacionales de la carne vacuna, según la FAO, citado por el mismo autor, aumentaron durante el período en estudio en un 9,8%.

Según la base de datos de la subasta ganadera de AGAINPA los precios de ganado en pie, en promedio, de enero a septiembre 2004, para un torete de 287 kg el precio es de 0,93 US\$/kg y para un ternero de 157 kg el precio de la carne es de 1,02 US\$/kg

Modelos ganaderos de la zona de Esparza

Según el Censo Agropecuario en el año 2004 citado por Holguin (2004), existen 593 fincas dedicadas a la ganadería en los cantones de Esparza, Montes de Oro y Miramar, las cuales cubren alrededor de 22.787 ha. Del total del hato vacuno se tiene un promedio de 31,4 cabezas por finca. De los tres cantones analizados, el 76% corresponden a animales de carne, el 7,6% a animales de leche y el 15,5% fueron animales de doble propósito.

El sistema de manejo del hato es extensivo donde las pasturas están divididas en apartos de área variable (potreros) y se realiza la rotación de los animales hasta que la disponibilidad de pasturas es mínima. Los productores conocen el número de días y animales que pueden mantener cada apto.

Se encuentran 2 tipos de fincas ganaderas: ganadería de doble propósito y ganadería de carne. En la ganadería de doble propósito, las explotaciones mantienen un hato de ordeño destinado a venta de leche o queso y crianza de terneros para la venta en pie en la subasta local, que le garantiza la venta del animal. Sólo en raras ocasiones un ternero no es comercializado en la subasta por razones sanitarias. En estas explotaciones predominan los cruces de animales cebuinos (Brahman) con animales de las razas Holstein, Jersey y Pardo Suizo (Holguin, 2004).

El fin principal de la ganadería de carne es la producción de animales para repasto o carne. Tres tipos de ganadería de carne se consideran: sistema de cría sin ordeño, el sistema de cría y desarrollo, y sistema de engorde.

El sistema de cría sin ordeño mantiene el mismo tamaño del hato que se renueva con el mismo ganado que se reproduce, es decir terneras jóvenes reemplazan a vacas viejas; los terneros y terneras que sobran son vendidas 8-12 meses al año al destete con un peso de 150-200 kg en otros casos dejan que alcancen hasta los 250 kg a los 15 meses. Además mantienen un toro permanente para la monta de los animales.

El sistema de cría y desarrollo es similar al sistema de cría sin ordeño pero con la variante que se dejó el ternero para la venta de 300-400 kg a los dos años aproximadamente.

En el sistema de engorde, los ganaderos compran terneros destetados de entre 180 – 220 kg y los engordan hasta que alcanzan el peso de 300 a 350 kg después de un año. Los ganaderos que tienen mejores razas engordan hasta los 450 a 500 kg en un año y medio. Otros ganaderos compran animales de 350 kg para venderlos a 450 a 500 kg después de 4 a 5 meses solamente, lo que hace a esta opción rentable.

Evolución de los usos del suelo

De 1950 a 1973, se incrementaron las áreas de pasturas por políticas de agricultura y altos precios de la carne. En los países de Centroamérica, la expansión de productos agropecuarios orientados a la exportación, tales como la carne bovina ha provocado deforestación (Nicholson *et al.*, 1995; Kaimowitz, 1996).

Desde los años 80, las pasturas han disminuido en la región y las áreas forestales se han incrementado. Cambios en la política agrícola (por ejemplo, disminución de subsidios) y bajos precios de la carne pueden ser las principales causas de la disminución de las áreas de pasturas.

Debido a las restricciones de agua, el cambio a otros cultivos agrícolas no es fácil en la región de Guanacaste. Muchas fincas desocupadas permitieron la regeneración natural y desde aquí el incremento del área forestal. Esto significa que varias fincas no están bajo ningún esquema de manejo y producción (Flores y Monterroso, 2002; Monterroso, 2002)

La Corporación de Fomento Ganadero citado por Osés (2002) indica que la producción bovina en Costa Rica, al igual que en la mayoría de los países tropicales, está basada en el pastoreo como principal recurso alimentario. En 1988, la extensión forrajera del país abarcaba 2,4 millones de hectáreas (48% del territorio nacional) que representaban tres veces la superficie dedicada a otros cultivos agrícolas. Usando imágenes de satélite se calculó que en 1992 el área de pasturas era de 1,65 millones de has. Los datos obtenidos del censo 2000 definen un área de pasturas cercana a los 1,35 millones de hectáreas. Asociado al descenso en las áreas de pastoreo ha ocurrido un deterioro del hato nacional, a una tasa aproximada de un 3 por ciento por año.

El informe sobre línea base de las fincas del proyecto GEF “Enfoques Silvopastoriles Integrados para el Manejo de Ecosistemas” analiza la historia de uso del suelo de tres tipos de fincas: pequeñas de 1 a 21 ha, medianas de 22 a 89 ha y grandes mayores a 90 ha (Casasola *et al.*, 2004)

Fincas pequeñas (1 a 21 ha)

En la década de los 70, el uso predominante en las fincas ganaderas pequeñas de la zona del proyecto fueron las pasturas con un 50% del área seguida de los tacotales con un 28,8% y los cultivos anuales con un 15%. En los 80 y 90, las pasturas siguieron incrementando su área al igual que las áreas bajo bosque, al tiempo que los tacotales y áreas destinadas a los cultivos anuales cedieron terreno (ver Figura 2).

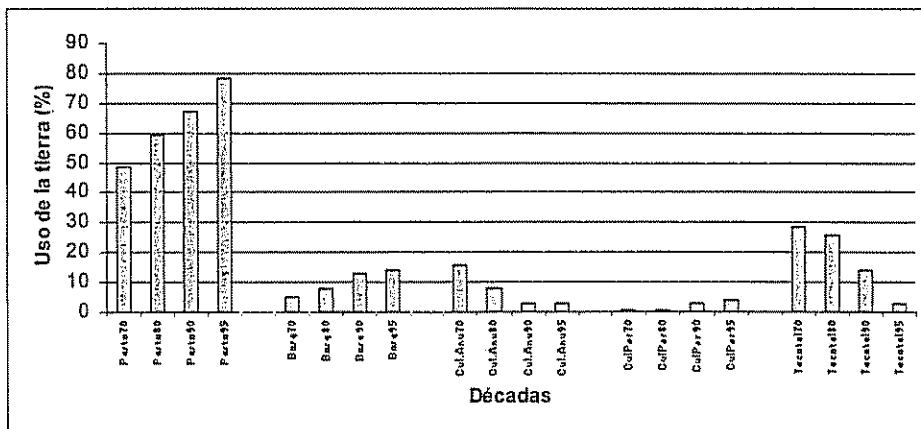


Figura 2. Reseña histórica de uso del suelo en fincas ganaderas pequeñas
Fuente: Casasola *et al.* 2004. Informe de línea base de las fincas adscritas al proyecto, Costa Rica.

Fincas medianas (22 a 89 ha)

En la década de los 70, las fincas ganaderas medianas de la zona del proyecto tenían pasturas en el 60% del área, 20% tacotales y 15% bosque, los cultivos anuales en el 4.8%. En la década de los 80, las pasturas incrementaron sus áreas, los cultivos anuales se incrementaron ligeramente, y los bosques y tacotales disminuyeron su representatividad, mientras que los cultivos aumentaron. En los inicios de la década de los 90, siguió el incremento de pasturas, los bosques se recuperaron respecto a la década anterior, las áreas de cultivo disminuyeron y las de tacotales se incrementaron. En la segunda mitad de la década de los 90, las pasturas ocuparon el 73,9% de la tierra y los bosques ocuparon un 20.4% mientras las áreas de cultivos y tacotales continuaron reduciéndose (ver Figura 3.)

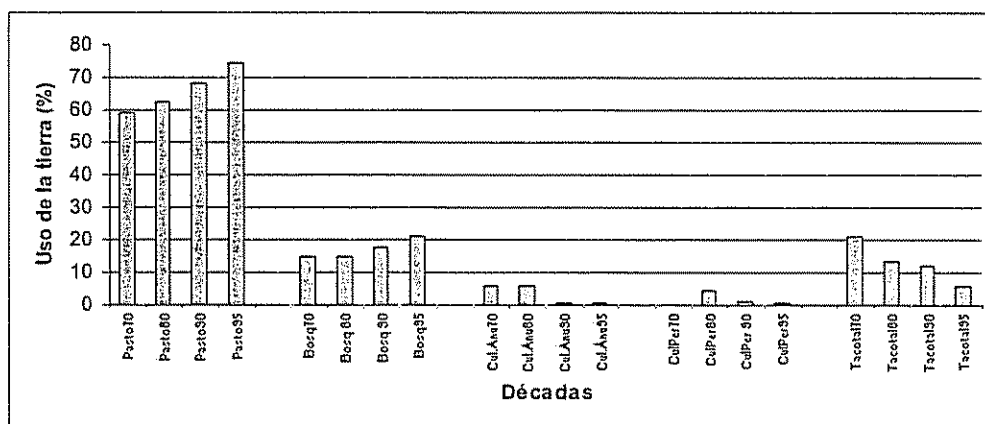


Figura 3. Reseña histórica de uso del suelo en fincas ganaderas medianas
Fuente: Casasola *et al.* 2004. Informe de línea base de las fincas adscritas al proyecto, Costa Rica.

Fincas grandes (mayor a 90 ha)

En la década de los 70, las fincas ganaderas grandes de la zona del proyecto tienen pasturas en el 74,5% de el área seguida por los bosques con un 23,6% y los cultivos anuales con un 1,8%. En la década de los 80 e inicios de los 90, las pasturas siguieron incrementando sus áreas, al tiempo que los bosques se reducían. En la segunda mitad de los 90, se observó que el área bajo bosques y tacotales (vegetación que antecede a los bosques en los procesos de sucesión) comenzaron a recuperarse (ver Figura 4).

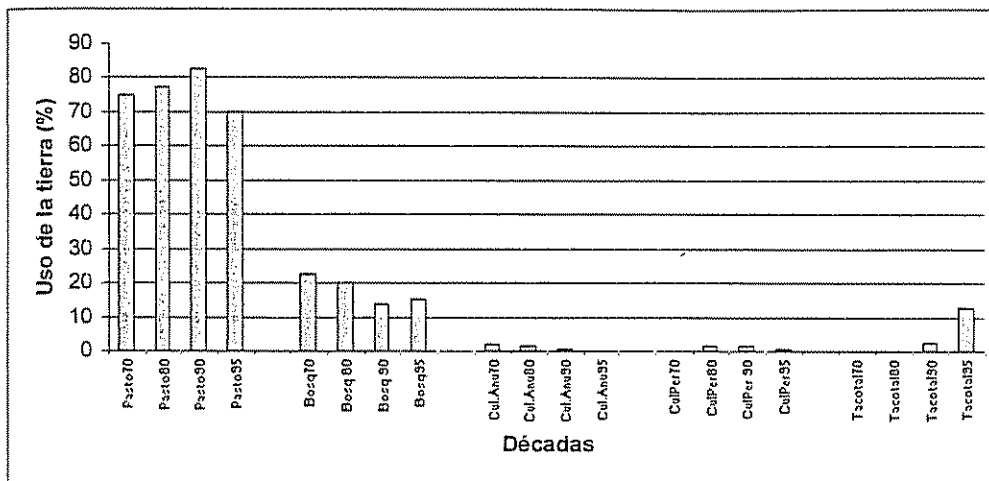


Figura 4. Reseña histórica de uso del suelo en fincas ganaderas grandes.
Fuente: Casasola, *et al* 2004. Informe de línea base de las fincas adscritas al proyecto, Costa Rica

Según la base de datos del proyecto GEF actualizada hasta octubre del 2004, en las 105 fincas que recibieron PSA entre el 2003 y 2004, los usos del suelo que incrementaron en mayor proporción sus áreas son las pasturas mejoradas con baja y alta densidad de árboles. Los usos del suelo que disminuyeron sus áreas son las pasturas naturales con baja densidad y sin árboles (ver Figura 5). En la Figura 6 se muestran los mayores aumentos que se dieron a nivel de pasturas seguido a nivel de árboles y finalmente de mejoramiento de pasturas + incremento de árboles.

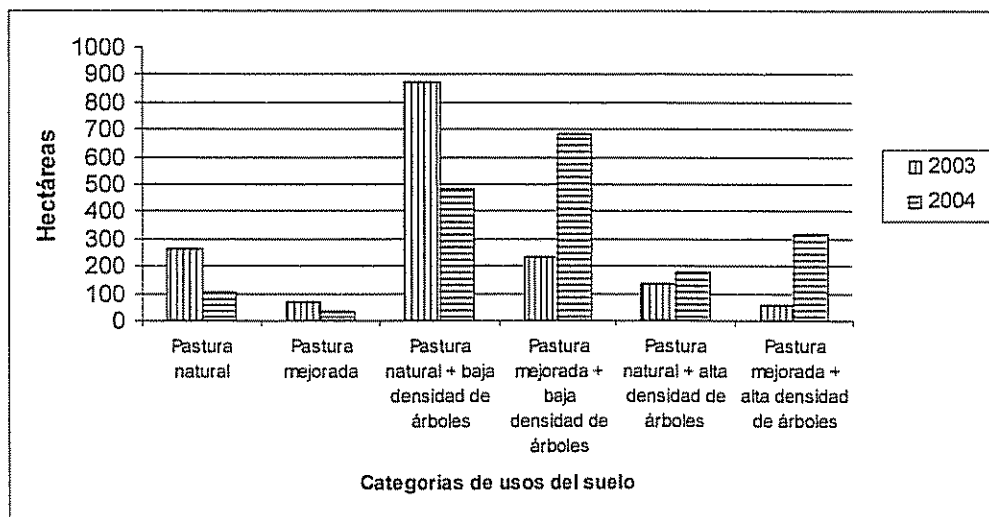


Figura 5. Cambio de uso del suelo en fincas que recibieron PSA entre el 2003 a 2004.
Fuente: Adaptado de la Base de datos proyecto "Enfoques Silvopastoriles Integrados para el Manejo de Ecosistemas", GEF/BANCO MUNDIAL, octubre 2004

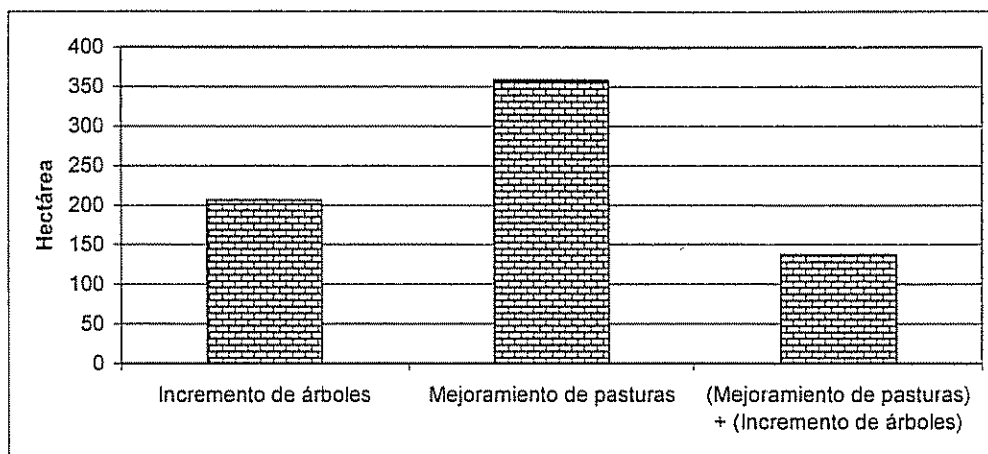


Figura 6. Aumento de las áreas en fincas que recibieron PSA entre el 2003 a 2004

Fuente: Adaptado de la Base de datos proyecto "Enfoques Silvopastoriles Integrados para el Manejo de Ecosistemas", GEF/BANCO MUNDIAL, octubre 2004

3.2. Venta de servicios ambientales

El proyecto "Enfoques Silvopastoriles Integrados para el Manejo de Ecosistemas" contempla la compensación financiera a los finqueros de las externalidades positivas que surjan de la adopción de los SSP de manejo de las fincas. Esta compensación podrá servir de estímulo para la adopción de los SSP, que sumada a la provisión de crédito para las inversiones iniciales, permitirá remover la limitante financiera que muchos finqueros poseen para adoptar esta tecnología (Gobbi, 2001).

El principio rector del sistema de pagos propuesto es que el finquero provee servicios ambientales por medio de los cambios en el uso de la tierra en la finca, al pasar de monocultivos de pasturas naturales a sistemas de vegetación más complejos que incluye la integración de árboles en los sistemas. Por lo tanto, cambios en los patrones de uso del suelo se tomarán como indicadores del volumen de los servicios ambientales a ser provistos (CATIE, 2001).

El pago por servicios ambientales se hace en base a un índice de uso del suelo. El índice está compuesto para diversos usos de suelo en cada finca, según su contribución a la conservación o incremento de la biodiversidad presente en la finca y en la zona, y su capacidad de fijar carbono (CATIE, 2001).

La forma de uso del suelo a la cual se asigna el mayor valor es el bosque primario, cuya presencia en las zonas de trabajo es mínima, este uso tiene un valor de 2. Esto asegura su conservación y evita incentivos perversos que pudiesen conducir a su destrucción. Los demás sistemas de uso del suelo son calificados de 0 a 1 según su contribución a la conservación de la biodiversidad y de 0 a 1 según su

capacidad de retención estable de carbono. Se describe los Sistemas de Uso de la Tierra identificados, con el puntaje asignado o valor del índice para biodiversidad y carbono, y el valor del índice agregado, según cada forma de uso del suelo en el Anexo 2 (CATIE, 2001).

El incentivo que reciben los productores por parte del proyecto GEF tiene dos partes: el esquema por pago de línea base y el esquema de pago por cambio de uso del suelo.

Esquema de pago de la línea de base

En el año 2003, al inicio del proyecto, se pagó a todos los productores participantes en el proyecto GEF, por línea de base y por única vez la cantidad de US\$ 10 por punto del índice, hasta un máximo de US\$ 500 por finca.

Esquema de pago por cambio de uso del suelo

Se paga por el incremento en la provisión de los servicios ambientales de secuestro de carbono y aumento en biodiversidad, derivados del cambio en el uso del suelo debido a la adopción de los SSP. Se tienen dos esquemas de pagos: un esquema de pago durante cuatro años (US\$ 75 por punto) y otro esquema durante dos años (US\$ 110 por punto). Los montos se calculan con base en el índice de cambio en el uso del suelo y no exceden por finca los US\$ 4.500 por finca.

El pago por los servicios ambientales se hace proporcional al incremento en los mismos medidos en relación a una línea de base establecida al año 0. Los pagos son efectuados en forma anual. Los puntajes que reciben los seis usos del suelo modelados se indican en el Anexo 2. En el Cuadro 1 se muestran los montos promedios que recibieron los productores del proyecto GEF por concepto de línea base y PSA en el 2004.

Cuadro 1. Promedio de pagos del proyecto GEF por servicios ambientales

Tamaño de Finca	Promedio de los grupos PSA y PSA + Asistencia Técnica	
	PSA de línea Base	PSA por cambios en el 2004
Grande	500	1722
Mediana	361	1091
Pequeña	118	320

Fuente: Adaptado de la Base de datos proyecto "Enfoques Silvopastoriles Integrados para el Manejo de Ecosistemas", GEF/BANCO MUNDIAL, octubre 2004.

4. Métodos

4.1. Representación del sistema de producción

El sistema de producción, un sistema silvopastoril, representado por el modelo simula la evolución del sistema de producción y de las interacciones entre sus componentes. Abarca los siguientes componentes:

- Un sistema biofísico (ver Figura 7):
 - La finca pueden tener 6 usos del suelo: Pastura Natural (PN), Pastura Mejorada (PM), Pastura Natural Con Baja Densidad de Árboles (PNB), Pastura Mejorada Con Baja Densidad de Árboles (PMB), Pastura Natural Con Alta Densidad de Árboles (PNA), Pastura Mejorada Con Alta Densidad de Árboles (PMA). Cada parcela está caracterizada por parámetros fijos (por ejemplo el área, el crecimiento de la materia seca en verano e invierno y los puntos que recibiría esta parcela en un sistema de PSA) y variables (la cantidad de materia seca en un momento dado).
 - Un hato compuesto por animales de peso y tipo diferentes.

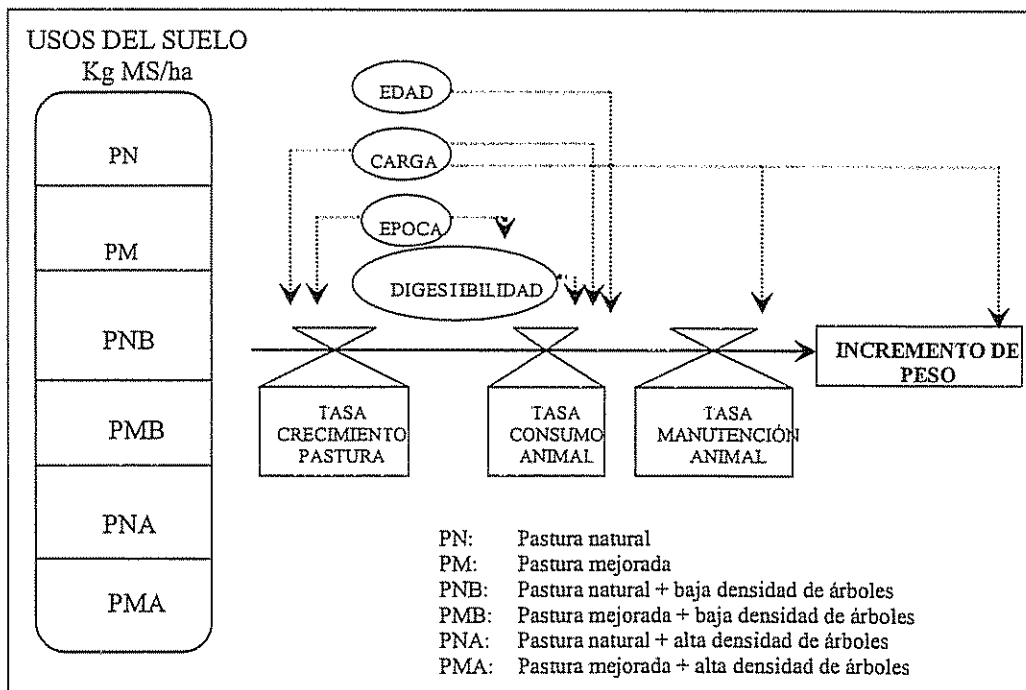


Figura 7. Representación del componente biofísico.
Fuente: Adaptado de Becker *et al* 1984

- Un sistema socio económico(ver Figura 8):
 - Un productor que toma decisiones de venta/compra de animales, de cambio de uso del suelo.
 - Un capital financiero y de mano de obra.
 - Una familia que consume una parte de los beneficios de la finca

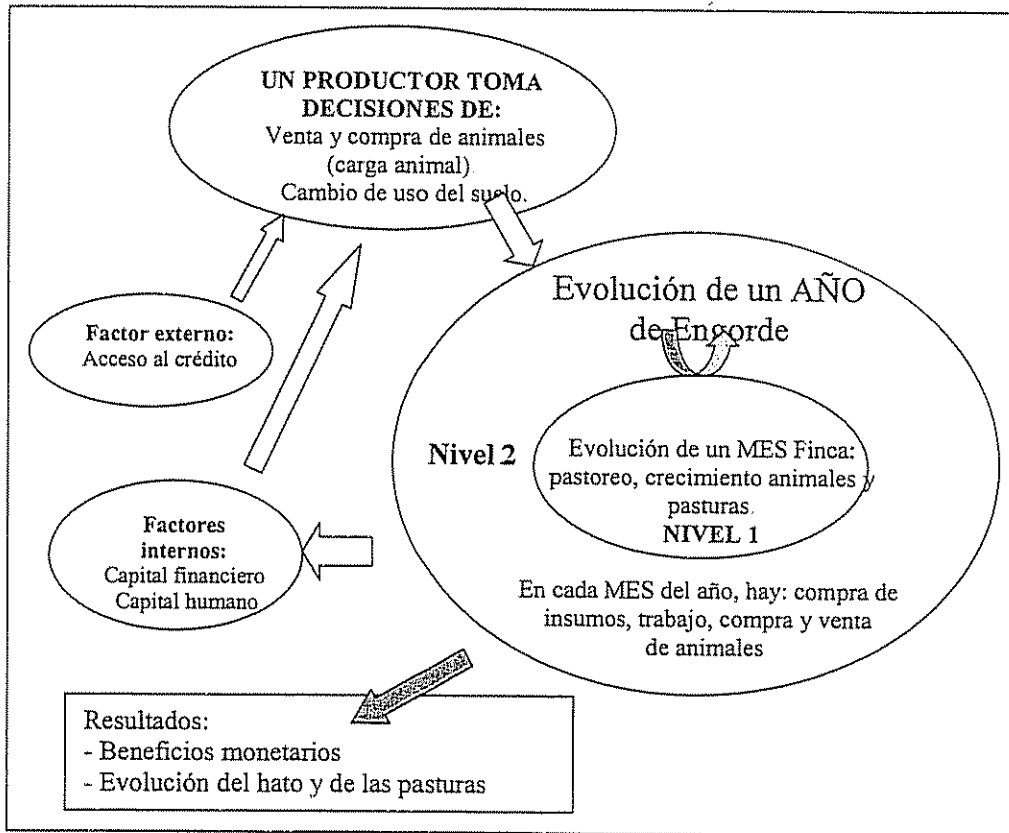


Figura 8. Representación del componente socioeconómico

El sistema ganadero que se escogió es el sistema de engorde porque es el sistema que tiene menos complejidades para simular respecto a los sistemas lechero o de doble propósito y porque se asume que los patrones de cambio de uso del suelo serán similares para otros sistemas.

Los animales y la materia seca de las pasturas interactúan. El crecimiento de los animales depende del consumo de la pastura, y el crecimiento de la pastura depende de su estado y su pastoreo. Para poder establecer las relaciones que existen entre pasturas y animales, se utilizaron las ecuaciones de Becker *et al* (1984). Las ecuaciones utilizan el promedio mensual del crecimiento de las pasturas, la materia seca disponible, la época del año, la digestibilidad de la materia seca, el peso de los animales, entre

otros. Una parte del consumo animal sirve para mantenimiento y otra para incremento del peso. Al final el crecimiento de los animales dependerá de numerosas variables, de las cuales, la calidad de la pastura y la carga animal son las más importantes.

Las interacciones entre el sistema socioeconómico y el sistema biofísico contemplan las decisiones del productor que modifican el sistema biofísico (vender animales, comprar otros, cambiar de uso del suelo), los flujos de caja que dependen del estado del sistema biofísico (compra y venta de animales, costos de mantenimiento para cada uso del suelo, costo por animal, costo de cambio de uso del suelo) y el trabajo invertido por la familia o empleado que depende del estado del sistema biofísico (trabajo para cambio de uso, trabajo para cada tipo de uso, trabajo para el hato).

Dentro del sistema socioeconómico, las interacciones se refieren principalmente al consumo de la familia (un % de las ganancias de la finca se destinan al consumo de la familia). La familia puede tener acceso al crédito. Si no tiene acceso, la familia tiene una restricción fuerte sobre la inversión. La tasa de interés del crédito se utiliza como una multa cuando el saldo bancario del productor es negativo, es decir recibe un castigo. La familia puede contratar mano de obra externa si no alcanza su mano de obra familiar para el trabajo de la finca. Esta posibilidad depende del capital financiero y/o acceso al crédito.

4.2. Implementación del modelo

Se supone definida una finca con un plan de cambio de uso del suelo para los 6 siguientes años. Se busca calcular la ganancia total de esta finca después de 6 años (ver Figura 9).

La evolución del sistema después de los 6 años sigue las siguientes etapas (ver Anexo 10):

- Inicialización del contexto. Se definen todas las variables contextuales: precios, acceso al crédito, costos de insumos, reglas de manejo de las fincas como peso de venta o de compra de los animales, producción de materia seca de las pasturas y los árboles, digestibilidad del pasto, insumos y jornales necesarios para cada uso del suelo o cada cambio de uso del suelo, parámetros del sistema de PSA como puntos de cada uso, valor del punto, esquema de pago por servicios ambientales al que pertenece el productor: 2 años o 4 años
- Inicialización del sistema socioeconómico: la finca recibe una cantidad inicial de dinero en efectivo, las características de la familia son definidas (mano de obra familiar, consumo y voluntad de emplear mano de obra)

- Inicialización del sistema biofísico: se define una finca "tipo" con las áreas de cada tipo de uso del suelo (PN, PM, PNB, PMB, PNA y PMA) y se define el hato (un número definido de animales cuyos pesos se distribuyen regularmente entre un peso mínimo y peso máximo).
- Para cada año:
 - Se reciben los ingresos por venta de Servicios ambientales (el primer año recibe pago por línea base y luego por cambio de uso durante 2 o 4 años).
 - Se pagan los insumos y se invierte mano de obra para el mantenimiento del hato al inicio de año. Si la familia no tiene suficiente mano de obra, tiene que pagar jornales. Si no se pueden pagar los costos (si no hay capital y no hay acceso al crédito), el crecimiento de los animales será más bajo.
 - Se pagan los insumos y se invierte mano de obra para el mantenimiento de las pasturas al inicio de año. Si la familia no tiene suficiente mano de obra, tiene que pagar jornales. Si no se pueden pagar los costos (si no hay capital y no hay acceso al crédito), el crecimiento de las pasturas será más bajo.
 - Se pagan los insumos y se invierte mano de obra para los cambios de uso del suelo previstos para el año corriente.
- Luego la finca evoluciona mensualmente. Para cada mes:
 - Los animales consumen pasto y crecen. Las pasturas disminuyen su materia seca por consumo y la aumentan por crecimiento. Se considera la temporada (verano o invierno). En época de verano existe una disponibilidad de materia seca por concepto de frutos en los usos del suelo con árboles. Dado que las ecuaciones de Becker (ver Anexo 3) se refieren a un paso de tiempo diario tanto para los animales como para las pasturas, se calculan los crecimientos o consumos diarios utilizando los valores de materia seca o de peso de los animales del principio del mes. Luego se ajustan: por ejemplo, el crecimiento diario del pasto se multiplica por 30. El consumo de los animales se multiplica por el número de días que se quedan los animales en la parcela (los animales se quedan en cada parcela durante un tiempo proporcional a la disponibilidad de materia seca de la parcela).
 - Un animal puede morir. Si la finca está en una situación de sobre carga animal, los animales no crecen y pueden bajar de peso hasta morir. Generalmente, un equilibrio se encuentra cuando unos animales se han muerto y la carga animal ha bajado.
 - El productor toma decisiones de venta/compra. Cuando un animal alcanza el peso al cual se debe vender, está reemplazado por un nuevo animal. Los pesos de compra y

de venta están definidos en el contexto (como reglas de gestión), por ejemplo 200 kg y 350 kg. El saldo financiero de la finca cambia con las ventas y las compras

- Al final del año, un porcentaje (50%) del capital financiero de la finca va para el consumo de la familia.

Después de 6 años, se calcula un indicador ganancia neta del sistema, que caracteriza el éxito de la finca. Se define este indicador como la suma: cambio en el saldo financiero + cambio en el valor del hato + consumo acumulado de la familia. Cabe mencionar que no se utiliza una tasa de descuento

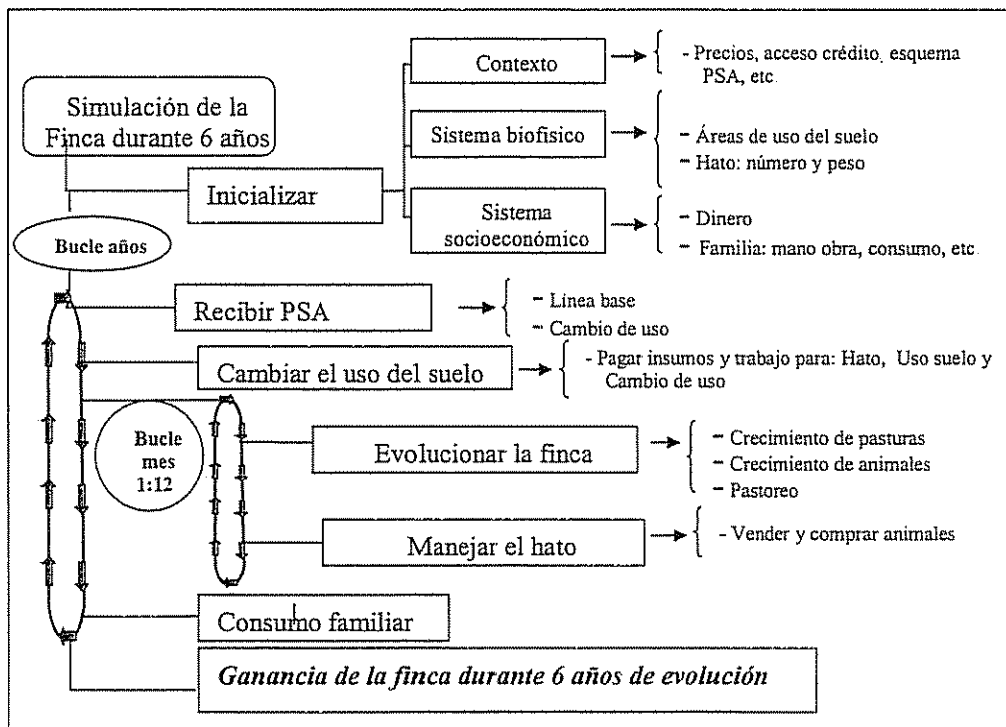


Figura 9. Implementación del modelo en MatLab™

Simulación y optimización con MatLab™

La implementación del esquema presentado anteriormente (programación de las rutinas de cálculo) se lo realizó en el software MatLab™. Este software integra análisis numérico, cálculo matricial y su proceso de visualización gráfica, además dispone del Toolbox de optimización con funciones incorporadas conectadas programa principal (MathWorks, 2004).

La optimización supone que los productores buscan maximizar sus ingresos y que conocen las consecuencias de cada decisión. Por ejemplo, pueden calcular los ingresos y beneficios de la finca en

los próximos años tomando en cuenta un cambio actual, por ejemplo de pastura natural a pastura mejorada. Este supuesto de racionalidad perfecta (“full-rationality” Van Den Bergh *et al.*, 2000) es muy fuerte. Sin embargo, los cambios de uso del suelo que muestra el modelo se pueden analizar como tendencias: aunque el productor no hace tantos cambios como lo prevé el modelo, se considera que la dirección del cambio será la misma. Por ejemplo, si el modelo muestra que un productor cambia toda la finca en pastura mejorada e introduce una baja densidad de árboles en una parte de la finca, se puede concluir que el cambio dominante será un cambio de pastura y no de árboles. Además, la optimización es útil para ver el papel de factores externos (ej. precios) o internos (ej. tamaño de la finca) como catalizadores o frenos al efecto del PSA.

Una vez programado con MatLab™ el esquema presentado anteriormente, se dispone de una función que calcula el desempeño de una finca dependiendo de los cambios de uso del suelo:

Ganancia de la finca durante 6 años de evolución = f (cambios de uso del suelo durante los 6 años)

El proceso de optimización de la función f busca la combinación de cambios de uso del suelo que permite tener un mejor desempeño. Las variables de decisión son las áreas anuales de 7 posibles cambios de uso del suelo (ver Figura 10). Si la simulación considera 6 años de evolución de la finca y que los cambios pueden ser diferentes para cada año, son 42 variables que la optimización necesita manejar. Ya que los algoritmos de optimización suelen tener problemas con un número tan alto de variables, se decidió asumir que los cambios son iguales para todos los años. Eso permite reducir a 7 el número de variables.

Se escogió 6 años porque: el primer año se realiza el pago por línea base, los siguientes cuatro años se hacen pagos por cambio de uso del suelo. Los efectos del último pago (esquema de cuatro años) se muestran en el año seis. Finalmente porque es más rápido para la simulación.

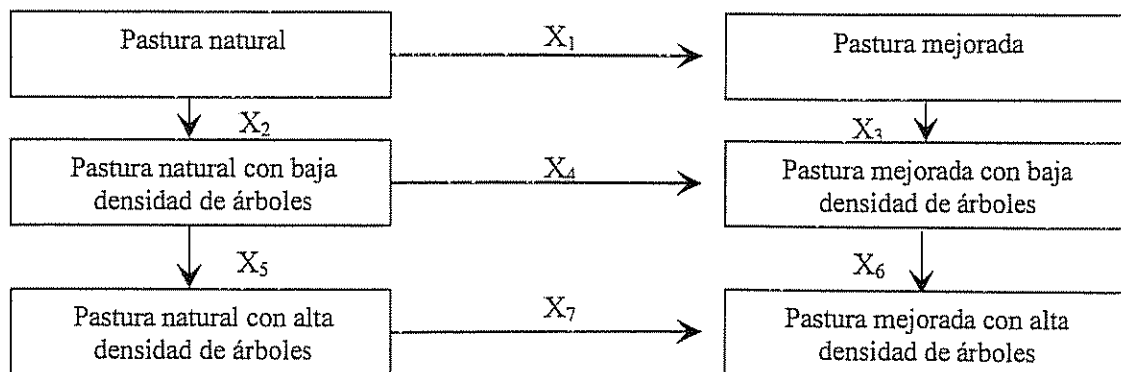


Figura 10. Cambios de uso del suelo considerados en el modelo

Los resultados del proceso de optimización muestran el estado de la finca después de N. Se observan los cambios realizados que permiten maximizar la ganancia de la finca, los puntos PSA al final de los 6 años y la ganancia total (ver Figura 11).

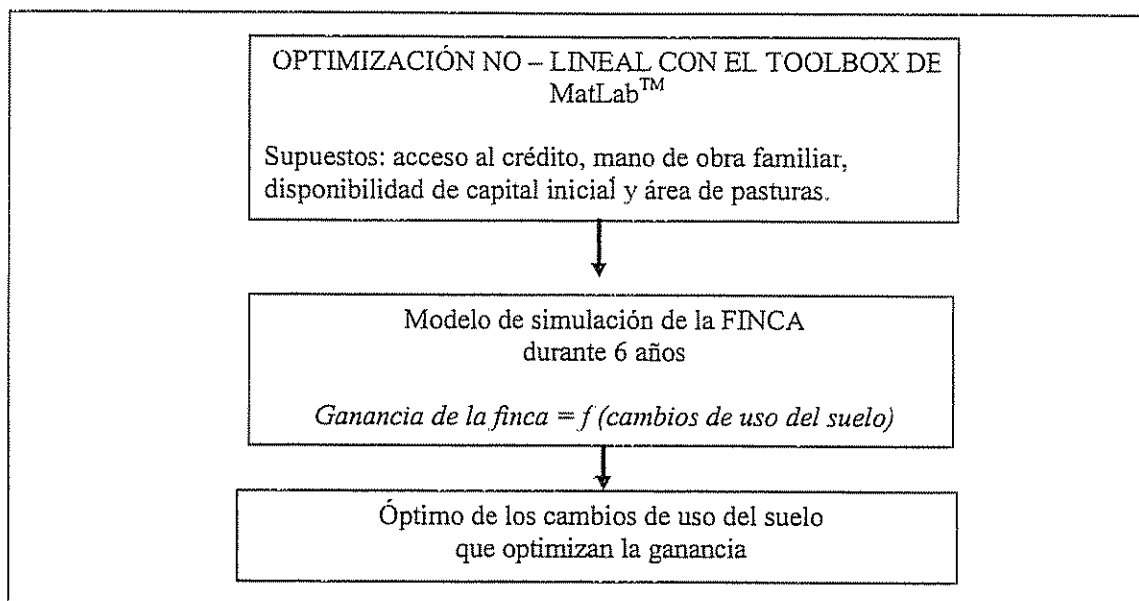


Figura 11. Esquema del proceso de optimización

Cabe aclarar que con el modelo no se puede trabajar en el cambio de uso del suelo después de finalizado el proyecto (6 años) porque se trata de optimizaciones las mismas que tienen problemas cuando se toma en cuenta demasiadas variables, razón por la cual, se realizó simplificaciones al modelo para trabajar con el mínimo de variables posibles.

Para la optimización se usó el Toolbox de optimización de MatLab™ que utiliza la función `fmincon` para encontrar una restricción mínima de una función de varias variables (MathWorks, 1990-2002).

4.3. Los tipos de fincas ganaderas para la modelación

Para determinar las fincas a modelar, en primer lugar se realizaron tipologías de usos del suelo en fincas ganaderas participantes del proyecto. Se trabajó con productores que manejan el sistema ganadero de engorde que participan en el proyecto GEF "Enfoques Silvopastoriles Integrados para el Manejo de Ecosistemas". Se realizaron 4 entrevistas semi-estructuradas a técnicos del proyecto GEF, 2 entrevistas a técnicos del Ministerio de Agricultura y Ganadería acerca de parámetros técnicos de ganadería y aspectos socioeconómicos de la zona, a 9 productores del proyecto sobre el manejo del sistema ganadero de engorde y percepciones acerca de adopción de pasturas mejoradas y sistemas agroforestales.

A principios del 2003 el proyecto GEF realizó una encuesta socioeconómica a 130 productores de la zona de Esparza, Costa Rica (CATIE, 2004a). Se tomaron las fincas que se benefician del PSA y se desarrolló un análisis de Cluster mediante el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System) donde las variables fueron Tamaño del Hato, Tamaño de la Finca y Capital Fijo.

Los usos del suelo de las fincas del proyecto hasta Julio del 2004 (CATIE, 2004 b) se obtuvieron de la base Sistemas de Información Geográfica (SIG). Con la información mencionada anteriormente y con las fincas que corresponden a cada grupo, se modelaron las siguientes tres tipos de fincas típicas: pequeñas, medianas y grandes.

Fincas pequeñas

Los productores de fincas pequeñas comprenden el 70%(70 productores) de los finqueros del proyecto GEF. El hato está compuesto de 16,26 unidades animales. La finca tipo tiene una superficie de 19,17 ha, la distribución de los usos del suelo se muestra en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Distribución de los usos del suelo de la finca pequeña

Fincas pequeñas	Área (ha)	Porcentaje
Bosque (plantaciones, bosque ripario, bosque secundario y tacotales)	5,90	30,8
Pastura degradada	0,94	4,9
Pastura sin árboles		
- Natural	0,19	0,9
- Mejorada	0,32	1,6
Pastura con baja densidad de árboles < 30/ha		
- Natural	3,25	16,9
- Mejorada	4,08	21,3
Pastura con alta densidad de árboles > 30/ ha		
- Natural	1,03	5,4
- Mejorada	2,59	13,5
Otros (infraestructura, caminos, etc.)	0,88	4,6
TOTAL	19,17	100,0

Fincas medianas

Los productores medianos comprenden el 22% (25 productores) de los finqueros del proyecto GEF. El hato está compuesto de 45,87 unidades animales. La finca tipo tiene una superficie de 56 ha, la distribución de los usos del suelo se en muestran en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Distribución de los usos del suelo de la finca mediana

Fincas medianas	Área (ha)	Porcentaje
Bosque (plantaciones, bosque ripario, bosque secundario y tacotal)	18,40	32,9
Pastura degradada	5,96	10,6
Pastura sin árboles		
- Natural	0,53	0,9
- Mejorada	0,34	0,6
Pastura con baja densidad de árboles < 30/ha		
- Natural	9,80	17,5
- Mejorada	10,68	19,1
Pastura con alta densidad de árboles > 30/ ha		
- Natural	4,33	7,7
- Mejorada	4,58	8,2
Otros (infraestructura, caminos, etc)	1,38	2,5
TOTAL	56,00	100,0

Fincas grandes

Los productores medianos comprenden el 8% (6 productores) de los finqueros del proyecto GEF. El hato está compuesto de 106,52 unidades animales. La finca tipo tiene una superficie de 130,35 ha, la distribución de los usos del suelo se muestra en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Distribución de los usos del suelo de la finca grande

Fincas Grandes	Área (ha)	Porcentaje
Bosque (plantaciones, bosque ripario, bosque secundario y tacotal):	29,07	28,9
Pastura degradada:	13,32	13,2
Pastura sin árboles:		
- Natural:	1,81	1,8
- Mejorada:	0,03	0,1
Pastura con baja densidad de árboles < 30/ha:		
- Natural:	7,30	7,3
- Mejorada:	34,08	33,9
Pastura con alta densidad de árboles > 30/ ha:		
- Natural:	1,34	1,3
- Mejorada:	12,01	11,9
Otros (infraestructura, caminos, etc)	1,68	1,7
TOTAL	100,65	100,0

Cálculo del hato típico

Determinado el uso del suelo de las diferentes fincas tipos se procedió a calcular el hato típico (ver Cuadro 5). Se utilizaron varios parámetros de carga animal de acuerdo a los distintos usos de suelo en

estudio. Dicha información se obtuvo de diferentes fuentes, tales como: expertos en el área, revisión de literatura y pláticas con los productores. La superficie de pasturas es la suma de pastura natural y mejorada que soportan diferentes cargas animales (ver Anexo 4).

Cuadro 5. Cálculo del hato típico para diferentes tamaños de fincas

Finca tipo	Superficie de pasturas (ha)	Total UA/ha	Número de terneros
Pequeña	11,44	9,18	15
Mediana	30,26	22,93	38
Grande	56,58	51,35	85

Otros parámetros

En el cuadro 6 se muestran los parámetros de capital financiero inicial y número de jornales considerados para las simulaciones

Cuadro 6. Capital financiero inicial y número de jornales considerados para la simulación

Finca tipo	Capital financiero inicial US\$	Superficie de pasturas (ha)	Capital financiero inicial por hectárea de pastura (US\$/ha)	Número de jornales familiares totales (jornal/año)	Número de jornales familiares totales (jornal/año/ha)
Pequeña	705	11,44	61,6	875	76,5
Mediana	2163	30,26	71,5	975	32,2
Grande	13081	56,58	231,2	1000	17,7

4.4. Datos del modelo

Para la modelación se consideraron seis usos del suelo: pastura natural y mejorada sin árboles, pastura natural y mejorada con baja densidad de árboles, pastura natural y mejorada con alta densidad de árboles. Se excluyen de la modelación la categoría bosque, pastura degradada y otros.

Costos de mantenimiento de pasturas

La pastura natural necesita 12 jornal/ha/año por mantenimiento distribuidos en chapeas, la primera chapea en meses secos y la segunda chapea antes del inicio de la temporada de invierno y para esparcir herbicida. El costo por insumos es 31,13 US\$/ha/año que corresponden a herbicida para el control de malezas que completan la limpieza de las chapeas. El costo total por mantenimiento es 117,8 US\$/ha/año (ver Anexo 5a). La pastura mejorada necesita un jornal/ha/año para esparcir herbicida. Para insumos se necesita 10,38 US\$/ha/año por herbicidas. El costo total 17,61 US\$/ha/año (ver Anexo 5b). Pastura natural y mejorada con baja y alta densidad de árboles 30/ha.

Los costos de mantenimiento son similares a la pastura sin árboles pues los productores generalmente no realizan mantenimiento

Costos de cambio de uso del suelo

El costo de cambio de una pastura natural a mejorada, sin cercado, es de 212,77 US\$/ha. El costo de cambiar, una pastura sin árboles a pastura con baja densidad de árboles cuesta 46,13 US\$/ha. El cambio de pastura de baja densidad de árboles a alta densidad de árboles cuesta 107,63 US\$/ha. Estos costos provienen de los insumos y jornales necesarios para el cambio de uso y se encuentran detallados en el Anexo 6. No se consideran costos de mantenimiento luego de establecidos los árboles.

Costos de mantenimiento de una unidad animal

Los jornales necesarios para el mantenimiento de una unidad animal son de 5,84 jornal/año (un jornal a medio tiempo maneja 50 animales diarios que es igual a 30 UA normalizados un factor de conversión de 1 animal = 0,6 UA), El costo por insumos es de 25,88 US\$/UA/año. El costo total de mantenimiento es de 68,10 US\$/UA/año (ver Anexo 7).

Características de las pasturas

La pastura natural que se utilizó fue *Hyparrhenia rufa*, especie de mayor frecuencia en la zona para este tipo de uso del suelo. La pastura tiene una capacidad de carga de 0,5 UA/ha/año las características de la pastura se muestran en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Características de la pastura *Hyparrhenia rufa*

Parámetro	Valor	Unidad	Fuente
Disponibilidad Inicial promedio de Materia Seca	1482	Kg MS/ha	CATIE, 2004c
Digestibilidad	41	%	Dentro del rango reportado por Holmann y Estrada, 1997
Crecimiento mensual			
- Verano	109	Kg. MS/mes/ha	50% de pastura mejorada
- Invierno	910	Kg. MS/mes/ha	50% de pastura mejorada

La pastura natural tiene alta demanda de mano de obra y herbicida respecto a la mejorada, ésta es susceptible al período de sequía y gran parte del año se encuentran en estado de latencia, este tipo de pastura permite la regeneración natural de gran cantidad de árboles y malezas. El productor debe invertir gran cantidad de dinero en su mantenimiento, es la razón para que la mayoría de los ganaderos pertenecientes al proyecto quieran cambiar a pasturas mejoradas

La pastura mejorada que se utilizó fue *Brachiaria brizantha*, especie de mayor utilización para este tipo de uso de suelo. Tiene una capacidad de carga de 1 UA/ha/año, las características de la pastura se muestran en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Características de la pastura *Brachiaria brizantha*

Parámetro	Valor	Unidad	Fuente
Disponibilidad Inicial promedio de Materia Seca	1409	Kg. MS/ha	CATIE, 2004 c3
Digestibilidad	54	%	Dentro del rango reportado por Holmann y Estrada, 1997
Crecimiento mensual			
- Verano	218	Kg. MS/mes/ha	Argel, 1994
- Invierno	1820	Kg. MS/mes/ha	Argel, 1994

La pastura mejorada una vez establecida y con manejo adecuado tiene un bajo costo de mantenimiento. Esta es una opción de uso de suelo muy atractiva para los productores. La pastura mejorada tiene mayor rendimiento y mayor resistencia a la sequía, una desventaja es la reducción de la regeneración secundaria de árboles y arbustos.

Para las pasturas natural y mejorada con baja densidad de árboles < 30/ha se consideran 15 árboles/ha que representan el 18% del área bajo sombra y donde el pasto crece a un 62% menos que a plena luz solar. Estos porcentajes y rendimiento de pasturas se derivan de la relación entre: cobertura arbórea y rendimiento de materia seca en pasturas, en la zona de Cañas, Costa Rica establecidas por Esquivel *et al.* (2004) Resulta que la producción de materia seca de la pastura con baja densidad es 93% (82% área * 100% MS + 18% área * 62% MS) de la producción de materia seca de la pastura sin árboles. La mitad de árboles son maderables y la otra mitad son árboles frutales que producen 5 kgMS/semana en verano, promedios conservadores tomados de Esquivel *et al.* (2004) quién evaluó rendimiento de frutos comestibles para el ganado bovino en época de verano.

Para las pasturas natural y mejorada con alta densidad de árboles > 30/ ha se consideran 50 árboles/ha que representan el 60% del área bajo sombra y donde el pasto crece el 62% menos que a plena luz solar. Resulta que la producción de materia seca de la pastura con baja densidad es 77% (40% área * 100% MS + 60% área * 62% MS) de la producción de materia seca de la pastura sin árboles. También se toma en cuenta la producción de materia seca de frutos provenientes de los árboles para pastura natural y mejorada de baja y alta densidad.

Calibración y verificación del modelo

En el proceso de elaboración del modelo final, existieron varias etapas de corrección de errores y ajuste de las salidas. Por ejemplo, el modelo utilizando fórmulas de Carileo *et al* (2003) sobrestima la ganancia diaria de peso de los animales para los reportados para la zona; razón por la cual se cambió por las ecuaciones de Becker *et al*. (1984).

La verificación fue la revisión de las entradas y las salidas con la finalidad de tener resultados lógicos. Se buscaron errores en las formulaciones matemáticas falsas o incompletas y se probó la coherencia del comportamiento del modelo. Por ejemplo se cambiaron frecuentemente las entradas (precios de carne, insumos, etc.) y se observó el cambio en la decisión del productor.

Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad se realizó con la simulación de base sin PSA. Se aplicó un rango de variación entre + 10% y - 10% en los siguientes parámetros: materia seca inicial, parámetro, ecuación ajuste crecimiento, digestibilidad, crecimiento de las pasturas, número de jornales para mantenimiento del hato, número de jornales para mantenimiento de los usos del suelo, y número de jornales para cambio de uso del suelo.

4.5. El plan de simulación

Para determinar el efecto de factores externos, internos y de pago por servicios ambientales en el uso del suelo, la finca mediana sirvió de simulación de base donde se calcularon los cambios de uso del suelo: sin y con PSA con esquema de 2 y 4 años (ver Cuadro 9)

Cuadro 9. Factores externos, internos y PSA evaluados en la finca mediana (Simulación base)

Factores Externos	Valor	Unidad
Jornales familiares (3,9 jornales*250días)	975,00	Jornales/anuales
Hato (22,93 unidades animales)	38,00	animal
Uso del Suelo		
- Pastura natural	0,53	ha
- Pastura mejorada	0,34	ha
- Pastura natural con baja densidad de árboles	9,80	ha
- Pastura mejorada con baja densidad de árboles	10,68	ha
- Pastura natural con alta densidad de árboles	4,33	ha
- Pastura mejorada con alta densidad de árboles	4,58	ha
Precio del kilo de carne	0,93	US\$
Acceso al crédito (valor alto significa falta de acceso)	1000,00	Porcentaje
Costo del jornal	7,23	US\$
Costo insumo para el mantenimiento de pastura		

- Pastura natural	31,10	US\$
- Pastura mejorada	10,40	US\$
- Pastura natural con baja densidad de árboles	31,10	US\$
- Pastura mejorada con baja densidad de árboles	10,40	US\$
- Pastura natural con alta densidad de árboles	31,10	US\$
- Pastura mejorada con alta densidad de árboles	10,40	US\$
Costo insumo para cambio de uso del suelo		
Pastura natural a pastura mejorada	- 140	US\$
Sin árboles a alta densidad de árboles	2,60	US\$
Baja densidad a alta densidad	6,10	US\$
Factores Internos		
Disponibilidad de capital (Margen bruto)	2163,00	US\$
Consumo familiar	50,00	Porcentaje
Factor PSA		
Línea base	10,00	US\$/punto
Esquema dos años	110,00	US\$/punto
Esquema cuatro años	72,00	US\$/punto

Posteriormente se simularon varios rangos de factores externos, internos y de PSA bajo los dos esquemas de PSA (ver Cuadro 10).

Cuadro 10. Plan de simulación para determinar el efecto de los factores externos, internos y PSA (esquema de 2 años y esquema de 4 años) sobre el comportamiento ambiental de la finca.

Factores	Rangos de evaluación
Externos	
Precio de la carne	+5%, +10%, +20%, +30%, +40%
	-5%, -10%, -20%
Acceso al crédito (valor alto significa falta de acceso)	0%, 5%, 10% y sin crédito
Costo del jornal	+ 100%
	Sin costo
Costo insumo para el mantenimiento de pastura	+10%, +20%, +30%, +40%, +50%, +100%
	Sin costo, -50%
Costo insumo para cambio de uso del suelo	+25%, +50%, +100%
	Sin costo, -75%, -50%, -25%
Internos	
Disponibilidad de capital	- 50%, -25%
	+25%, +50%, 75%, 100%
Consumo familiar	25%
	75%
Estado inicial del uso del suelo de la finca	Mayor Puntaje PN: 0,03, PM: 0,04, PNB: 1,8, PMB: 10,68, PNA: 8,63, PMA: 9,08)
	Menor Puntaje PN: 1,03, PM: 0,64, PNB: 17,8, PMB: 10,68, PNA: 0,03, PMA: 0,08
Tamaño de la finca	Pequeña, mediana y grande
PSA	
Valor del punto de línea base y por cambio de uso para finca pequeña, mediana y grande	1,5 - 2,5 - 2 - 3 - 4 y veces

Los montos considerados para medir el efecto del aumento del PSA por línea base y por cambio de uso del suelo se muestran en el cuadro 13

Cuadro 11. Aumento del pago por servicios ambientales

Aumento del PSA	Montos (US\$ / punto)		
	Línea base	Esquema 1	Esquema 2
Pago actual	10	75,0	110,0
1.5 veces	15	112,5	165,0
2 veces	20	150,0	220,0
2.5 veces	25	187,5	275,0
3 veces	30	225,0	330,0
4 veces	40	300,0	440,0
5 veces	50	375,0	550,0

Análisis de resultados

Se escogió un indicador ambiental con la finalidad de interpretar los resultados de los efectos de los factores externos e internos a la finca y del PSA.

El indicador ambiental señala el comportamiento ambiental de la finca en el período simulado (seis años) mediante el análisis de los puntos ganados por venta de servicios ambientales (puntos/año). El indicador es el aumento anual del puntaje de servicios ambientales que es sinónimo de cambio de uso del suelo. Se compara este indicador entre las simulaciones de las fincas Con y sin PSA; bajo varios factores externos/interiores.

$$\frac{\text{Puntos Finales} - \text{Puntos Iniciales}}{6 \text{ años de Simulación}}$$

5. Resultados

5.1. Calibración y sensibilidad del modelo

En la calibración del modelo se elaboraron diferentes curvas con la finalidad de determinar si las salidas eran lógicas a nivel mensual y anual:

- Curva de crecimientos de pasturas sin animales en pasturas mejorada y natural, inicializando en dos épocas del año en verano e invierno (ver Figura 12).
- Curva de ganancia de peso diario de un animal durante 1 año:
 - para los dos tipos de pastura: natural y mejorada (ver Figura 13)
 - para el peso acumulado en dos tipos de pastura (ver Figura 14).
 - para tres valores de carga animal: alta, media, baja (ver Figura 15).
- Curva de relación entre ganancia por animal y por hectárea en función de la carga animal (curva de Jones y Sandland en Peterson *et al.* 1965) Ver Figuras 16 y 17.

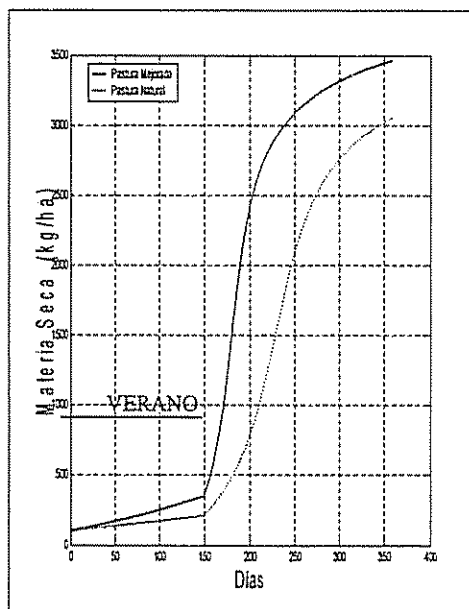


Figura 12. Crecimiento de pasturas sin animales

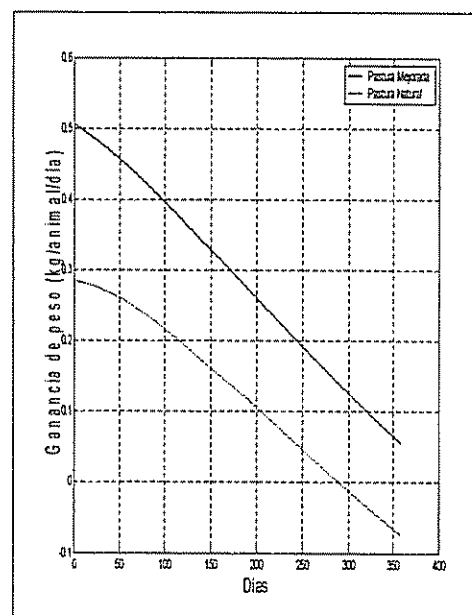


Figura 13. Influencia del tipo de pasturas sobre la ganancia de peso en carga alta

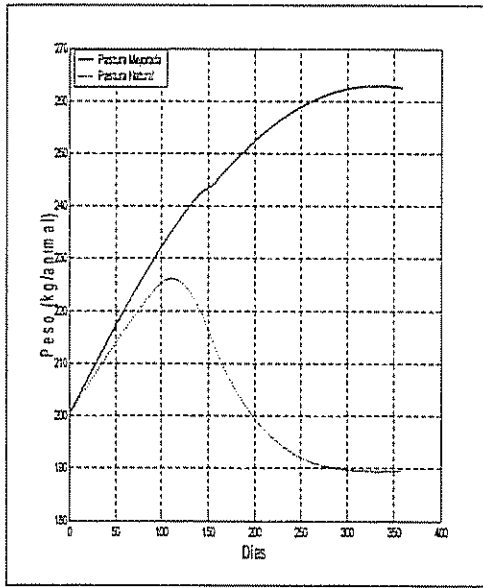


Figura 14. Influencia del tipo de pasturas sobre el peso

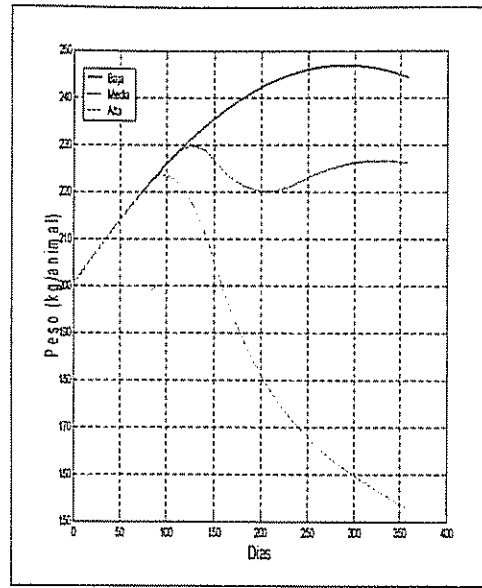


Figura 15. Influencia de la carga animal sobre el incremento de peso en pastura natural

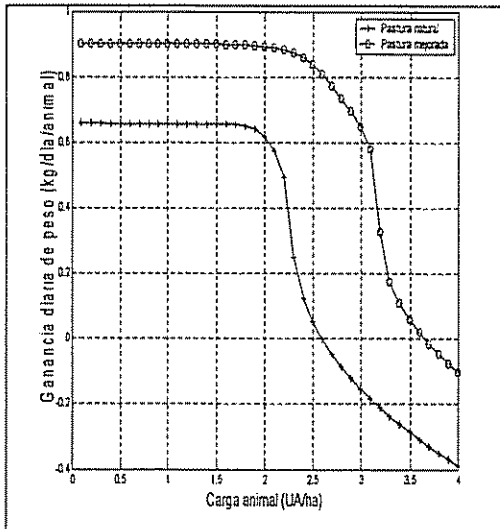


Figura 16. Curva de relación entre ganancia por animal en función de la carga animal (curva de Jones y Sandland en Peterson *et al.*, 1965)

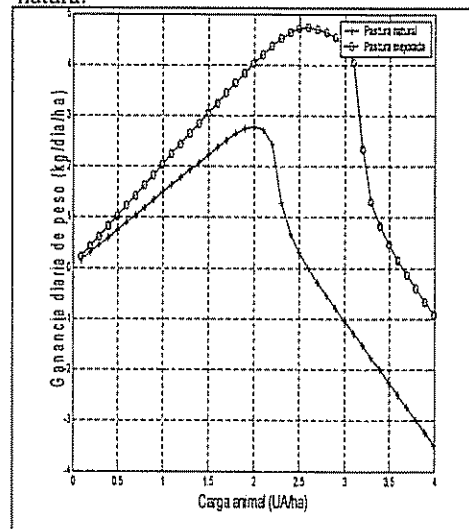


Figura 17. Curva de relación entre ganancia por hectárea en función de la carga animal (curva de Jones y Sandland en Peterson *et al.*, 1965)

Análisis de sensibilidad

Los resultados del análisis de sensibilidad muestran que el modelo es muy sensible a dos parámetros: la digestibilidad de las pasturas (componente biofísico) y el peso de venta de los animales (componente socioeconómico). Para los 2 parámetros con una variación de +10% se tiene cambios de uso del suelo y con - 10% no se realizan cambios, pero el productor tiene pérdidas respecto a la línea base (ver Cuadro 11). Esto demuestra que se debe conocer muy bien el parámetro de la digestibilidad y peso de venta. También eso muestra que sería interesante tener un componente socioeconómico más desarrollado que corresponda más a la realidad de cómo los productores toman decisiones de compra y venta de animales. En el modelo los productores actúan con reglas muy simples. Los resultados de los demás parámetros del análisis de sensibilidad se muestran en el Anexo 8.

Cuadro 12. Análisis de sensibilidad sobre la digestibilidad de las pasturas

Parámetro	Ganancia en 6 años (US\$)	Usos del suelo a los 6 años (ha)						Puntos
		PN	PM	PNB	PMB	PNA	PMA	
Línea base sin PSA	11186,53	0,53	0,34	9,8	10,68	4,33	4,58	23,92
Digestibilidad								
+ 10%	33107,02	0	0,87	0	20,48	0	8,91	26,35
- 10%	Pérdidas	0,53	0,34	9,8	10,68	4,33	4,58	23,92
Peso de venta de los animales								
+ 10%	14975,63	0	0,87	0	20,48	0	8,91	26,35
- 10%	Pérdidas	0,53	0,34	9,8	10,68	4,33	4,58	23,92

5.2. Efecto del PSA sobre la finca mediana

Existe un efecto del PSA sobre el aumento del puntaje de la finca (cambio de uso del suelo) similar en los dos esquemas de pago. Sin PSA no hay cambio de uso del suelo (ver Figura 18). En el Cuadro 12 se presenta el puntaje inicial de la finca mediana y el efecto del PSA.

Cuadro 13. Cambio de uso del suelo y puntaje en la simulación base

Efecto	Ganancia Total (US\$)	Usos del suelo (ha)						Puntos acumulados (6 años)
		PN	PM	PNB	PMB	PNA	PMA	
Situación inicial		0,5	0,3	9,8	10,7	4,3	4,6	23,92
Sin PSA	11186,5	0,5	0,3	9,8	10,7	4,3	4,6	23,92
Esquema 2	14864,1	0	0,9	0	20,5	0	8,9	26,35
Esquema 4	14891,7	0	0,9	0	20,5	0	8,9	26,35

El aumento del puntaje proviene de los cambios de uso del suelo de pastura natural a pastura mejorada de 2,4 ha/año. Este es un promedio de los cambios de pastura natural (con y sin árboles) a pastura mejorada (con y sin árboles), donde el mayor cambio se da de PNB a PMB esto coincide con los cambios de pastura entre 2003 y 2004 reportados por el proyecto GEF. No hay aumento de la densidad de árboles en las fincas.

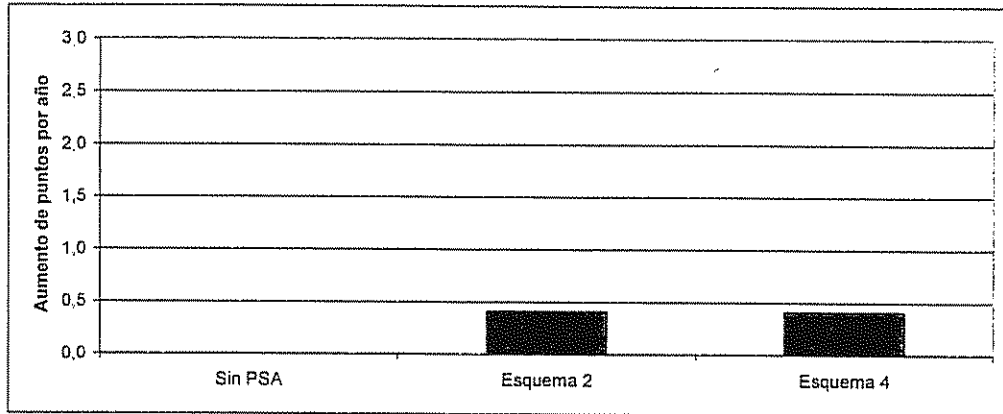


Figura 18. Efecto del pago por servicios ambientales

5.3. Influencia de los factores externos a las fincas

Precio de la carne

Un incremento del 10% en el precio actual de la carne estimula el cambio de uso del suelo. En este contexto, los cambios son similares con o sin PSA (aumento del puntaje de 0,4 puntos/año): no se necesita pagar por servicios ambientales para inducir un cambio de uso del suelo (ver figura 19). El aumento del puntaje proviene de los cambios de uso del suelo de pastura natural a pastura mejorada de 2,4 ha/año. Cuando existe una reducción del 10% en el precio de la carne no hay aumento de puntaje, es decir no hay cambio de uso del suelo, salvo con el PSA de 2 años donde hay un cambio muy pequeño.

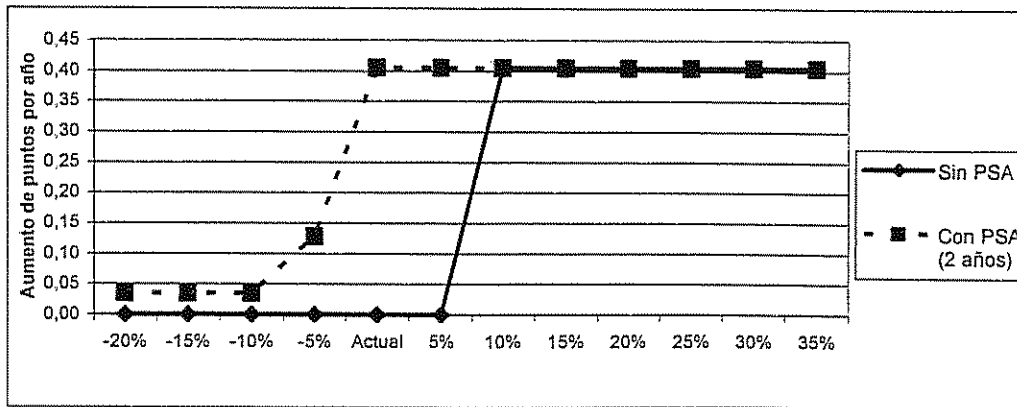


Figura 19. Influencia del precio de la carne sobre los cambios de uso del suelo con y sin PSA

Acceso al crédito

En la simulación de base, no hubo acceso al crédito y el PSA fue necesario para inducir cambios de uso del suelo. Cuando hay acceso al crédito (con una tasa del 0%, 5% y 10%), se hacen cambios de uso del suelo con o sin PSA (ver Figura 20). El aumento del puntaje proviene de los cambios de uso del suelo de pastura natural a pastura mejorada de 2,4 ha/año similar a la simulación base.

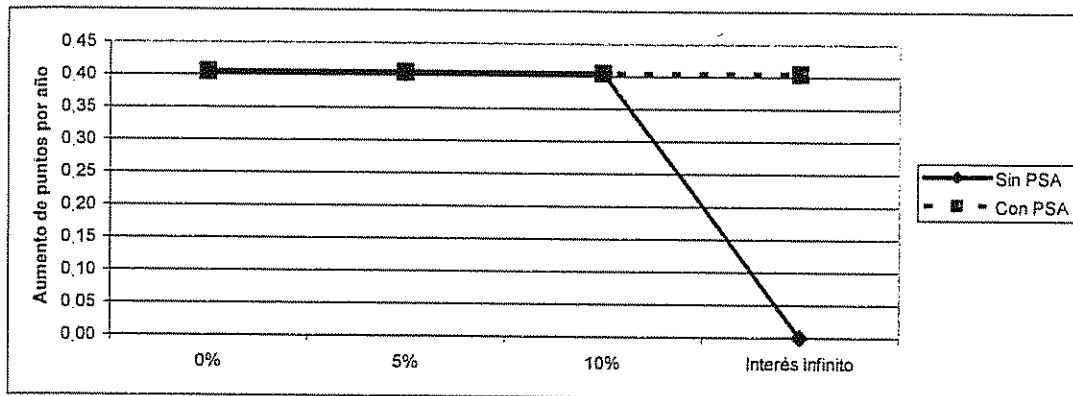


Figura 20 Influencia del acceso al crédito a varias tasas de interés sobre los cambios de uso del suelo con y sin PSA.

Costo del jornal

Cuando el costo del jornal es nulo o se incrementa el mismo en un 100%, los cambios de uso del suelo quedan similares a los de la simulación base (ver Figura 21 y Figura 22)

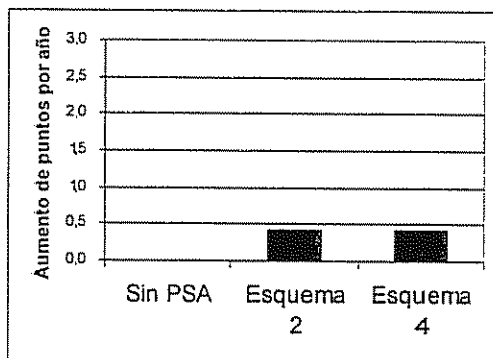


Figura 21. Influencia de no considerar costos de jornal sobre los cambios de uso del suelo con y sin PSA

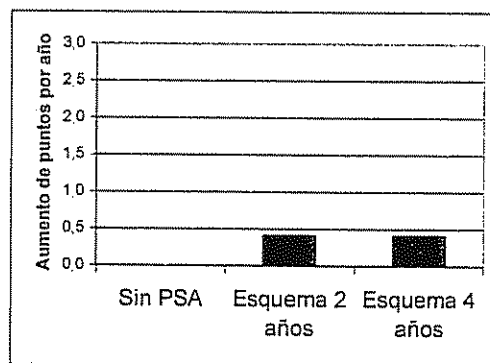


Figura 22. Influencia de aumento del costo del jornal en un 100% sobre los cambios de uso del suelo con y sin PSA

Costos de los insumos para el mantenimiento de pasturas

Cuando se consideran nulos los costos de los insumos para el mantenimiento de pasturas o una reducción en un 50% respecto a los costos actuales se hacen cambios de uso del suelo con y sin PSA (ver Figura 23). Con un incremento del 10% en el precio actual de los insumos hay cambio de uso del suelo solo bajo PSA. Cuando se incrementan los costos en un 40% el cambio de uso del suelo en los dos esquemas disminuye considerablemente (De 0,40 puntos/año a 0,04 puntos/año). Si se incrementan en un 100% los costos de los insumos se convierten en una barrera para el cambio de uso del suelo, el PSA juega un papel en facilitar (esquema 2) los cambios de uso del suelo

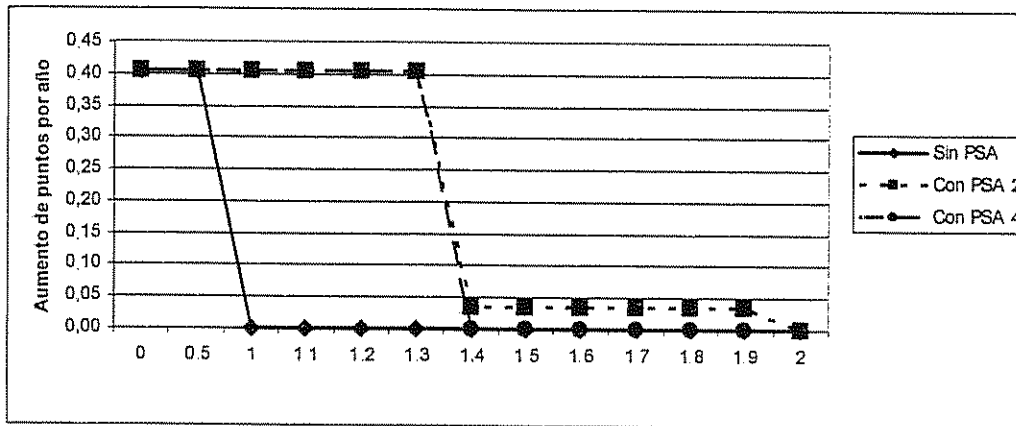


Figura 23. Influencia de los costos de los insumos para el mantenimiento de pasturas sobre los cambios de uso del suelo con y sin PSA

Costos de los insumos para el cambio de uso del suelo

Sin PSA, cuando los costos de los insumos para el cambio de uso del suelo se consideran nulos hay cambio de uso del suelo (2,6 puntos/año). El cambio de uso del suelo disminuye a 0,4 puntos/año cuando los costos se reducen en un 75%. Los costos actuales de los insumos constituyen una barrera para los cambios de uso del suelo (ver Figura 24).

Con PSA 2 años, cuando los costos de los insumos para el cambio de uso del suelo se consideran nulos hay cambio de uso del suelo (2,6 puntos/año). El cambio de uso del suelo disminuye a 0,4 puntos/año cuando los costos se reducen en un 50%. Con los costos actuales de los insumos y hasta un 25% de incremento, el PSA ayuda a superar la barrera para los cambios de uso del suelo.

Con PSA 4 años, cuando los costos de los insumos para el cambio de uso del suelo se consideran nulos hay cambio de uso del suelo (2,6 puntos/año). El cambio de uso del suelo disminuye a 0,4 puntos/año

cuando los costos se reducen en un 25%. Con los costos actuales de los insumos y hasta un 25% de incremento el PSA ayuda a superar la barrera para los cambios de uso del suelo.

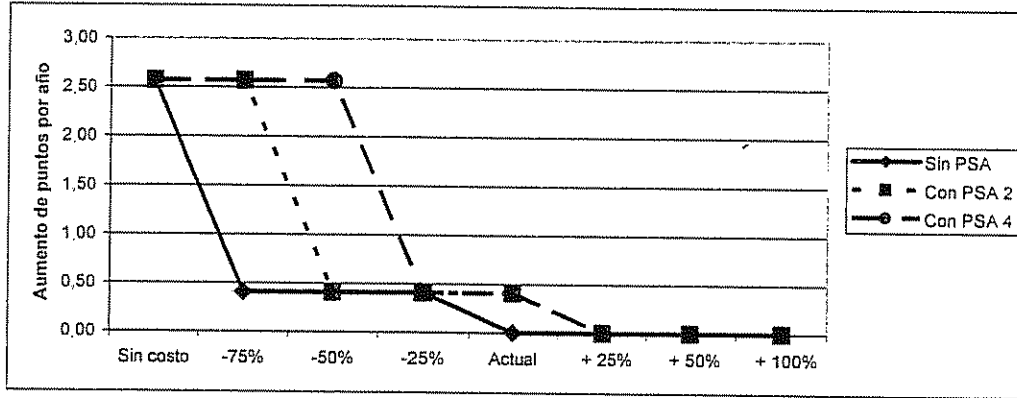


Figura 24. Influencia de los costos de los insumos para el cambio de uso del suelo sobre los cambios de uso del suelo con y sin PSA

5.4. Influencia de los factores internos a las fincas

Disponibilidad de capital inicial

Cuando la familia dispone menos del 25% del capital inicial considerado para este análisis, no se produce ningún cambio de uso del suelo, aún con PSA (ver Figura 24). Cuando se incrementa en un 50% la disponibilidad de capital inicial de la familia hay cambio de uso del suelo aún sin PSA (ver Figura 25).

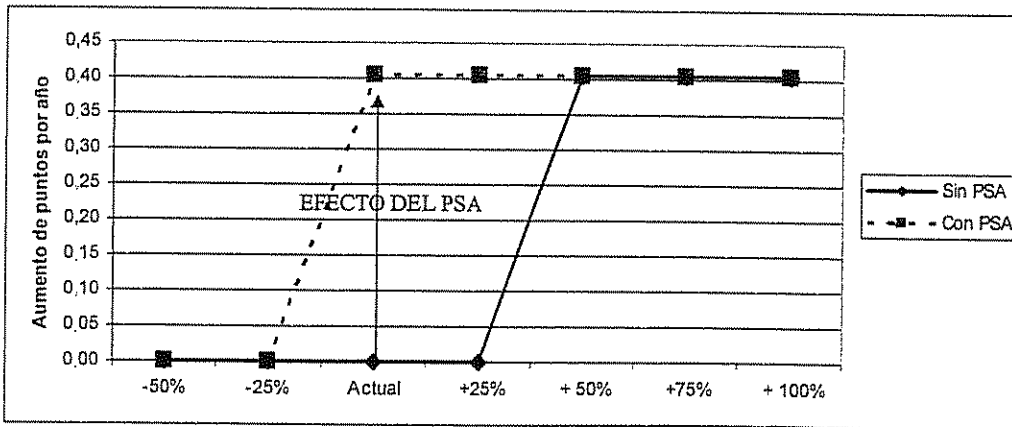


Figura 25. Influencia de la disponibilidad de capital inicial sobre los cambios de uso del suelo con y sin PSA

Consumo familiar

El porcentaje de los ingresos destinados para el consumo familiar en la simulación base (finca mediana) es del 50%. Con un porcentaje de ingresos destinados para el consumo familiar del 25% y 75%, el aumento del puntaje anual es similar a la simulación base. Es decir, un cambio con estos porcentajes no cambia el efecto del PSA (ver Figura 26 y Figura 27).

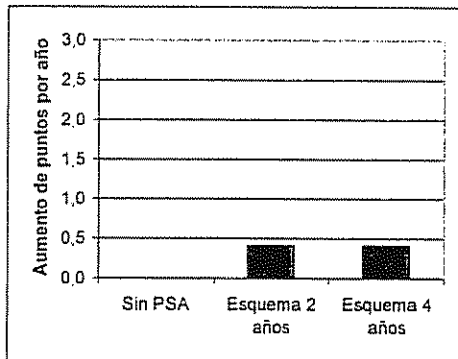


Figura 26. Influencia del 25% de los ingresos destinados para consumo familiar sobre los cambios de uso del suelo con y sin PSA

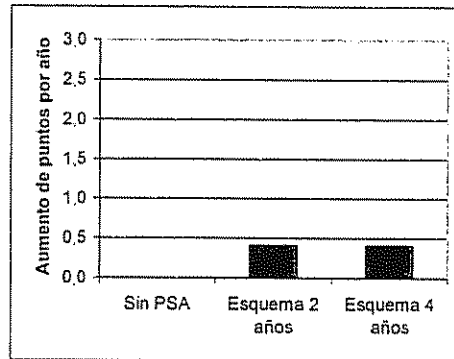


Figura 27. Influencia del 75% de los ingresos destinados para consumo familiar sobre los cambios de uso del suelo con y sin PSA

Estado inicial de uso del suelo de la finca

Una finca que inicia con usos del suelo más amigables con el ambiente (mayor puntaje inicial) tendrá un aumento del puntaje aún sin PSA. Existe un incremento mayor en el puntaje de la finca (1,3 puntos/año), es decir cambio de uso del suelo, en comparación con la simulación base con PSA (0,4 puntos/año) (ver Figura 28). Al contrario, si una finca empieza con una situación de menor puntaje, esta no aumenta el puntaje aunque se paguen servicios ambientales (ver Figura 29).

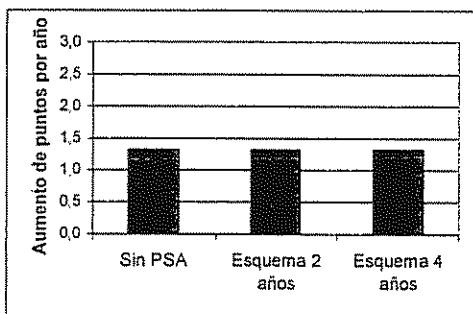


Figura 28. Influencia de la finca con mayor puntaje inicial sobre los cambios de uso del suelo con y sin PSA

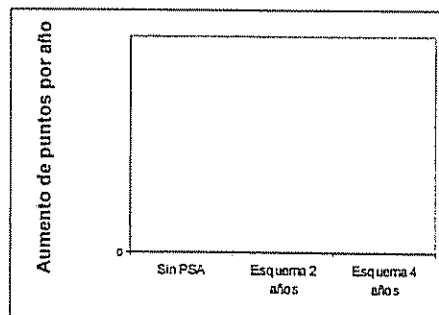


Figura 29. Influencia de una finca con menor puntaje inicial sobre los cambios de uso del suelo con y sin PSA

Tamaño de la finca

En la finca grande existe aumento de puntos con y sin PSA (0,28 puntos/año y 0,005 puntos/año/ha de pastura), se puede ver que no hay efecto de PSA. En la finca mediana hay un efecto del PSA con el aumento de puntos similar bajo los dos esquemas (0,405 puntos/año y 0,013 puntos/año/ha). Por el contrario, en la finca pequeña no hay cambios de uso del suelo aún con PSA (ver Figura 30) Respecto a cambios relativos (puntos/ha/año) se puede ver que las fincas medianas cambian más, seguidas por las grandes.

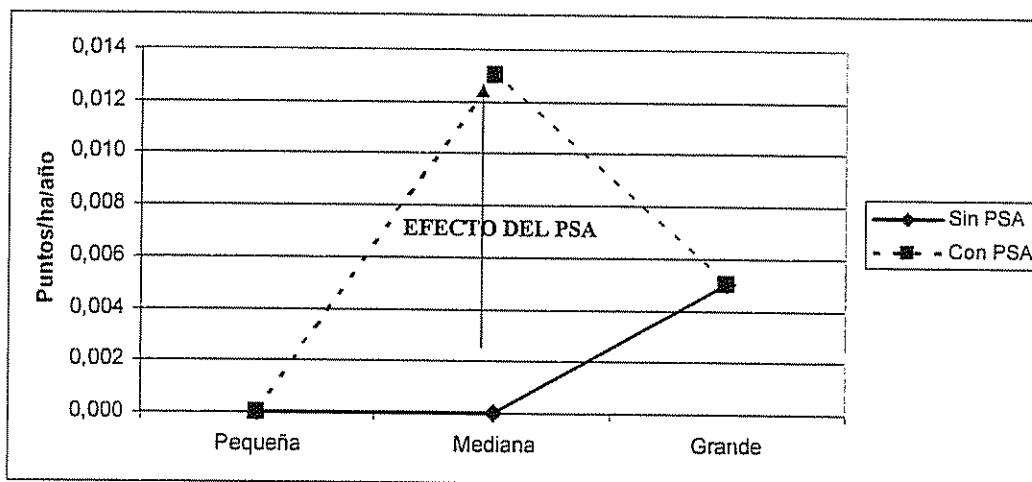


Figura 30. Efecto del PSA en el cambio de uso del suelo en diferentes tamaños de fincas

5.5. Efecto del aumento del pago por servicios ambientales

Finca pequeña

Con el monto actual del PSA no hay cambio de uso del suelo. Un aumento en 1,5 veces el PSA por línea base y por cambio de uso del suelo incentiva a cambios de uso del suelo (0,12 puntos/año). Cuando el pago aumenta en 2,5 veces para fincas con esquema de 4 años y 3 veces para fincas con esquema de 2 años se hace más cambios de uso del suelo (0,92 puntos/año). Los mayores cambios de uso del suelo se dan a pasturas con alta densidad de árboles (0,43 ha/año). No hay diferencias entre un pago de 3, 4 y 5 veces (ver Figura 31).

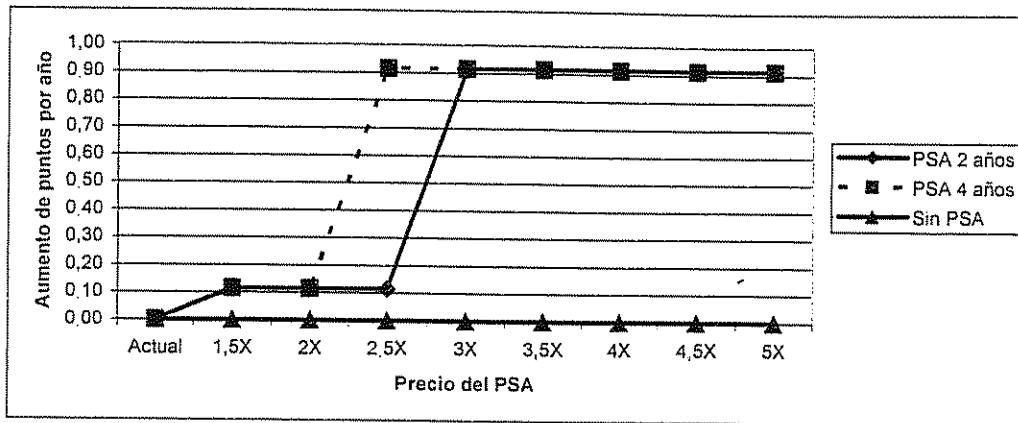


Figura 31. Efecto del aumento del PSA sobre los cambios de uso del suelo en la finca pequeña

Finca mediana

Con el monto actual hay cambio de uso del suelo (0,405 puntos/año). Un aumento en 2 veces del PSA por línea base y por cambio de uso del suelo no incentiva más los cambios de uso del suelo que en la simulación de base (ver Figura 32). Cuando el pago aumenta en 2,5 veces para fincas con esquema de 4 años y 3 veces para fincas con esquema de 2 años se hace más cambios de uso del suelo (2,57 puntos/año). Los mayores cambios de uso del suelo se dan a pasturas con alta densidad de árboles (3,6 ha/año). No hay diferencias entre un pago de 3, 4 y 5 veces.

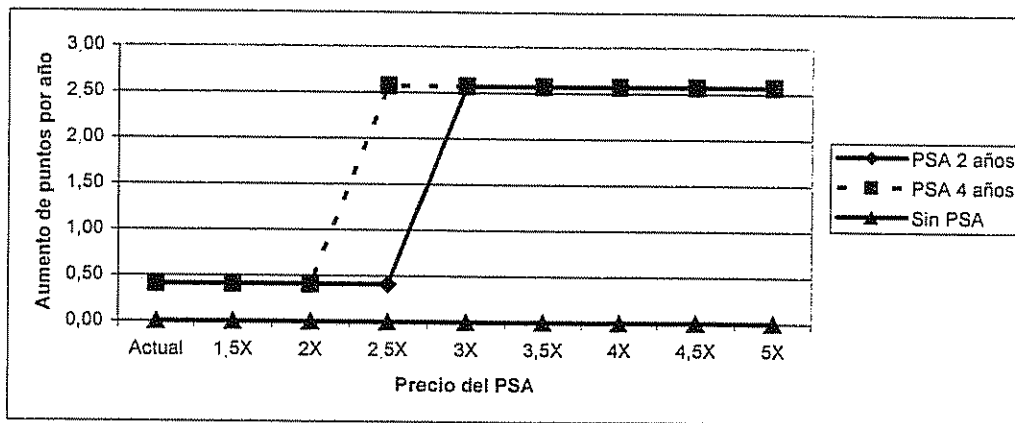


Figura 32 Efecto del aumento del PSA sobre los cambios de uso del suelo en la finca mediana

Finca grande

En las fincas grande existen cambios de uso del suelo aún sin PSA(0,28 puntos/año). Un aumento en 2 veces del PSA por línea base y por cambio de uso del suelo no incentiva más los cambios de uso del

suelo respecto a la simulación de base (ver Figura 33). Cuando el pago aumenta en 2,5 veces en fincas con esquema de 4 años y 3 veces para fincas con esquema de 2 años se hace más cambios de uso del suelo (4,66 puntos/año) es decir hay efecto del PSA. Los mayores cambios de uso del suelo se dan a pasturas con alta densidad de árboles (7,94 ha/año). No hay diferencias entre un pago de 3, 4 y 5 veces

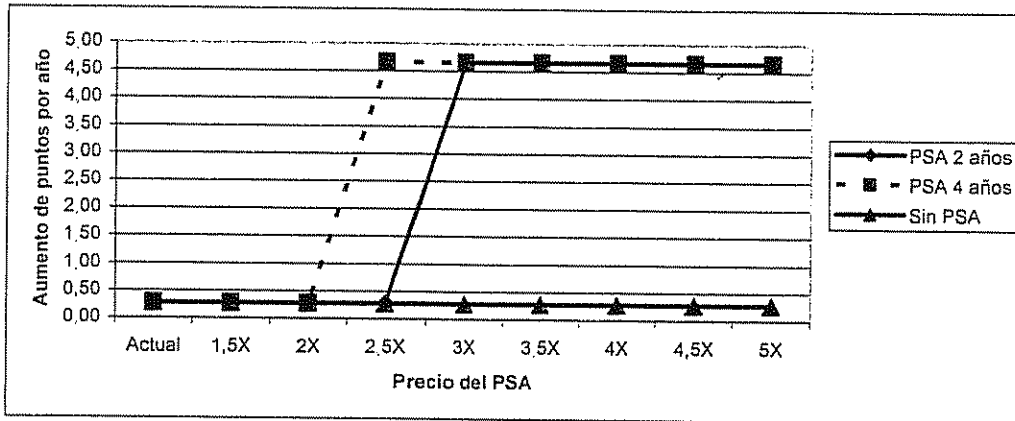


Figura 33. Efecto del aumento del PSA sobre los cambios de uso del suelo en la finca grande.

Oferta de servicios ambientales de las fincas participantes del proyecto GEF

En la figura 34 se muestra la oferta acumulada de servicios ambientales de las fincas participantes del proyecto GEF (57 fincas pequeñas, 44 fincas medianas y 4 fincas grandes) que reciben PSA. El esquema de 4 años presenta un incremento en la oferta de servicios ambientales cuando se aumenta el monto del PSA en 2,5 veces (ver Figura 34). El esquema de 2 años tiene un efecto similar al esquema de 4 años cuando se incrementa el monto del PSA en 3 veces

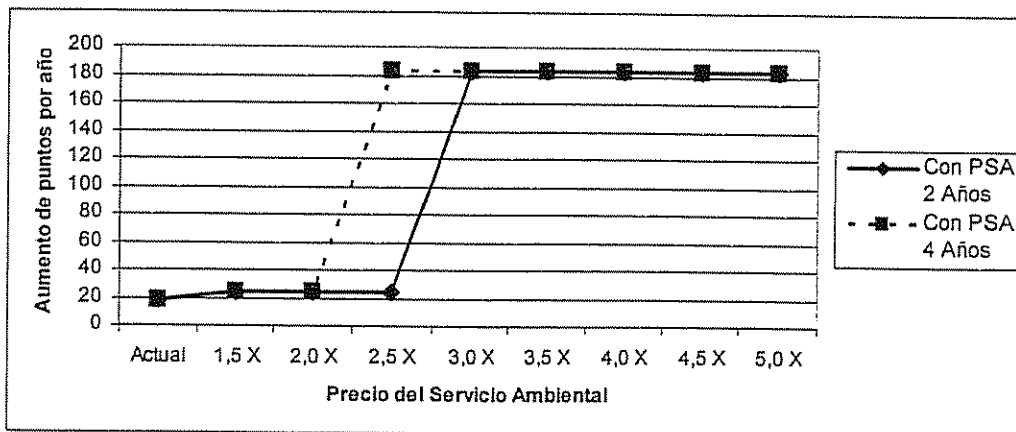


Figura 34. Curva de oferta de servicios ambientales para fincas pequeñas, medianas y grandes

6. Discusión

Efecto del PSA sobre la finca mediana

Las simulaciones en el comportamiento ambiental de la finca base muestran que existe un efecto positivo del PSA. El PSA contribuye a superar una de las grandes barreras identificadas que es la falta de capital para la conversión de fincas con sistemas tradicionales a silvopastoriles. El modelo simula cambios de uso de suelo en fincas con PSA de pasturas naturales (PN, PNB y PNA) a mejoradas (PM, PMB, PMA), y el mayor cambio se produce de PNB a PMB esto coincide con los cambios de pasturas reportados por el proyecto GEF entre 2003 y 2004. Se corrobora que el PSA tiene un efecto porque no se consideró el acceso al crédito en la simulación base.

Influencia de los factores externos a la finca

- Precio de la carne

El PSA tiene un efecto sobre el cambio de uso del suelo con el precio actual. Con un precio más alto (10% más al precio actual), la finca ya hace los cambios aún sin PSA. Para ver un cambio de uso del suelo más fuerte con PSA tal vez habría que pagar más porque en esta situación el PSA no es un incentivo significativo.

Con un precio más bajo (10% menos al precio actual), la finca esta en una situación de crisis y, aún con PSA, no tiene suficiente dinero para los cambios de uso del suelo. En este caso habría que pagar más para que el PSA tenga un impacto sobre el cambio de uso del suelo. En este sentido podemos decir que el valor actual del PSA está bien establecido para tener un impacto sobre las fincas en el contexto actual de precios, pero que con cambios de precios, el PSA no tendría más impacto.

Según Botero (1998) los precios actuales de la carne y los altos costos del establecimiento de las especies forestales son una limitante para la implementación de pasturas mejoradas y sistemas silvopastoriles en el trópico húmedo de Costa Rica. Los resultados de la simulación confirma esto, pues en la situación actual muestra que con precios de la carne más altos hay cambios de uso del suelo.

Kaimowitz (1996) señala que cuando los precios disminuyen se puede producir que: a) un productor no realice cambio de uso del suelo y se tenga menos carga animal, b) un productor en crisis puede intensificar su producción para compensar los precios bajos, c) un productor deja esta actividad porque no la considera rentable. La opción "c" no es posible porque la conceptualización del modelo hace que el productor permanezca en la actividad ganadera. En cuanto a la opción "b" no es posible porque el modelo no mejora las pasturas en una situación de crisis y no se puede incrementar el número de animales porque en el modelo no es una variable de decisión (permanece fijo). Con el modelo se puede

tener los resultados cercanos a la opción "a" pues en una situación de los precios bajos de la carne no realizan cambios de uso del suelo

- Acceso al crédito

Cuando se evalúa el efecto del acceso al crédito para el productor, se confirma que si no hay acceso a créditos, el PSA tiene un efecto en remover barreras de capital. Con tasas del 0%, 5% y 10% el efecto es similar con y sin PSA. Los productores de la zona son reuentes a realizar préstamos porque perciben que las tasas de interés son altas, razón por la cual el PSA en la actualidad tiene un papel de proveer de flujo efectivo de dinero para el pago de los insumos necesarios para el mantenimiento de los animales, de pasturas y cambio de uso del suelo

- Costo del jornal

El costo del jornal no ejerce ninguna influencia. Esta situación se explica porque existe suficiente mano de obra familiar disponible que no se paga para realizar las labores de mantenimiento de los animales, mantenimiento del uso del suelo y cambio de uso del suelo, por eso la influencia es similar a la simulación base. En el modelo se consideran que todos los jornales familiares se destinan para la actividad ganadera, en la realidad el productor puede asignar su mano de obra fuera de la finca o actividades complementarias

- Costos de insumos para el mantenimiento de pasturas

Con los costos actuales de los insumos se produce un efecto del PSA. El PSA mantiene su efecto (0,4 puntos/año) hasta cuando los costos de los insumos se incrementan un 30% respecto los costos actuales. Esto importante porque en la actualidad existe un incremento en el precio de la gasolina que influye en el alza de los costos de los insumos; al seguir esta tendencia el monto actual de PSA perdería su efecto

A partir del 40% hasta un 100% en el incremento de los costos de los insumos, respecto al precio actual, los resultados muestra que solo con PSA esquema de 2 años mantiene el efecto del cambio de uso del suelo aunque con un incremento mínimo (0,03 puntos/año). Una vez más se muestra que el PSA ayuda a superar la barrera financiera. Además existe una ventaja del esquema de 2 años frente a de 4 años bajo la influencia de este factor.

Con una reducción del 50% en los costos de los insumos para el mantenimiento de las pasturas, situación improbable se producen cambios de uso del suelo sin necesidad de PSA.

- Costos de insumos para el cambio de uso del suelo

El PSA pierde su efecto, en los dos esquemas, cuando aumenta los costos de los insumos por cambio de uso del suelo en un 25% respecto a los costos actuales, esto nos dice que este factor constituye la barrera más fuerte para lograr la conversión de fincas con sistemas tradicionales a sistemas SSP. La influencia del factor "costos de insumos para el cambio de uso del suelo" tiene implicancias en el sentido que la tendencia actual es hacia el aumento de los costos de los insumos y donde el PSA perdería su efecto a corto plazo. Por otra parte, el efecto es similar en los dos esquemas de PSA.

El modelo muestra que si se solventaran los costos de los insumos por cambio de uso del suelo en un 25% no sería necesario el PSA. Existe una diferencia entre los esquemas del PSA cuando se reducen los costos de los insumos pues con una reducción del 50% para PSA esquema 4 años y 75% para PSA esquema 2 años se tiene un aumento de 2,6 puntos/año alto en comparación con el efecto actual 0,4 puntos/año.

Influencia de los factores internos a la finca

- Disponibilidad de capital inicial

Con el monto actual de disponibilidad de capital inicial existe un efecto del PSA en el cambio de uso del suelo. Un efecto similar se logra sin PSA cuando se aumenta la disponibilidad de capital inicial en un 50% situación muy difícil de conseguir en la realidad. El PSA juega un papel importante en proveer flujo efectivo de dinero para realizar los pagos de insumos necesarios para mantenimiento de los animales y pasturas. En la práctica existe la posibilidad que el productor tome la decisión de reducir su efectivo destinado para la finca e invertirlo para otras actividades, situación en la cual el PSA perdería totalmente su efecto si se reduce un 25% al monto actual.

- Consumo familiar

En cuanto a los porcentajes de ingresos destinados para el consumo familiar, este factor no tiene influencia en el aumento del puntaje de la finca, es decir el PSA mantiene su efecto similar a la simulación base. Esto se debe a que existe suficiente disponibilidad de capital inicial, requerido anualmente, para el cambio de uso del suelo.

- Estado inicial de uso del suelo de la finca

El efecto es similar con y sin PSA para una finca que tiene un mayor puntaje inicial. El cambio de uso del suelo es fuerte aún sin PSA, la explicación es que una finca en buen estado los procesos biológicos ayudan al mejoramiento económico de la misma. Por lo tanto, estas fincas tienen menos restricciones financieras para cambiar de uso del suelo. Para una finca en mal estado los resultados de la simulación

muestra que el PSA no es suficiente para poder sacar a la finca de su mala situación financiera o promover cambios en el uso del suelo.

- Tamaño de finca

El efecto del PSA varía de acuerdo al tamaño de la finca. En fincas grandes, no hay efecto de PSA. El hecho de hacer cambios sin PSA se podría explicar porque tienen mayor capital inicial (231 US\$/ha grandes > 71US\$/ha medianas y 61US\$/ha pequeñas) para pagar insumos de cambios. En la finca mediana, el PSA contribuye a superar una de las grandes barreras identificadas que es la falta de capital para la conversión de fincas con sistemas tradicionales a silvopastoriles. En la finca pequeña no existe efecto de PSA. Sin embargo, el capital inicial es similar a la de la finca mediana (61 US\$/ha pequeña y 71 US\$/ha mediana), el puntaje inicial es similar (0,82 puntos/ha para pequeñas y 0,79 puntos/ha para medianas y 0,81 para grandes). Posiblemente el cambio se deba que los productores pequeños no se realicen cambios de uso del suelo, pues existe una concentración de pasturas mejoradas (61% del área) y de pasturas con alta densidad de árboles (31% del área), es decir tienen saturado su oferta de servicios ambientales (ver Cuadro 14). En cuanto a los productores medianos cambian porque tienen menos pastura mejorada.

Cuadro 14. Areas de uso del suelo en las tres fincas tipos

Tipo de cobertura	Area (%)		
	Pequeñas	Medianas	Grandes
Pastura natural (PN)	1,6	1,8	3,2
Pastura mejorada (PM)	2,8	1,1	0,1
Pastura natural con baja densidad de árboles (PNB)	28,4	32,4	12,9
Pastura mejorada con baja densidad de árboles (PMB)	35,6	35,3	60,2
Pastura natural con alta densidad de árboles (PNA)	9,0	14,3	2,4
Pastura mejorada con alta densidad de árboles (PMA)	22,6	15,1	21,2
Total	100,0	100,0	100,0
Pasturas naturales (PN + PNB + PNA)	39,0	48,4	18,5
Pasturas mejoradas (PM + PMB + PMA)	61,0	51,6	81,5
Pasturas sin árboles (PN + PM)	4,4	2,9	3,3
Pasturas con baja densidad de árboles (PNB + PMB)	64,0	67,7	73,1
Pasturas con alta densidad de árboles (PNA + PMA)	31,6	29,4	23,6

Como el PSA no es significativo para las fincas pequeñas y grandes hay dos opciones: 1) no pagar a las fincas pequeñas y grandes para orientar los pagos a fincas medianas donde se tiene efecto del PSA, 2) pagar más a las fincas pequeñas y grandes para que sea un incentivo significativo.

Efecto del aumento del pago por SA

Otro factor que afecta positivamente los cambios de uso del suelo en la finca es el aumento del pago actual por línea base y cambio de uso. Esto contribuye con la discusión sobre ¿cuánto es el monto a

pagar? o ¿cuál es el mejor esquema? para tener un impacto positivo en el cambio de uso del suelo. Según los resultados del modelo el incremento del PSA en 2,5 veces con el esquema de 4 años y 3 veces con el esquema de 2 años se estaría superando la barrera financiera para el cambio a usos más sostenibles en los tres tipos de fincas mediante la introducción de árboles.

Actualmente existe un solo demandante (proyecto GEF) de servicios ambientales en la zona de estudio que con los montos actuales solo las fincas medianas ofrecen servicios ambientales, las fincas pequeñas y grandes no ofrecen servicios ambientales, es decir no aceptan el PSA. En términos generales, con el número actual de fincas que reciben PSA del proyecto GEF el esquema de 4 años estaría produciendo mejores impactos de cambio de uso del suelo frente al esquema de dos años, este efecto se incrementa sustancialmente cuando se eleva el monto del PSA en 2,5 veces respecto al monto actual. El esquema 2 años tiene el mismo efecto cuando se eleva el monto del PSA en 3 veces

Cabe mencionar que el modelo no considera ingresos adicionales provenientes por la venta de otros productos o fuera de la finca que pueden afectar el cambio de uso del suelo. Así mismo, en el modelo los productores tienen reglas muy básicas para el manejo de sus fincas.

Predicción del modelo

El modelo predice que las tendencias de cambio de uso del suelo en las fincas del proyecto son de pastura natural a mejorada. Estas tendencias coinciden con las reportadas por los técnicos del proyecto GEF que señalan que en los últimos años los mayores cambios de uso son de pasturas naturales a pasturas mejoradas. Además coincide con los resultados de cambio de uso reportados por el proyecto GEF, después del pago del PSA entre 2003 a 2004 donde los usos del suelo que incrementaron en mayor proporción sus áreas son las pasturas mejoradas de baja y alta densidad de árboles. Los usos del suelo que disminuyeron sus áreas son pasturas naturales de baja densidad, pasturas degradadas y pasturas naturales.

Estudios realizados por Angelsen y Kaimowitz (1999) establecen una relación entre mayor cantidad disponibilidad de fondos para la inversión de la finca y mayor deforestación o incremento del hato. En el ámbito del modelo no se puede predecir deforestación porque no se considera el uso del suelo bosque. Por otra parte, no hay una expansión del hato porque es una variable fija en el modelo, es decir no es una variable de decisión.

7. Conclusiones

Se utilizó un modelo de optimización no lineal que identifica la asignación óptima de cambio de uso del suelo, a nivel de finca, mediante la maximización de las ganancias de los usos del suelo a nivel de finca. El modelo utiliza supuestos reales de acceso al crédito, mano de obra familiar disponibilidad de capital inicial y área de pasturas pero son muy simplificados. Un supuesto fuerte del modelo es que los productores maximizan sus beneficios. Aunque en la realidad los productores no maximizan sus decisiones de la misma manera el modelo muestra tendencias de cambio de uso del suelo similares a las tendencias reales.

El modelo va depender de la conceptualización del mismo, así por ejemplo muchos productores de la zona van a seguir cambiando de uso del suelo aún después de finalizado el PSA.

Se trata de un modelo dinámico y determinístico elaborado en el software MatLab™. El modelo provee una manera práctica para cumplir con el objetivo de evaluar el impacto de los factores externos e internos y de pago por servicios ambientales sobre el uso del suelo y adopción de SSP. La habilidad de la optimización del modelo es predecir las tendencias de uso del suelo con distintas tipologías de fincas y simular con varios escenarios y medir los impactos.

El modelo sigue la tendencia actual que, según León-Velarde *et al.* (1997), al considerar en forma total los recursos del sistema, tales como inversión, trabajo, alimentos, estructura y dinámica del hato entre otros. El modelo supone que los productores conocen los beneficios de los sistemas SSP, donde el papel de la asistencia técnica es la proveer el conocimiento.

La debilidad del modelo es tener un nivel de detalle alto en el componente biofísico y poco detalle con las variables de decisión del componente socioeconómico.

a) Los factores explicativos del uso del suelo son diferentes según el capital de la finca (ejemplo: suelo, finanzas y familia).

Respecto al tamaño de la finca:

- En las fincas pequeñas no hay impacto de PSA en ninguno de los dos esquemas. Esto puede ser porque el margen bruto de los finqueros pequeños con el cual inicia la finca y las ventas de los animales no es suficiente para realizar cambios de uso del suelo y el PSA que recibe el finquero es bajo (118 por línea base y 318 por cambio de uso 2004 en promedio) respecto a fincas más

grandes (500 por línea base y 1722 por cambio de uso 2004 en promedio) donde se produce un efecto del PSA.

- El cambio de uso del suelo, expresado con aumento de puntos anuales por ha, es más alto en las fincas medianas que grandes cuando están bajo PSA. En fincas grandes hay aumento del puntaje sin necesidad de PSA. Esto nos da a entender que las fincas grandes con el actual pago del PSA es innecesario. En las fincas medianas, el PSA es una condición necesaria al cambio

Cuando una finca inicia en una situación mala (con menor puntaje), no se produce cambio de uso del suelo a pesar del pago de PSA. Al contrario, en una finca con buen puntaje se tendrá mayor oportunidad de mejorar el uso del suelo aún sin PSA porque la situación económica de la finca es mayor. En las fincas con el actual puntaje (simulación base), el PSA tiene un impacto sobre el cambio de uso del suelo.

Cuando la familia tiene menos capital inicial no hay suficiente dinero para invertir en la finca y realizar cambios de uso del suelo y no existe aumento de puntaje, aún con PSA. Al contrario, cuando hay mayor disponibilidad de capital inicial, el productor realiza cambios de uso del suelo aunque no reciban PSA. Esto coincide con la realidad pues existen productores que han realizado cambios anteriores a la implementación del proyecto principalmente de pastura natural a pastura mejorada.

b) El pago por servicios ambientales es el factor determinante para la adopción de sistemas silvopastoriles.

Los resultados sugieren que dadas las condiciones de la simulación base existe un efecto positivo del PSA en el cambio de uso del suelo más amigables con el medio ambiente (SSP). Para que haya impacto, hay que tener en cuenta el estado inicial del capital de las fincas y de la ausencia de créditos. En condiciones diferentes, el PSA puede no tener impacto. Para mejorar el comportamiento ambiental de la finca mediana, el modelo muestra que el aumento del monto de pago actual en 2,5 veces para el esquema de 4 años y 3 veces para el esquema de 2 años se podrá superar la barrera financiera para usos de suelo más sostenibles. El impacto es equivalente a costos nulos de cambio de uso del suelo; esto implica que si el PSA cubre los costos de establecimiento habrá mayor cambio de uso del suelo.

c) En situación de crisis de la ganadería el PSA tiene más impactos sobre el cambio de uso del suelo.

En una situación actual de crisis, el PSA permite favorecer los cambios de uso del suelo. En una situación peor cuando disminuye el precio de la carne en un 10%, no hay efecto del PSA, bajo ninguno

de los esquemas, es decir el productor no se realiza cambios de uso del suelo. En una situación de mejores precios, los cambios de uso del suelo sin que el PSA sea necesario.

d) En una situación de falta de acceso al crédito el PSA tiene más impacto.

El PSA es un factor determinante cuando el productor no tiene acceso al crédito y contribuye a superar la falta de capital para la conversión de fincas con sistemas tradicionales a silvopastoriles. Cuando hay acceso al crédito, los cambios de usos del suelo se hacen aún sin PSA.

8. Propuestas metodológicas.

El modelo desarrollado tiene supuestos importantes en cuanto a los mercados de mano de obra, capital y a la racionalidad del productor (Bardhan y Udry 1999) Estos no toman en cuenta factores importantes para la toma de decisiones como: condiciones de acceso a recursos productivos, marco institucional de las actividades económicas y mecanismos de intercambio, entre otros (ORSTOM *et al.*, 1993; Van Den Bergh *et al.*, 2000). En la zona de estudio existe una gran diversidad de productores que a más de los factores clásicos (rendimiento, productividad, precios) tienen otros factores importantes que pueden ser más significativos para una investigación que busca modelos que reflejen la situación real. Se debe considerar otros factores en los modelos de decisión por ejemplo: racionalidad de procedimientos, conducta habitual y percepción de la incertidumbre, entre otros (Van Den Bergh *et al.*, 2000). Estudios en este sentido son importantes metodológicamente porque hay pocas experiencias de casos concretos en este sentido (Angelsen y Kaimowitz, 1999) que se pueden incorporar en el modelo. Este tipo de análisis se pueden hacer con modelos más complejos como los modelos multiagentes.

En cuanto a la validación se puede hacer por dos formas. La primera es comparar los resultados de la simulación con los usos de suelo de los próximos seis años. La segunda es comparar los resultados de la simulación con las tendencias de uso del suelo para un período anterior, por ejemplo 20 años atrás, con ello establecer un factor de corrección para el modelo sobre las tendencias de uso del suelo. Desafortunadamente no existen datos de las tendencias de uso del suelo de acuerdo con los usos de las fincas tipos que se utilizaron para simular. Una alternativa es realizar un análisis multitemporal de los usos del suelo de los ochenta al presente con la finalidad de validar el modelo, además servirá para establecer un factor de ajuste de cambio de uso del suelo.

Las variables de uso del suelo utilizadas en el modelo son de mayor interés para los fines de la presente investigación que están relacionados directamente con la ganadería. Estos usos se pueden aumentar por ejemplo a tacional y pastura degradada. Se puede aumentar su complejidad incorporando más interrelaciones, ejemplo en el componente de pasturas, la variable de fertilidad de suelo dependen de las condiciones topográficas de cada finca. Además se pueden aumentar el número de funciones objetivo para la optimización dada la diversidad de hogares como por ejemplo: maximizar el tiempo libre, minimizar riesgos o maximizar autoconsumo.

Se podría recolectar datos para incorporar interrelaciones entre los árboles y sistema de pastura, animal y familia, por ejemplo incorporar los beneficios que traen los árboles en la reducción del estrés calórico y beneficios por venta de madera. La finalidad es simular con mayor precisión el sistema ganadero de engorde. Se podría desarrollar modelos similares para el sistema de cria y doble

propósito. Además de realizar optimizaciones de los usos del suelo comparando con la adopción de otras tecnologías, por ejemplo: cultivos perennes, sistemas agroforestales, plantaciones forestales, etc.

Incorporar ingresos adicionales provenientes por la venta de otros productos de la finca así como ingresos fuera de la misma se podrían ayudar a cambiar el uso de suelo en las fincas pequeñas o grandes

En el modelo los productores tienen reglas muy básicas sobre la gestión de sus fincas, sería interesante tener un componente socioeconómico más desarrollado que corresponde más a la realidad de los productores, los mismos que tienen reglas de decisión muy complejas como por ejemplo, cuando los precios bajan no se venden los animales y los productores esperan hasta que suba el precio.

Modelar cambios de uso del suelo dando otros puntajes a los usos del suelo por ejemplo, dar mayor puntaje a usos del suelo con árboles.

Para abordar el tema de deforestación se debe tener en cuenta la categoría de uso del suelo bosque. Así mismo se puede tener la posibilidad que el productor cambie el tamaño del hato (por ejemplo, intensificar la carga animal para hacer frente a una crisis de precios) si se considera como variable de decisión.

Incorporar la técnica silvopastoril de cercas vivas pues gran parte de la incorporación de árboles en los potreros reportados por el proyecto GEF para la zona de estudio en 2003 a 2004 se debe a la aplicación de esta técnica.



Referencias

- Angelsen, A.; Kaimowitz, D. 1999. Rethinking the causes of deforestation: Lesson from Economics Models. *The World Bank Research Observer* 14(1): 73-98.
- Agarwal, C.; Green, G.; Grove, J.; Evans, T.; Schweik, C. 2002. A Review and Assessment of Land-Use Change Models: Dynamics of Space, Time, and Human Choice. United States Department of Agriculture, Forest Service USDA, Indiana University, Center for the Study of Institutions, Population, and Environmental Change. General Technical Report NE-297. 67 p.
- Becker, F.; Bravo, B.; Bennet, D. 1984. A beef production model based in grazing. *Mathematical development. Agricultura Técnica* 44 (2): 99 -108.
- Beer, J.; Harvey, CA.; Ibrahim, M.; Harmand, JM; Somarriba, E; Jiménez, F. 2003. Servicios ambientales de los sistemas agroforestales. *Agroforesteria en las Américas*. no 37-38.
- Brown, D. 2000. A Review of Bio-Economic Models. Cornell University. 102 p.
- Botero, J. 1998. Exploración de opciones silvopastoriles sostenibles para la sostenibilidad del sistema ganadero de doble propósito en el trópico húmedo. Tesis de Maestría. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 99 p.
- Camargo, J.; Ibrahim, M.; Somarriba, E.; Finegan, B.; Current, D. 2000. Factores ecológicos y socioeconómicos que influyen en la regeneración natural del laurel en sistemas silvopastoriles del trópico húmedo y subhúmedo de Costa Rica. *Agroforesteria de las Américas*. 7(26)
- Casasola, F.; Arguedas, R.; Holguín, V.; Madrigal, G.; Barrantes, J.; Ávila, M. 2004. Informe de línea base de las fincas adscritas al proyecto Costa Rica. CATIE, GEF/ Banco Mundial. 23 p.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 2001. Regional (Colombia, Costa Rica, Nicaragua) Integrated Silvopastoral Approaches to Ecosystem Management. Project Appraisal Document. 120 p.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 2002. Proyecto "Enfoques Silvopastoriles Integrados para el Manejo de Ecosistemas". Informe FAO, reporte. Turrialba, CR. 155 p.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 2004a. Base de datos proyecto "Enfoques Silvopastoriles Integrados para el Manejo de Ecosistemas". GEF/BANCO MUNDIAL. Mes de Enero.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 2004b. Base de datos de usos de suelo proyecto "Enfoques Silvopastoriles Integrados para el Manejo de Ecosistemas", GEF/BANCO MUNDIAL, Mes de Julio.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 2004c. Base de datos proyecto "Enfoques Silvopastoriles Integrados para el Manejo de Ecosistemas". Monitoreo de Carbono, GEF/BANCO MUNDIAL.
- Catrileo, S., Vejar, M.; Rojas, G. 2003. Estrategias De Producción Para Maximizar El Márgen Bruto En Un Sistema Tradicional Ganado-Cultivo Del Secano De La Ix Región. *Agricultura Técnica* 63(3): 240-250.

CORFOGA (Corporación de Fomento Ganadero) 2004. Diagnóstico del sector cárnico bovino de Costa Rica. Consultado 17 noviembre 2004. Disponible en http://www.corfoga.org/pdf/estadist/DiagnosticodelSector2004_Espanol.pdf

Esquivel, H.; Ibrahim, M.; Harvey, C.; Benjamin, T.; Sinclair, F. 2004. Impacts of trees on pasture availability and quality and their importance in mitigate dry season forage shortage. 41 p. Sin publicar.

FAO. 1993. Forest resources assesment 1990, tropical countries. FAO Forestry Paper no112: 68 p

Flores, I.; Monterroso, O. 2002, Diagnóstico de los ganaderos ubicados en el bosque seco tropical de Cañas y Bagaces, Guanacaste, Costa Rica. Documento del Proyecto Cerbastian. No publicado.

Gobbi, J. 2001. Análisis económico – financiero de la inversión en los SSP propuestos para cada país. Enfoques silvopastoriles integrados para el manejo de ecosistemas en Colombia, Costa Rica y Nicaragua. CATIE, GEF. 121 p

Herrero, M.; Fawcetta, R.H.; Dent, J.B. 1999. Bio-economic evaluation of dairy farm management scenarios using integrated simulation and multiple-criteria models. *Agricultural systems* 62:169-188.

Holguin, V. 2004. Análisis comparativo y evaluación financiera de modelos de manejo nutricional en fincas de ganado de doble propósito en la zona del pacífico central de costa rica. Tesis de Maestría. Universidad de Costa Rica. En proceso.

Holmann, F.; Estrada, R. 1997. Alternativas agropecuarias en la región pacífico central de Costa Rica: Un modelo de simulación aplicable a sistemas de doble propósito. En C.E. Lascano y F. Colman. *Conceptos y metodológicas de investigación en fincas con sistemas de producción animal de doble propósito*. CIAT, Cali, Colombia. 134 –150 p.

Ibrahim, M.; Beer, J.; Sinclair, F.; Harvey, C. 2002. Sistemas silvopastoriles para la restauración de ecosistemas de pasturas tropicales degradados. Simposio Internacional sobre sistemas silvopastoriles y segundo congreso sobre Agroforestería y producción ganadera en América Latina. *Agroforestería de las Américas* 9(33-34): 57 -59 p.

Ibrahim, M.; Camargo, J. 2001. ¿Cómo aumentar la regeneración de árboles maderables en potreros?. *Agroforestería de las Américas*. 8(32): 35-41 p

Kaimowitz, D. 1996. Livestock and Deforestation in Central America in the 1980s and 1990s: A Policy Perspective. CIFOR, Indonesia. 88 p.

Kapp, G. 1998. Financial evaluation tools for smallholder forestry: A methodological comparison of two forms of cost – benefit analysis and optimization. *International Tree Crops Journal*. 9:233 -246

León Velarde, C.U., B.; Arce, R.; Quiroz. 1997. Modelación de sistemas de producción de leche; descripción de sus componentes e interacciones para el diseño de modelos de simulación. In: *Conceptos y Metodologías de Investigación en Fincas con Sistemas de Producción Animal de Doble Propósito*. Cali, Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Consorcio Tropileche. p 95-116

Lascano, C.; Holmann, F. 1997. *Conceptos y metodologías de investigación en fincas con sistemas de producción de doble propósito*. CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical), Cali, Colombia 285p

MathWorks. 1990-2002. Optimization Toolbox. M-File Help: fmincon. MATLAB™ 6.5 Copyright The, Inc.

MathWorks. 2004. Optimization Toolbox 3 Nonlinear Optimization Consultado el 13 de agosto del 2004. Disponible en: <http://www.mathworks.com/products/optimization/description3.html>

Mercer, D.E. 2004. Adoption of agroforestry innovation in the tropics: A review. *Agroforestry Systems* 204411: 311-328.

Mercer, E.; Snook, A. 2004. Analyzing ex-ante agroforestry adoption decisions with attribute-based choice experiments. In Alavalapati J.; Mercer, Valuing Agroforestry Systems, p. 237-256.

Nicholson, C.F.; Blake, R.W.; Lee, D.R. 1995. Livestock, deforestation, and Policy Making: Intensification of Cattle Production Systems in Central America revisited". *Journal of Dairy Science* 78(3): 719-734.

Monterroso, A.; Flores, J. 2004. Diagnóstico de los Ganaderos ubicados en El Bosque Seco Tropical De Guanacaste, Costa Rica. *Catie* 81 p.

Monterroso, A. 2002. "Bioeconomic Models And Environmental Valuation In Agroforestry: Applications To Silvopastoral Systems In Guanacaste, Costa Rica". Doctoral Research Project 41 p.

ORSTROM (Instituto francés de investigación científica para el desarrollo en cooperación); CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología); CP (Colegio de Posgraduados) 1993. *Sistemas de producción y desarrollo agrícola*. México, Mex. Editorial Colegio de posgraduados.

Oses, B. 2002. Producción de carne bovina 2001. Subgerencia de desarrollo agropecuario dirección de mercadeo y agroindustria servicio de información de mercados. Consejo Nacional de la producción/Mercanet. San José, Costa Rica. 11 p.

Pérez, E. 2001. La situación del sector cárnico bovino centroamericano. Proyecto ILRI-CFC 8 p

Revington, J. 1992. "Deforestation is the inevitable result of the current social and economic policies being carried out in the name of development." from *An Emergency Call to Action for the Forests and Their Peoples*. *New Renaissance Magazine*. 3(2).

Rivas, L. 1995. Adopción e impacto de uso de pasturas mejoradas en el trópico latinoamericano: evidencias y problemática. Centro Internacional de Agricultura Tropical Unidad estudios de impacto 35 p.

Rodríguez, J. 2002. Los servicios ambientales del bosque: el ejemplo de costa rica. *Revista forestal Centroamerica*. 37 :7 -53.

Rodríguez, J.; Sáenz, A. 2002. Pago por servicios ambientales en Costa Rica. *Revista forestal* no.37: 68 -71.

Sánchez, M. 2002. Sistemas Silvopastoriles: el futuro sustentable de la ganadería tropical. *Agroforestería de las Américas*. 9(33-34): 4-5.

Van Den Bergh, J.; Ferrer-i-Carbonell, A.; Munda, G. 2000. Alternative models of individual behaviour and implications for environmental policy. *Ecological Economics* 32(2000): 43-61.

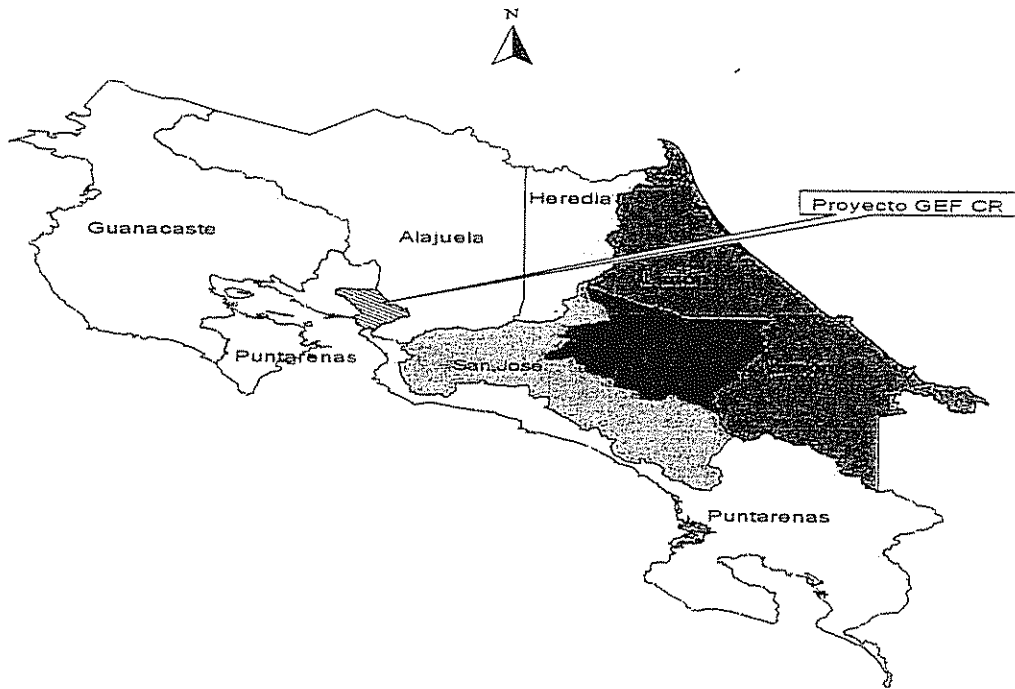
Bardhan, P.; Udry, C. 1999. *Development microeconomics*. Oxford, USA. 242 p.

Verburg, P.; Schot, P.; Dijst, M.; Veldkamp, A. 2002. Land use change modelling: current practice and research priorities. 24 p.

Venkataraman, P. 2002. *Applied Optimization with MatLab™ Programming*. Rochester Institute of technology. 398 p.

Anexos

Anexo 1. Ubicación de la zona de estudio



Anexo 2. Descripción del puntaje e índice de los usos del suelo

Uso de Tierra	Biodiversidad	Carbono	Índice	Descripción
	Puntaje	Puntaje		
Pastura Natural sin Árboles	0,1	0,1	0,2	Pastura dominada con especies nativas, naturalizadas de baja productividad
Pastura Mejorada sin Árboles	0,1	0,4	0,5	Pasturas dominada con especies introducidas de alto vigor y productividad, cobertura mayor de 70%
Pastura Natural Enriquecida con árboles en baja densidad árboles 30 árboles/ha	0,3	0,3	0,6	Pastura dominada con especies nativas o naturalizadas, árboles recién sembrados hasta 5 dap y 0.5 m altura, mínimo 200 árboles/ha
Pastura Mejorada Enriquecida con árboles en baja densidad árboles 30 árboles/ha	0,3	0,4	0,7	Pastura dominada con especies mejoradas, árboles recién sembrados hasta 5 dap y 0.5 m altura, mínimo 200 árboles/ha
Pastura Natural + alta densidad de árboles	0,5	0,5	1	Pastura dominada con especies nativas o naturalizadas, árboles existentes más de 30 árboles/ha mayor de 5cm dap y 2 m altura
Pastura mejorada + alta densidad de árboles	0,6	0,7	1,3	Pastura dominada con especies mejoradas o introducidas, árboles existentes maduros densidad mayor de 30 árboles por ha

Fuente: CATIE, 2001

Subsistema Pradera

- Disponibilidad de materia seca en un potrero

$$DI(P) = DI(P) + \left[\left(\frac{AP(K)}{30} \right) * AD \right]$$

DI (P): Disponibilidad de un potrero P, kg m s./ha
 AP(K): Tasa mensual de crecimiento potencial de la pradera correspondiente a un periodo K
 Z: 1 125 803, constante.
 K: Periodo expresado en días.

- Ajuste al crecimiento de la pradera por disponibilidad de materia seca

$$AD = e^{\frac{[DI(P)-1500]F}{Z}}$$

AD: Factor de ajuste a la tasa potencial

- Corrección al valor de disponibilidad de materia seca al restar el consumo real

$$DI(P) = DI(P) - (CO * CA)$$

DI(P): Disponibilidad de un potrero P, Kg m.s./ha
 CO: Consumo real, kg m.s./novillo/día
 CA: Carga animal, número de animales/ha

Subsistema Animal

- Consumo potencial de materia seca

$$CP = \frac{13}{(1 + 7,38 * e^{-0,05 * SE})}$$

CP: Consumo potencial, kg m.s./novillo/día
 SE: Edad en semanas

- Digestibilidad del material consumido

$$PD(K) = \frac{D3(K)}{\left\{ 1 + \left[\left(\frac{D3(K)}{D4(K)} \right) - 1 * e^{-b * DI(P)} \right] \right\}}$$

PD (K): Digestibilidad del material consumido, %
 D3(K): Valor máximo de digestibilidad presente en la pradera, correspondiente al valor del material vivo en un mes K.
 D4(K): Valor mínimo de la digestibilidad presente en la pradera, correspondiente al valor del material mixto vivo y muerto, ubicado en la parte basal de la planta en un mes K.
 DI(P): Disponibilidad de la pradera, kg m.s./ha
 b: 0,00074, constante

- Consumo real de materia seca

$$CO = CP * W$$

CO: Consumo real, kg m.s./animal

CP: Consumo potencial, kg m.s./animal

W: Factor de ajuste más limitante, que según el caso puede ser la disponibilidad o la digestibilidad.

- Ajuste del consumo potencial por digestibilidad

$$DA = e^{\left\{ (2,18 - 0,19 * SE) * \left[0,75 - \frac{PD(K)}{100} \right]^2 \right\}}$$

DA: Coeficiente de ajuste del consumo por digestibilidad

SE: Edad en semanas.

PD(K): Digestibilidad del material consumido

- Ajuste de consumo potencial por disponibilidad

$$AC = 1 - \frac{1}{e^{0,001352 * DI(P)}}$$

- Requerimientos de manutención y aumentos de peso

$$ME = 1883 + 20,7 * PE$$

ME: Requerimientos de manutención, kcal EM/día

PE: Peso vivo, kg

- Incrementos de los requerimientos de manutención

$$MI = 18 + \frac{1302}{DI(P)} + \frac{448620}{[DI(P) * DI(P)]}$$

MI: Incremento de los requerimientos de manutención, %

DI(P): Disponibilidad de la pradera en un potrero P, kg m.s./ha

- Consumo para la ganancia de peso

$$CG = CO - CM$$

CG: Consumo para la ganancia de peso, kg m.s./ha

CO: Consumo real, kg m.s./ha

CM: Consumo por manutención, kg m.s./ha

- Consumo por manutención

$$CM = \frac{ME}{\left[\left(\frac{PD(K)}{100} \right) * 3600 \right]}$$

ME: Requerimientos de manutención, kcal EM/día.

PD(K): Digestibilidad del material consumido, %.

- Ganancia de peso vivo

$$GA = \frac{DE}{175,5 * PE^{0,75}}$$

GA: Ganancia de peso vivo, kg.

DE: Energía digestible consumida, kilocalorías.

PE: Peso vivo, kg.

- Energía digestible consumida

$$DE = CG * PD(K) * 4400 / 1000$$

DE: Energía digestible consumida, kilocalorías.

CG: Consumo para la ganancia de peso, kg m.s./ha.

PD(K): Digestibilidad del material consumido, %.

Anexo 4. Cálculo del hato típico en el sistema de engorde para diferentes tamaños de fincas

a. Finca pequeña

Uso Suelo	Superficie (ha)	Carga animal (UA/ha)	Carga animal (UA)
Finca	19,17		
Pasturas			
- Mejorada	4,47	1,00	2,20
- Natural	6,98	0,50	6,98
Total			9,18

Calculado la capacidad de carga animal 9,18 para el área de pasturas se procedió a elaborar el hato típico para los diferentes sistemas de manejo ganadero.

Tipo de animal	Número animales	Factor conversión UA	Carga animal (UA)
Terneros	15	0,6	9
Total			9

b. Finca mediana

Uso Suelo	Superficie (ha)	Carga animal (UA/ha)	Carga animal (UA)
Finca	56,00		
Pasturas			
- Natural	14,66	0,5	7,33
- Mejorada	15,60	1,0	15,60
Total			22,93

Calculado la capacidad de carga animal 22,93 para el área de pasturas se procedió a elaborar el hato típico para los diferentes sistemas de manejo ganadero

Tipo de animal	Número animales	Factor conversión UA	Carga animal (UA)
Terneras y terneros (crías)	38	0,6	22,8
Total			22,8

c. Finca grande

Uso Suelo	Superficie (ha)	Carga animal (UA/ha)	Carga animal (UA)
Finca	100,00		
Pasturas			
- Natural	10,46	0,5	5,23
- Mejorada	46,12	1	46,12
Total			51,35

Calculado la capacidad de carga animal 51,35 para el área de pasturas se procedió a elaborar el hato típico para los diferentes sistemas de manejo ganadero.

Tipo de animal	Número animales	Factor conversión UA	Carga animal (UA)
Terneras y terneros (crías)	85	0,6	51
Total			51

Anexo 5 Costos de mantenimiento de pasturas

a. Costo de mantenimiento de una hectárea de pastura natural.

Labor	Insumos		Unidad	Precio (US\$)	Subtotal
	Producto	Cantidad			
<i>Jornal</i>					
Chapeas	Jornal	10	unidades	7,23	72,29
Esparcimiento de herbicida	Jornal	2	unidades	7,23	14,46
<i>Insumos</i>					
Herbicida hoja ancha		3	lt.	10,38	31,13
Total					117,88

Fuente: Base de datos proyecto Base de datos proyecto "Enfoques Silvopastoriles Integrados para el Manejo de Ecosistemas", GEF/BANCO MUNDIAL.

b. Costo de mantenimiento de una hectárea de pastura mejorada.

Labor	Insumos		Unidad	Precio (US\$)	Subtotal
	Producto	Cantidad			
<i>Jornal</i>					
Esparcimiento de herbicida	Jornal	1	unidades	7,23	7,23
<i>Insumos</i>					
Herbicida hoja ancha		1	lt.	10,38	10,38
TOTAL					17,61

Fuente: Base de datos proyecto Base de datos proyecto "Enfoques Silvopastoriles Integrados para el Manejo de Ecosistemas", GEF/BANCO MUNDIAL, 2004.

Anexo 6 Costos de cambio de uso del suelo

a. Costo de cambio de pastura natural a mejorada sin cercado.

Labor	Insumos		Unidad	Precio (US\$)	Subtotal
	Producto	Cantidad			
<i>Insumos</i>					
Preparación del terreno					
Aplicación de herbicida	Glifosato	4	litro	4,63	18,52
Aplicación de herbicida 2	Xeraxone	3	Litro	5,58	16,74
Gasolina (bomba)	Gasolina	1,5	Galón		
<i>Siembra y manejo</i>					
Compra de semilla	Semilla	3	Tarro	18,07	54,21
Curado de semilla	Vitaba	1	Bolsa	3,10	3,10
Control de malezas	2-4 D	2	Litro	3,43	6,86
Fertilización	12-24-12	1	qq	12,12	12,12
Subtotal					111,55
<i>Jornales</i>					
Preparación del terreno					
Chapea	Jornal	2	Unidades	7,23	14,46
Aplicación de herbicida	Jornal	2	Unidades	12,05	24,10
Aplicación de herbicida 2	Jornal	2	Unidades	12,05	24,10
<i>Siembra y manejo</i>					
Distribución de la semilla	Jornal	1	Unidades	7,23	7,23
Control de malezas (2-4D)	Jornal	2	Unidades	12,05	24,10
Fertilización	Jornal	1	Unidades	7,23	7,23
Subtotal	jornal	10*			101,22
Total					212,77

Fuente: Base de datos proyecto "Enfoques Silvopastoriles Integrados para el Manejo de Ecosistemas", GEF/BANCO MUNDIAL, 2004.

* Equivalente a 14 jornales de 7,23 US\$

b. Costo de cambio de pasturas sin árboles a pasturas con baja densidad de árboles

Labor	Insumos		Unidad	Precio (US\$)	Subtotal
	Producto	Cantidad			
<i>Jornales</i>					
Hoyos	Jornal	0,38	Jornal	7,23	2,71
Sembrado	Jornal	0,38	Jornal	7,23	2,71
Sembrar estacones	Jornal	1,88	Jornal	7,23	13,56
Subtotal		2,63	Jornal		18,98
<i>Insumos</i>					
Plántulas		15,00	unidades	0,36	5,40
Protección	Estacón	60,00	unidades	0,05	3,00
Alambre	Rollo	0,75	unidades	25,00	18,75
Subtotal					27,15
Total					46,13

Fuente: Base de datos proyecto "Enfoques Silvopastoriles Integrados para el Manejo de Ecosistemas", GEF/BANCO MUNDIAL, 2004.

c. Costo de cambio de pasturas sin árboles a pasturas con alta densidad de árboles

Labor	Insumos		Unidad	Precio (US\$)	Subtotal
	Producto	Cantidad			
<i>Jornales</i>					
Hoyos	Jornal	1,25	Jornal	7,23	9,04
Sembrado	Jornal	1,25	Jornal	7,23	9,04
Sembrar estacones	Jornal	6,25	Jornal	7,23	45,19
Subtotal		8,75	Jornal		63,26
<i>Insumos</i>					
Plántulas		50,00	unidades	0,36	18,00
Protección	Estacón	200,00	unidades	0,05	10,00
Alambre	Rollos	2,50	unidades	25,00	62,50
Subtotal					90,50
Total					153,76

Fuente: Base de datos proyecto "Enfoques Silvopastoriles Integrados para el Manejo de Ecosistemas", GEF/BANCO MUNDIAL, 2004.

d. Costos de cambio de pasturas con baja densidad a alta densidad de árboles

Labor	Insumos		Unidad	Precio (US\$)	Subtotal
	Producto	Cantidad			
<i>Jornales</i>					
Hoyos	Jornal	0,875	unidades	7,23	6,33
Sembrado	Jornal	0,875	unidades	7,23	6,33
Sembrar estacones	Jornal	4,375	Jornal	7,23	31,63
Subtotal		6,125			44,28
<i>Insumos</i>					
Plántulas		35	unidades	0,36	12,60
Protección	estacón	140	unidades	0,05	7,00
Alambre	Rollo	1,75	unidades	25	43,75
Subtotal					63,35
Total					107,63

Fuente: Base de datos proyecto "Enfoques Silvopastoriles Integrados para el Manejo de Ecosistemas", GEF/BANCO MUNDIAL, 2004.

Anexo 7. Costo de mantenimiento anual de una unidad animal en el sistema de engorde

En el sistema de engorde se considera la modalidad compra de terneros de 200 kg y venta en 350 kg.) Este sistema permite liberar mano de obra por poco requerimiento de mano de obra

Labor	Insumos		Unidad	Precio (US\$/unidad)	Subtotal Año (US\$)	
	Producto	Cantidad/día				Cantidad/año
Jornales		0,016	5.84	unidades	7,229	42,22
Subtotal						42,22
Insumos						
Sales minerales	Pecutrin	30	10950	gr.	0,0011	12,59
Sal blanca granulada	Sal blanca granulada	60	21900	gr.	7,5E-5	1,64
Vacuna	Doble septisemia (Posterella) y carbón sintomático (Clostridium)		3	dosis	0,347	1,04
Antiparasitarios	Externo (Garrapaticidas)		12	dosis	0,087	1,04
Antiparasitarios	Interno (IVOMEK)		5	ml	0,494	7,41
Medicinas varias						2,17
Subtotal						25,88
TOTAL						68,10

Un jornal a medio tiempo maneja 50 animales Se normaliza a 0, 6 U es igual a 30 UA.
Son 0,5 jornales para 30 UA = 0, 016 jornales/día.

Anexo 8 . Análisis de sensibilidad

Factor de evaluación	Ganancia a los 6 años (sin tasa de descuento) USS	Usos del suelo a los 6 años (ha)						Puntos
		PN	PM	PNB	PMB	PNA	PMA	
Línea base sin PSA	11186,53	0,53	0,34	9,8	10,68	4,33	4,58	23,92
Materia Seca inicial								
+ 10%	11174,73	0,53	0,34	9,8	10,68	4,33	4,58	23,92
- 10%	11199,89	0,53	0,34	9,8	10,68	4,33	4,58	23,92
Parámetro Ecuación Ajuste Crecimiento								
+ 10%	11021,21	0,53	0,34	9,8	10,68	4,33	4,58	23,92
- 10%	11173,08	0,53	0,34	9,8	10,68	4,33	4,58	23,92
Digestibilidad								
+ 10%	33107,02	0	0,87	0	20,48	0	8,91	26,35
- 10%	-200472046249	0,53	0,34	9,8	10,68	4,33	4,58	23,92
Crecimiento de las pasturas								
+ 10%	11185,09	0,53	0,34	9,8	10,68	4,33	4,58	23,92
-10%	11174,83	0,53	0,34	9,8	10,68	4,33	4,58	23,92
Número de jornales para mantenimiento del hato								
+ 10%	11186,53	0,53	0,34	9,8	10,68	4,33	4,58	23,92
- 10%	11186,53	0,53	0,34	9,8	10,68	4,33	4,58	23,92
Número de jornales para mantenimiento de los usos del suelo								
+ 10%	11186,53	0,53	0,34	9,8	10,68	4,33	4,58	23,92
- 10%	11186,53	0,53	0,34	9,8	10,68	4,33	4,58	23,92
Número de jornales para cambio de uso del suelo								
+ 10%	11186,53	0,53	0,34	9,8	10,68	4,33	4,58	23,92
- 10%	11186,53	0,53	0,34	9,8	10,68	4,33	4,58	23,92
Peso de compra								
+ 10%	13358,56	0	0,87	0	20,48	0	8,91	26,35
- 10%	16055,12	0	0,87	0	20,48	0	8,91	26,35
Peso de venta								
- 10%	-26284004157	0,53	0,34	9,8	10,68	4,33	4,58	23,92
+ 10%	14975,63	0	0,87	0	20,48	0	8,91	26,35

Anexo 9. Resultados de las simulaciones de cambios de usos del suelo

Variable de evaluación	Ganancia Total	PN	PM	PNB	PMB	PNA	PMA	Puntos acumulados	Aumento anual del puntaje	Cambio anual de PN	Cambio anual de PM	Cambio anual SA	Cambio anual BDA	Cambio anual ADA
SITUACION INICIAL														
Sin PSA	11187	0,53	0,34	9,80	10,68	4,33	4,58	23,92	23,92	14,66	15,60	0,87	20,48	8,91
Esquema 2	14864	0,00	0,87	0,00	20,48	0,00	8,91	26,35	0,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Esquema 4	14892	0,00	0,87	0,00	20,48	0,00	8,91	26,35	0,41	-2,44	2,44	0,00	0,00	0,00
Carne + 5%														
Sin PSA	13920	0,53	0,34	9,80	10,68	4,33	4,58	23,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Esquema 2 años	18061	0,00	0,87	0,00	20,48	0,00	8,91	26,35	0,41	-2,44	2,44	0,00	0,00	0,00
Esquema 4 años	18089	0,00	0,87	0,00	20,48	0,00	8,91	26,35	0,41	-2,44	2,44	0,00	0,00	0,00
Carne + 10%														
Sin PSA	20930	0,00	0,87	0,00	20,48	0,00	8,91	26,35	0,41	-2,44	2,44	0,00	0,00	0,00
Esquema 2 años	21258	0,00	0,87	0,00	20,48	0,00	8,91	26,35	0,41	-2,44	2,44	0,00	0,00	0,00
Esquema 4 años	21286	0,00	0,87	0,00	20,48	0,00	8,91	26,35	0,41	-2,44	2,44	0,00	0,00	0,00
Carne + 20%														
Sin PSA	27324	0,00	0,87	0,00	20,48	0,00	8,91	26,35	0,41	-2,44	2,44	0,00	0,00	0,00
Esquema 2 años	27652	0,00	0,87	0,00	20,48	0,00	8,91	26,35	0,41	-2,44	2,44	0,00	0,00	0,00
Esquema 4 años	27680	0,00	0,87	0,00	20,48	0,00	8,91	26,35	0,41	-2,44	2,44	0,00	0,00	0,00
Carne + 30%														
Sin PSA	33717	0,00	0,87	0,00	20,48	0,00	8,91	26,35	0,41	-2,44	2,44	0,00	0,00	0,00
Esquema 2 años	34046	0,00	0,87	0,00	20,48	0,00	8,91	26,35	0,41	-2,44	2,44	0,00	0,00	0,00
Esquema 4 años	34074	0,00	0,87	0,00	20,48	0,00	8,91	26,35	0,41	-2,44	2,44	0,00	0,00	0,00
Carne + 40%														
Sin PSA	40111	0,00	0,87	0,00	20,48	0,00	8,91	26,35	0,41	-2,44	2,44	0,00	0,00	0,00
Esquema 2 años	40440	0,00	0,87	0,00	20,48	0,00	8,91	26,35	0,41	-2,44	2,44	0,00	0,00	0,00
Esquema 4 años	40467	0,00	0,87	0,00	20,48	0,00	8,91	26,35	0,41	-2,44	2,44	0,00	0,00	0,00
Carne - 5%														
Sin PSA	-22440460	0,53	0,34	9,80	10,68	4,33	4,58	23,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Esquema 2 años	-8512367	0,25	0,62	9,80	10,68	2,02	6,89	24,69	0,13	-0,43	0,43	0,00	0,00	0,00
Esquema 4 años	-8777687	0,48	0,38	9,80	10,68	3,92	4,99	24,05	0,02	-0,08	0,08	0,00	0,00	0,00
Carne - 10%														

Sin PSA	-278183000000	0,53	0,34	9,80	10,68	4,33	4,58	23,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Esquema 2 años	-1161402000	0,00	0,34	10,3	10,68	4,33	4,58	24,13	0,03	0,00	-0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Esquema 4 años	-1161402000	0,53	0,34	9,80	10,68	4,33	4,58	23,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Carne - 20%																	
Sin PSA	-69534464589	0,53	0,34	9,80	10,68	4,33	4,58	23,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Esquema 2 años	-51695098603	0,00	0,34	10,3	10,68	4,33	4,58	24,13	0,03	0,00	-0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Esquema 4 años	-51763662902	0,53	0,34	9,80	10,68	4,33	4,58	23,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Préstamo 0%																	
Sin PSA	14536	0,00	0,87	0,00	20,48	0,00	8,91	26,35	0,41	-2,44	0,00	2,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Esquema 2 años	14864	0,00	0,87	0,00	20,48	0,00	8,91	26,35	0,41	-2,44	0,00	2,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Esquema 4 años	14892	0,00	0,87	0,00	20,48	0,00	8,91	26,35	0,41	-2,44	0,00	2,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Préstamo 5%																	
Sin PSA	14536	0,00	0,87	0,00	20,48	0,00	8,91	26,35	0,41	-2,44	0,00	2,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Esquema 2 años	14864	0,00	0,87	0,00	20,48	0,00	8,91	26,35	0,41	-2,44	0,00	2,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Esquema 4 años	14892	0,00	0,87	0,00	20,48	0,00	8,91	26,35	0,41	-2,44	0,00	2,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Préstamo 10%																	
Sin PSA	14536	0,00	0,87	0,00	20,48	0,00	8,91	26,35	0,41	-2,44	0,00	2,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Esquema 2 años	14864	0,00	0,87	0,00	20,48	0,00	8,91	26,35	0,41	-2,44	0,00	2,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Esquema 4 años	14892	0,00	0,87	0,00	20,48	0,00	8,91	26,35	0,41	-2,44	0,00	2,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Jornal sin costo																	
Sin PSA	11187	0,53	0,34	9,80	10,68	4,33	4,58	23,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Esquema 2 años	14864	0,00	0,87	0,00	20,48	0,00	8,91	26,35	0,41	-2,44	0,00	2,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Esquema 4 años	14892	0,00	0,87	0,00	20,48	0,00	8,91	26,35	0,41	-2,44	0,00	2,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Jornal +100%																	
Sin PSA	11187	0,53	0,34	9,80	10,68	4,33	4,58	23,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Esquema 2 años	14864	0,00	0,87	0,00	20,48	0,00	8,91	26,35	0,41	-2,44	0,00	2,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Esquema 4 años	14892	0,00	0,87	0,00	20,48	0,00	8,91	26,35	0,41	-2,44	0,00	2,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Insumo Mantenimiento sin costo																	
Sin PSA	17182	0,00	0,87	0,00	20,48	0,00	8,91	26,35	0,41	-2,44	0,00	2,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Esquema 2 años	17511	0,00	0,87	0,00	20,48	0,00	8,91	26,35	0,41	-2,44	0,00	2,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Esquema 4 años	17539	0,00	0,87	0,00	20,48	0,00	8,91	26,35	0,41	-2,44	0,00	2,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Insumo Mantenimiento - 50%																	

Esquema 2 años	16202	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,26	39,34	2,57	-2,44	2,44	-0,15	-3,41	3,56
Esquema 4 años	16377	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,26	39,34	2,57	-2,44	2,44	-0,15	-3,41	3,56
Insuno Cambio Uso - 50%																	
Sin PSA	15276	0,00	0,87	0,00	20,48	0,00	8,91	26,35	0,41	8,91	26,35	0,41	-2,44	2,44	0,00	0,00	0,00
Esquema 2 años	15604	0,00	0,87	0,00	20,48	0,00	8,91	26,35	0,41	8,91	26,35	0,41	-2,44	2,44	0,00	0,00	0,00
Esquema 4 años	15665	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,26	39,34	2,57	30,26	39,34	2,57	-2,44	2,44	-0,15	-3,41	3,56
Insuno Cambio Uso - 25%																	
Sin PSA	14906	0,00	0,87	0,00	20,48	0,00	8,91	26,35	0,41	8,91	26,35	0,41	-2,44	2,44	0,00	0,00	0,00
Esquema 2 años	15234	0,00	0,87	0,00	20,48	0,00	8,91	26,35	0,41	8,91	26,35	0,41	-2,44	2,44	0,00	0,00	0,00
Esquema 4 años	15262	0,00	0,87	0,00	20,48	0,00	8,91	26,35	0,41	8,91	26,35	0,41	-2,44	2,44	0,00	0,00	0,00
Insuno Cambio Uso + 25%																	
Sin PSA	11187	0,53	0,34	9,80	10,68	4,33	4,58	23,92	0,00	4,58	23,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Esquema 2 años	11426	0,53	0,34	9,80	10,68	4,33	4,58	23,92	0,00	4,58	23,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Esquema 4 años	11426	0,53	0,34	9,80	10,68	4,33	4,58	23,92	0,00	4,58	23,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Insuno Cambio Uso + 50%																	
Sin PSA	11187	0,53	0,34	9,80	10,68	4,33	4,58	23,92	0,00	4,58	23,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Esquema 2 años	11426	0,53	0,34	9,80	10,68	4,33	4,58	23,92	0,00	4,58	23,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Esquema 4 años	11426	0,53	0,34	9,80	10,68	4,33	4,58	23,92	0,00	4,58	23,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Disponibilidad de Capital - 50%																	
Sin PSA	-3.067.062	0,53	0,34	9,08	10,68	4,33	4,58	23,92	0,00	4,58	23,92	0,00	-0,12	0,00	0,00	-0,12	0,00
Esquema 2 años	-91679536	0,53	0,34	9,08	10,68	4,33	4,58	23,92	0,00	4,58	23,92	0,00	-0,12	0,00	0,00	-0,12	0,00
Esquema 4 años	-91679536	0,53	0,34	9,08	10,68	4,33	4,58	23,92	0,00	4,58	23,92	0,00	-0,12	0,00	0,00	-0,12	0,00
Disponibilidad de Capital - 25%																	
Sin PSA	-48459849	0,53	0,34	9,08	10,68	4,33	4,58	23,92	0,00	4,58	23,92	0,00	-0,12	0,00	0,00	-0,12	0,00
Esquema 2 años	11426	0,53	0,34	9,08	10,68	4,33	4,58	23,92	0,00	4,58	23,92	0,00	-0,12	0,00	0,00	-0,12	0,00
Esquema 4 años	11426	0,53	0,34	9,08	10,68	4,33	4,58	23,92	0,00	4,58	23,92	0,00	-0,12	0,00	0,00	-0,12	0,00
Disponibilidad de Capital + 25%																	
Sin PSA	11187	0,53	0,34	9,08	10,68	4,33	4,58	23,92	0,00	4,58	23,92	0,00	-0,12	0,00	0,00	-0,12	0,00
Esquema 2 años	14864	0,00	0,87	0,00	20,48	0,00	8,91	26,35	0,41	8,91	26,35	0,41	-2,44	2,44	0,00	0,00	0,00
Esquema 4 años	14892	0,00	0,87	0,00	20,48	0,00	8,91	26,35	0,41	8,91	26,35	0,41	-2,44	2,44	0,00	0,00	0,00
Disponibilidad de Capital + 50%																	

Sin PSA	14536	0,00	0,87	0,00	20,48	0,00	8,91	26,35	0,41	-2,44	2,44	0,00	0,00	0,00
Esquema 2 años	14864	0,00	0,87	0,00	20,48	0,00	8,91	26,35	0,41	-2,44	2,44	0,00	0,00	0,00
Esquema 4 años	14892	0,00	0,87	0,00	20,48	0,00	8,91	26,35	0,41	-2,44	2,44	0,00	0,00	0,00
Disponibilidad de Capital + 75%														
Sin PSA	14536	0,00	0,87	0,00	20,48	0,00	8,91	26,35	0,41	-2,44	2,44	0,00	0,00	0,00
Esquema 2 años	14864	0,00	0,87	0,00	20,48	0,00	8,91	26,35	0,41	-2,44	2,44	0,00	0,00	0,00
Esquema 4 años	14892	0,00	0,87	0,00	20,48	0,00	8,91	26,35	0,41	-2,44	2,44	0,00	0,00	0,00
Disponibilidad de Capital + 100%														
Sin PSA	14536	0,00	0,87	0,00	20,48	0,00	8,91	26,35	0,41	-2,44	2,44	0,00	0,00	0,00
Esquema 2 años	14864	0,00	0,87	0,00	20,48	0,00	8,91	26,35	0,41	-2,44	2,44	0,00	0,00	0,00
Esquema 4 años	14892	0,00	0,87	0,00	20,48	0,00	8,91	26,35	0,41	-2,44	2,44	0,00	0,00	0,00
Consumo Familiar 25%														
Sin PSA	11186	0,53	0,34	9,80	10,68	4,33	4,58	23,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Esquema 2 años	14864	0,00	0,87	0,00	20,48	0,00	8,91	26,35	0,41	-2,44	2,44	0,00	0,00	0,00
Esquema 4 años	14891	0,00	0,87	0,00	20,48	0,00	8,91	26,35	0,41	-2,44	2,44	0,00	0,00	0,00
Consumo Familiar 75%														
Sin PSA	11186.78	0,53	0,34	9,80	10,68	4,33	4,58	23,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Esquema 2 años	14864	0,00	0,87	0,00	20,48	0,00	8,91	26,35	0,41	-2,44	2,44	0,00	0,00	0,00
Esquema 4 años	14892	0,00	0,87	0,00	20,48	0,00	8,91	26,35	0,41	-2,44	2,44	0,00	0,00	0,00
Más puntos iniciales														
Sin PSA	15867	0,00	0,07	0,00	12,48	0,00	17,71	31,79	1,31	-2,44	2,44	-0,13	-1,33	1,47
Esquema 2 años	16259	0,00	0,07	0,00	12,48	0,00	17,71	31,79	1,31	-2,44	2,44	-0,13	-1,33	1,47
Esquema 4 años	16291	0,00	0,07	0,00	12,48	0,00	17,71	31,79	1,31	-2,44	2,44	-0,13	-1,33	1,47
Menos puntos iniciales														
Sin PSA	-1698472114	1,03	0,64	17,80	10,68	0,03	0,08	18,82	-0,85	0,70	-0,70	0,13	1,33	-1,47
Esquema 2 años	-417467795	0,00	0,64	18,83	10,68	0,03	0,08	19,22	-0,78	0,70	-0,70	-0,04	1,51	-1,47
Esquema 4 años	-427449480	1,03	0,64	17,80	10,68	0,03	0,08	18,82	-0,85	0,70	-0,70	0,13	1,33	-1,47
1.5 veces el PSA														
Esquema 2 años	15028	0,00	0,87	0,00	20,45	0,00	8,94	26,37	0,41	-2,44	2,44	0,00	-0,01	0,00
Esquema 4 años	15011	0,00	0,87	0,00	20,48	0,00	8,91	26,35	0,41	-2,44	2,44	0,00	0,00	0,00
Dos veces el PSA														
Esquema 2 años	15193	0,00	0,87	0,00	20,48	0,00	8,91	26,35	0,41	-2,44	2,44	0,00	0,00	0,00
Esquema 4 años	15248	0,00	0,87	0,00	20,48	0,00	8,91	26,35	0,41	-2,44	2,44	0,00	0,00	0,00
2.5 veces el PSA														
Esquema 2 años	15259	0,00	0,87	0,00	20,48	0,00	8,91	26,35	0,41	-2,44	2,44	0,00	0,00	0,00

Esquema 4 años	15611	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,26	39,34	2,57	-2,44	2,44	-0,15	-3,41	3,56
Tres veces el PSA																	
Esquema 2 años	15457	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,26	39,34	2,57	-2,44	2,44	-0,15	-3,41	3,56
Esquema 4 años	15982	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,26	39,34	2,57	-2,44	2,44	-0,15	-3,41	3,56
Cuatro veces el PSA																	
Esquema 2 años	16023	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,26	39,34	2,57	-2,44	2,44	-0,15	-3,41	3,56
Esquema 4 años	16722	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,26	39,34	2,57	-2,44	2,44	-0,15	-3,41	3,56
Cinco veces el PSA																	
Esquema 2 años	16588	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,26	39,34	2,57	-2,44	2,44	-0,15	-3,41	3,56
Esquema 4 años	17462	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,26	39,34	2,57	-2,44	2,44	-0,15	-3,41	3,56
Efecto del tamaño de la finca																	
Pequeña.Sin PSA	5131	0,20	0,30	3,30	4,08	1,00	2,60	9,40	0,00	2,60	9,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pequeña.Esquema 2	5225	0,20	0,30	3,30	4,08	1,00	2,60	9,40	0,00	2,60	9,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pequeña.Esquema 4	5225	0,20	0,30	3,30	4,08	1,00	2,60	9,40	0,00	2,60	9,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mediana. Sin PSA	11187	0,50	0,30	9,80	10,70	4,30	4,60	23,92	0,00	4,60	23,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mediana. Esquema 2	14864	0,00	0,90	0,00	20,50	0,00	8,90	26,35	0,41	8,90	26,35	0,41	-2,44	2,45	0,00	0,00	0,00
Mediana. Esquema 4	14892	0,00	0,90	0,00	20,50	0,00	8,90	26,35	0,41	8,90	26,35	0,41	-2,44	2,45	0,00	0,00	0,00
Grande. Sin PSA	40314	0,00	1,80	0,00	41,40	0,00	13,00	47,24	0,28	13,00	47,24	0,28	-2,44	6,77	0,16	3,49	0,68
Grande. Esquema 2	40831	0,00	1,80	0,00	41,40	0,00	13,00	47,24	0,28	13,00	47,24	0,28	-2,44	6,77	0,16	3,49	0,68
Grande. Esquema 4	40850	0,00	1,80	0,00	41,40	0,00	13,00	47,24	0,28	13,00	47,24	0,28	-2,44	6,77	0,16	3,49	0,68
Aumento del PSA																	
Fincas pequeñas											Puntos iniciales	9,400					
Pago actual																	
Sin PSA	5131	0,20	0,30	3,30	4,08	1,00	2,60	9,40	0,00	2,60	9,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Esquema 2	5225	0,20	0,30	3,30	4,08	1,00	2,60	9,40	0,00	2,60	9,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Esquema 4	5225	0,20	0,30	3,30	4,08	1,00	2,60	9,40	0,00	2,60	9,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1.5 veces el PSA																	
Esquema 2 años	6369	0,00	0,51	0,00	7,33	0,00	3,62	10,09	0,12	3,62	10,09	0,12	-2,44	-0,69	-0,06	-2,19	-0,88
Esquema 4 años	6381	0,00	0,51	0,00	7,33	0,00	3,62	10,09	0,12	3,62	10,09	0,12	-2,44	-0,69	-0,06	-2,19	-0,88
2 veces el PSA																	
Esquema 2 años	6429	0,00	0,51	0,00	7,33	0,00	3,62	10,09	0,12	3,62	10,09	0,12	-2,44	-0,69	-0,06	-2,19	-0,88
Esquema 4 años	6445	0,00	0,51	0,00	7,33	0,00	3,62	10,09	0,12	3,62	10,09	0,12	-2,44	-0,69	-0,06	-2,19	-0,88
2.5 veces mas el PSA																	

Esquema 2 años	6489	0,00	0,51	0,00	7,33	0,00	3,62	10,09	0,12	-2,44	-0,69	-0,06	-2,19	-0,88
Esquema 4 años	6610	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,46	14,89	0,92	-2,44	-0,69	-0,15	-3,41	0,43
3 el PSA														
Esquema 2 años	6602	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,46	14,89	0,92	-2,44	-0,69	-0,15	-3,41	0,43
Esquema 4 años	6789	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,46	14,89	0,92	-2,44	-0,69	-0,15	-3,41	0,43
4 veces mas el PSA														
Esquema 2 años	6898	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,46	14,89	0,92	-2,44	-0,69	-0,15	-3,41	0,43
Esquema 4 años	7147	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,46	14,89	0,92	-2,44	-0,69	-0,15	-3,41	0,43
5 veces mas el PSA														
Esquema 2 años	7193	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,46	14,89	0,92	-2,44	-0,69	-0,15	-3,41	0,43
Esquema 4 años	7505	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,46	14,89	0,92	-2,44	-0,69	-0,15	-3,41	0,43
Fincas medianas								Puntos iniciales	23,92					
Pago actual														
Sin PSA														
Esquema 2	11187	0,53	0,34	9,80	10,68	4,33	4,58	23,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Esquema 4	14864	0,00	0,87	0,00	20,48	0,00	8,91	26,35	0,41	-2,44	2,44	0,00	0,00	0,00
1.5 veces el PSA														
Esquema 2 años	15028	0,00	0,87	0,00	20,45	0,00	8,94	26,37	0,41	-2,44	2,44	0,00	-0,01	0,00
Esquema 4 años	15011	0,00	0,87	0,00	20,48	0,00	8,91	26,35	0,41	-2,44	2,44	0,00	0,00	0,00
Dos veces el PSA														
Esquema 2 años	15193	0,00	0,87	0,00	20,48	0,00	8,91	26,35	0,41	-2,44	2,44	0,00	0,00	0,00
Esquema 4 años	15248	0,00	0,87	0,00	20,48	0,00	8,91	26,35	0,41	-2,44	2,44	0,00	0,00	0,00
2.5 veces el PSA														
Esquema 2 años	15259	0,00	0,87	0,00	20,48	0,00	8,91	26,35	0,41	-2,44	2,44	0,00	0,00	0,00
Esquema 4 años	15611	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,26	39,34	2,57	-2,44	2,44	-0,15	-3,41	3,56
Tres veces el PSA														
Esquema 2 años	15457	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,26	39,34	2,57	-2,44	2,44	-0,15	-3,41	3,56
Esquema 4 años	15982	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,26	39,34	2,57	-2,44	2,44	-0,15	-3,41	3,56
Cuatro veces el PSA														
Esquema 2 años	16023	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,26	39,34	2,57	-2,44	2,44	-0,15	-3,41	3,56
Esquema 4 años	16722	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,26	39,34	2,57	-2,44	2,44	-0,15	-3,41	3,56
Cinco veces el PSA														
Esquema 2 años	16588	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,26	39,34	2,57	-2,44	2,44	-0,15	-3,41	3,56

Esquema 4 años	17462	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,26	39,34	2,57	-2,44	2,44	-0,15	-3,41	3,56
Fincas grandes											Puntos iniciales	45,560					
Pago actual																	
Sin PSA	40314	0,00	1,80	0,00	41,40	0,00	13,00	47,24				0,28	-2,44	6,77	0,16	3,49	0,68
Esquema 2	40831	0,00	1,80	0,00	41,40	0,00	13,00	47,24				0,28	-2,44	6,77	0,16	3,49	0,68
Esquema 4	40850	0,00	1,80	0,00	41,40	0,00	13,00	47,24				0,28	-2,44	6,77	0,16	3,49	0,68
1.5 veces mas el PSA																	
Esquema 2 años	40906	0,00	1,83	0,00	41,40	0,00	13,00	47,24				0,28	-2,44	6,77	0,16	3,49	0,68
Esquema 4 años	40934	0,00	1,83	0,00	41,40	0,00	13,00	47,24				0,28	-2,44	6,77	0,16	3,49	0,68
2 veces el PSA																	
Esquema 2 años	40937	0,00	1,83	0,00	41,40	0,00	13,00	47,24				0,28	-2,44	6,77	0,16	3,49	0,68
Esquema 4 años	40974	0,00	1,83	0,00	41,40	0,00	13,00	47,24				0,28	-2,44	6,77	0,16	3,49	0,68
2.5 veces mas el PSA																	
Esquema 2 años	40967	0,00	1,83	0,00	41,40	0,00	13,00	47,24				0,28	-2,44	6,77	0,16	3,49	0,68
Esquema 4 años	41474	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	56,56	73,53				4,66	-2,44	6,83	-0,15	-3,41	7,94
3 el PSA																	
Esquema 2 años	41194	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	56,56	73,53				4,66	-2,44	6,83	-0,15	-3,41	7,94
Esquema 4 años	42144	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	56,56	73,53				4,66	-2,44	6,83	-0,15	-3,41	7,94
4 veces mas el PSA																	
Esquema 2 años	42219	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	56,56	73,53				4,66	-2,44	6,83	-0,15	-3,41	7,94
Esquema 4 años	43109	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	56,56	73,53				4,66	-2,44	6,83	-0,15	-3,41	7,94
5 veces mas el PSA																	
Esquema 2 años	43118	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	56,56	73,53				4,66	-2,44	6,83	-0,15	-3,41	7,94
Esquema 4 años	44324	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	56,56	73,53				4,66	-2,44	6,83	-0,15	-3,41	7,94

Anexo 10. Programación del sistema de producción en MatLab™

1. RUTINAS PRINCIPALES

1.1. Varias simulaciones

```
function variasSimulacionesFinal;
global Contexto;
global estadoGlobal;

for i = 1:9
    % ***** PARAMETROS DE REFERENCIA (no cambiar)
    %definir contexto
    Contexto = definirContexto;
    Contexto.TasaInteresPrestamo = 10;
    %definir finca
    estadoGlobal.dinero = 2163;
    estadoGlobal.dineroFamilia = 0.5;
    estadoGlobal.jornalesFamiliaresAnual = 975;
    estadoGlobal.restriccionTrabajo = 1;
    estadoGlobal = InicializarHatoFinca (38, Contexto.PracticasEngorde.PesoCompra,
Contexto.PracticasEngorde.PesoVenta-10, estadoGlobal);
    estadoGlobal = InicializarUsoSueloFincaConArboles(0.53,0.34, 9.80, 10.68, 4.33, 4.58, estadoGlobal);
    % CUANTOS ANOS SE SIMULA LA FINCA
    estadoGlobal.numeroAnos = 6;
    % ESQUEMA DE PAGO DEL PSA (0 o 2 o 4)
    estadoGlobal.esquemaPagoPsa = 4;
    % ***** FIN DE LOS PARAMETROS DE REFERENCIA
    % ***** VARIABLES DE LA SIMULACION (por cambiar)
    % Aquí se presentan 9 simulaciones que buscan ver el efecto del PSA en varios precios de la carne
    % Todas las simulaciones y análisis de sensibilidad se lanzaron desde esta rutina.
    switch i
        case 1
            estadoGlobal.esquemaPagoPsa = 0;
        case 2
            estadoGlobal.esquemaPagoPsa = 2;
        case 3
            estadoGlobal.esquemaPagoPsa = 4;
        case 4
            estadoGlobal.esquemaPagoPsa = 0;
            Contexto.Mercado.Precio.Venta.Novillo = 0.93*1.2;
            Contexto.Mercado.Precio.Venta.Toro = 0.93*1.2;
        case 5
            estadoGlobal.esquemaPagoPsa = 2;
            Contexto.Mercado.Precio.Venta.Novillo = 0.93*1.2;
            Contexto.Mercado.Precio.Venta.Toro = 0.93*1.2;
        case 6
            estadoGlobal.esquemaPagoPsa = 4;
            Contexto.Mercado.Precio.Venta.Novillo = 0.93*1.2;
            Contexto.Mercado.Precio.Venta.Toro = 0.93*1.2;
        case 7
            estadoGlobal.esquemaPagoPsa = 0;
            Contexto.Mercado.Precio.Venta.Novillo = 0.93*0.8;
            Contexto.Mercado.Precio.Venta.Toro = 0.93*0.8;
        case 8
```

```

estadoGlobal.esquemaPagoPsa = 2;
Contexto.Mercado.Precio.Venta.Novillo = 0.93*0.8;
Contexto.Mercado.Precio.Venta.Toro = 0.93*0.8;
case 9
estadoGlobal.esquemaPagoPsa = 4;
Contexto.Mercado.Precio.Venta.Novillo = 0.93*0.8;
Contexto.Mercado.Precio.Venta.Toro = 0.93*0.8;

```

1.2. Optimización de los ingresos del sistema de engorde con cambio de uso del suelo

```

function OptimizacionIngresosEngordeCambioUso
inicio= clock;
global Contexto;
global estadoGlobal;

areatotal = AreaPastura(estadoGlobal);
% Valores iniciales de cada x(i)
x0 = areatotal / estadoGlobal.numeroAnos * [1 0 0 0 0 0];
% Coeficientes de la restriccion
A = estadoGlobal.numeroAnos * [1 1 0 0 0 0; -1 0 1 0 0 0; 0 -1 0 1 1 0 0; 0 0 -1 -1 0 1 0; 0 0 0 0 -1 0
1; 0 0 0 0 0 -1 -1];
% Limite de la restriccion <= AreaTotal
b = [AreaDeUnTipo(estadoGlobal,'pasturaNatural') AreaDeUnTipo(estadoGlobal,'pasturaMejorada')
AreaDeUnTipo(estadoGlobal,'pasturaNaturalBDA') AreaDeUnTipo(estadoGlobal,'pasturaMejoradaBDA')
AreaDeUnTipo(estadoGlobal,'pasturaNaturalADA') AreaDeUnTipo(estadoGlobal,'pasturaMejoradaADA')
];

LB = [0 0 0 0 0 0];
UB = areatotal * [1 1 1 1 1 1];

disp('INICIAL');
disp(['Dinero finca + familia + valor hatu = ', num2str( estadoGlobal.dinero)]);
disp(['areaPN=', num2str( AreaDeUnTipo(estadoGlobal,'pasturaNatural')), ' areaPM=', num2str(
AreaDeUnTipo(estadoGlobal,'pasturaMejorada')), ' areaPNb=', num2str(
AreaDeUnTipo(estadoGlobal,'pasturaNaturalBDA')), ' areaPMb=', num2str(
AreaDeUnTipo(estadoGlobal,'pasturaMejoradaBDA')), ' areaPNa=', num2str(
AreaDeUnTipo(estadoGlobal,'pasturaNaturalADA')), ' areaPMa=', num2str(
AreaDeUnTipo(estadoGlobal,'pasturaMejoradaADA'))]);
disp(['puntosTotales=', num2str(puntosTotales(estadoGlobal))]);
options = optimset('LargeScale','off','Display','off');

%funcion de optimizacion
[x,fval] = fmincon('resultadosVariosAnosConCambios',x0,A,b,[],[],LB,UB,[],options);

disp('FINAL');
disp(x);
disp(['Ganancia total = ', num2str(-fval), ', Dinero finca + familia + valor hatu = ', num2str(
estadoGlobal.dinero - fval)]);
estadoFinal = InicializarUsoSueloFincaConArboles(AreaDeUnTipo(estadoGlobal,'pasturaNatural') + (-x(1)-
x(2))*estadoGlobal.numeroAnos,AreaDeUnTipo(estadoGlobal,'pasturaMejorada') + (-
x(3)+x(1))*estadoGlobal.numeroAnos,AreaDeUnTipo(estadoGlobal,'pasturaNaturalBDA') + (-x(4)-
x(5)+x(2))*estadoGlobal.numeroAnos,AreaDeUnTipo(estadoGlobal,'pasturaMejoradaBDA') + (-
x(6)+x(3)+x(4))*estadoGlobal.numeroAnos,AreaDeUnTipo(estadoGlobal,'pasturaNaturalADA') + (-
x(7)+x(5))*estadoGlobal.numeroAnos,AreaDeUnTipo(estadoGlobal,'pasturaMejoradaADA') +
(x(6)+x(7))*estadoGlobal.numeroAnos,estadoGlobal);

```



```

disp(['areaPN=', num2str( AreaDeUnTipo(estadoGlobal,'pasturaNatural') + (-x(1)-
x(2))*estadoGlobal.numeroAnos), ' areaPM=', num2str( AreaDeUnTipo(estadoGlobal,'pasturaMejorada') +
(-x(3)+x(1))*estadoGlobal.numeroAnos), ' areaPNb=', num2str(
AreaDeUnTipo(estadoGlobal,'pasturaNaturalBDA') + (-x(4)-x(5)+x(2))*estadoGlobal.numeroAnos), '
areaPMb=', num2str( AreaDeUnTipo(estadoGlobal,'pasturaMejoradaBDA') + (-
x(6)+x(3)+x(4))*estadoGlobal.numeroAnos), ' areaPNa=', num2str(
AreaDeUnTipo(estadoGlobal,'pasturaNaturalADA') + (-x(7)+x(5))*estadoGlobal.numeroAnos), '
areaPMa=', num2str( AreaDeUnTipo(estadoGlobal,'pasturaMejoradaADA') +
(x(6)+x(7))*estadoGlobal.numeroAnos)];
disp(['puntosTotales=', num2str(puntosTotales(estadoFinal))]);

```

```

duracion = clock - inicio;
disp(['La optimizacion llevo ', num2str(duracion(3)*24*60+duracion(4)*60+duracion(5)+duracion(6)/60), '
minutos']);

```

1.3. Resultados de varios años con cambios

```

function result = resultadosVariosAnosConCambios(x) %x = 7 informaciones de tasa anual de cambio de
uso del suelo

```

```

global Contexto;
global estadoGlobal;
estadoInicial = estadoGlobal;
estado = estadoGlobal;

```

```

% x(1) PN - PM
% x(2) PN - PNBDA
% x(3) PM - PMBDA
% x(4) PNBDA - PMBDA
% x(5) PNBDA - PNADA
% x(6) PMBDA - PMADA
% x(7) PNADA - PMADA

```

```

numeroAnos = estadoGlobal.numeroAnos;

```

```

areaPN = AreaDeUnTipo(estadoInicial,'pasturaNatural') ;
areaPM = AreaDeUnTipo(estadoInicial,'pasturaMejorada') ;
areaPNBDA = AreaDeUnTipo(estadoInicial,'pasturaNaturalBDA');
areaPMBDA = AreaDeUnTipo(estadoInicial,'pasturaMejoradaBDA');
areaPNADA = AreaDeUnTipo(estadoInicial,'pasturaNaturalADA');
areaPMADA = AreaDeUnTipo(estadoInicial,'pasturaMejoradaADA');

```

```

for ano = 1:numeroAnos; %Numero de años de cambio de uso del suelo
% LA FINCA EMPIEZA EL AÑO CON TODA LA MANO DE OBRA ANUAL
estado.jornalesFamiliaresNoUtilizadosEsteAño = estado.jornalesFamiliaresAnual;

```

```

% LA FINCA RECIBE EL PSA

```

```

if estado.esquemaPagoPsa > 0

```

```

    if ano == 1

```

```

        estado = recibePsaLineaBase(estado);

```

```

    elseif ano <= 1 + estado.esquemaPagoPsa

```

```

        if estado.esquemaPagoPsa==2

```

```

            estado = recibePsaNormal(estado,x,Contexto.precioPuntoPSA.Esq2);

```

```

        elseif estado.esquemaPagoPsa==4

```

```

            estado = recibePsaNormal(estado,x,Contexto.precioPuntoPSA.Esq4);

```

```

        end

```

```

end
end
% COSTOS Y MANO DE OBRA PARA CAMBIOS DE USO
estado = pagoInsumosYTrabajoCambios(estado,x);

areaPN = max(0,areaPN + (-x(1)-x(2)));
areaPM = max(0,areaPM + (-x(3)+x(1)));
areaPNBDA = max(0,areaPNBDA + (-x(4)-x(5)+x(2)));
areaPMBDA = max(0,areaPMBDA + (-x(6)+x(3)+x(4)));
areaPMADA = max(0,areaPMADA + (+x(6)+x(7)));
areaPNADA = max(0,areaPNADA + (+x(5)-x(7)));

estado = InicializarUsoSueloFincaConArboles
(areaPN,areaPM,areaPNBDA,areaPMBDA,areaPNADA,areaPMADA,estado);
estado = evolucionEngordeUnAño (estado);
% LA FINCA DA DINERO A LA FAMILIA (% fijo)
estado.dineroFamilia = estado.dineroFamilia + estado.dinero * Contexto.porcentajeDineroParaFamilia;
estado.dinero = estado.dinero - estado.dinero * Contexto.porcentajeDineroParaFamilia;
end
result = -(estado.dinero + valorHato(estado) + estado.dineroFamilia - (estadoInicial.dinero +
valorHato(estadoInicial)));
% disp(['Despues de ',num2str(numeroAños),' años, ganancia',num2str(-result),'areaPN=', num2str(areaPN),
' areaPM=', num2str(areaPM),' areaPNb=', num2str(areaPNBDA),' areaPMb=', num2str(areaPMBDA),'
areaPNa=', num2str(areaPNADA),' areaPMa=', num2str(areaPMADA)]);

```

1.4. Evolución del sistema de engorde durante un año

```

function result= evolucionEngordeUnAño (estadoFincaInicial);
global Contexto;
result = estadoFincaInicial;

% LA FINCA PAGA Y TRABAJA (si puede). Si no, la producción sera mas baja
result = pagoInsumosYTrabajo(result);

for mes = 1:12
    % LA FINCA EVOLUCIONA
    result = evolucionFincaMes(result,temporada(mes));
    % VENDER/COMPRAR y DETECTAR/QUITAR ANIMALES VACIOS
    result= ventaCompraDepuraAnimales(result);
    % ALMACENAR INFORMACION
    result.pesosTodosMeses(mes)=pesoTotal(result);
    result.numeroAnimales(mes)=length(result.hato.tipo);
    result.materiaSecaTotal(mes)=materiaSecaPorHectarea(result);
end

```

1.5. Evolución de la finca a nivel de mes

```

function result = evolucionFincaMes(estadoFinca,temporada)
global Contexto;
result = estadoFinca;

% calcular la materia seca disponible en total
sumaMS = 0;

```

```

for i = 1:length(estadoFinca.usoSuelo.MateriaSeca)
    nombre = estadoFinca.usoSuelo.tipo{1,i};
    if strcmp(nombre(1:4), 'past')== 1
        sumaMS = sumaMS + result.usoSuelo.MateriaSeca(1,i) * result.usoSuelo.area(1,i);
    end
end

% CADA PARCELA DE PASTURA EVOLUCIONA DURANTE UN MES
for i = 1:length(estadoFinca.usoSuelo.MateriaSeca)
    tipoPasto = estadoFinca.usoSuelo.tipo{1,i};
    if strcmp(tipoPasto(1:4), 'past')== 1

        % calculo de x (util para calcular el consumo del hato)
        % (cada parcela recibe todos los animales durante x dias)
        if sumaMS==0
            x = 30 / length(estadoFinca.usoSuelo.MateriaSeca);
        else
            x = eps + 30 * result.usoSuelo.MateriaSeca(1,i) * result.usoSuelo.area(1,i) / sumaMS;
        end
        % un animal no puede comer mas de su "parte" (MS/num animal)
        maxConsumoIndividualDiario = result.usoSuelo.MateriaSeca(1,i) * result.usoSuelo.area(1,i) / length
(result.hato.peso) / x;

        % calculos de parametros para crecimiento y consumo
        if strcmp(temporada, 'verano')
            %Tasa mensual de crecimiento potencial de la pradera
            AP = getfield(Contexto.CrecimientoMensualMateriaSeca.verano, tipoPasto);
        else
            AP = getfield(Contexto.CrecimientoMensualMateriaSeca.invierno, tipoPasto);
        end
        AP = AP * result.coefcrecPasto;
        PD = getfield(Contexto.Digestibilidad, tipoPasto);
        ParametroEcuacionAjuste = getfield(Contexto.ParametroEcuacionAjusteCrecimiento, tipoPasto);
        % Calcular el factor de ajuste AD de la materia seca disponible
        AD = exp(-1/1125803*(result.usoSuelo.MateriaSeca(1,i) - ParametroEcuacionAjuste)^2);
        if AD < 0
            AD = 0;
        end

        % calculo del consumo de los animales
        consumoTotal = 0;
        for ani = 1: length(result.hato.peso)
            if result.hato.peso(1,ani)<0 | isnan(result.hato.peso(1,ani))
                stop
            end
            CP = 13/(1 + 7.38 * exp(-0.05 * result.hato.semanas(1,ani)));
            % la formula de DA de Becker era con "result.hato.semanas(1,ani)" en lugar de 52
            % la cambiamos porque los animales de mas de 1.5 años tenían un DA bajo y no crecían más
            DA = exp((2.18 - 0.19 * 52)*(0.75-PD/100)^2);
            AC = 1 - 1/exp(0.001352 * (result.usoSuelo.MateriaSeca(1,i)));
            W = min(AC,DA);
            CO = min(CP * W, maxConsumoIndividualDiario);
            consumoTotal = consumoTotal + CO;
            ME = 1883 + (20.7 * result.hato.peso(1,ani));
        end
    end
end

```

```

MI = min(60,(18 + (1302/(result.usoSuelo.MateriaSeca (1,i))) +
(448.62/((result.usoSuelo.MateriaSeca (1,i))^2)))));
ME = ME * ((MI/100) + 1);
CM = ME / ((PD/100)*3600);
if CM < 0
    CM = 0;
end
CG = CO - CM;
DE = CG * PD * 44;
GA = DE / (175.5 * (result.hato.peso(1,ani))^0.75) * result.coefcresGanPeso;
% el animal crece de GA por dia y se queda x dias
result.hato.peso (1,ani) = result.hato.peso (1,ani) + GA * x;
% el animal puede cambiar de tipo
if result.hato.peso (1,ani) > Contexto.PracticasEngorde.LimiteEntreToroNovillo &
strcmp(result.hato.tipo {1,ani},'novillo')
    result.hato.tipo {1,ani} = 'toro';
end
% el animal puede morir
if result.hato.peso (1,ani) < 0
    result.hato.peso (1,ani) = 0;
    result.hato.tipo {1,ani} = 'muerto';
    mensaje= ['se murio el animal ', num2str(ani)];
    disp(mensaje);
end
% el animal aumenta su edad de x dias
result.hato.semanas (1,ani) = result.hato.semanas (1,ani) + x/360*52;
end
% el crecimiento es AP*AD/30 en un dia. Aca trabajamos sobre un mes, el crecimiento es AP*AD.
% la disminucion es consumoTotal / area en un dia. Aca, los animales comen durante x dias
result.usoSuelo.MateriaSeca (1,i) = result.usoSuelo.MateriaSeca (1,i) + (AP * AD) - consumoTotal * x
/ result.usoSuelo.area(1,i);

if result.usoSuelo.MateriaSeca (1,i) < 0
    result.usoSuelo.MateriaSeca (1,i) = 0;
end

end
end

```

1.6. Definición de contexto

```

function result = definirContexto;
% tasa de interes para prestamo. Si es muy muy alta, es equivalente a una restriccion total de efectivo. Por
ejemplo 10 (=1000%).
result.TasaInteresPrestamo = 10;
% el porcentaje del dinero que la finca da a la familia
result.porcentajeDineroParaFamilia = 0.50;
% Solo para Sistema Cria. Porcentaje de ganacia de peso, el resto es para
% la produccion de leche.
result.PorcentajeGananciaPesoVivo = 0.5;
% result.Mercado.KiloVaca = 600;
% result.Mercado.KiloNovillo = 795;
% result.Mercado.KiloToro = 795;
result.Temporada.DuracionVerano = 5;
result.Temporada.MesInicioVerano = 1;

```

```

% Practicas economicas del sistema de engorde
result PracticasEngorde.PesoVenta = 350;
result PracticasEngorde.PesoCompra = 200;
result PracticasEngorde.LimiteEntreToroNovillo = 350;
%Practicas de manejo de pastoreo
result.PracticasManejo.PorcentajeMateriaSecaMinimaAceptable = 0.1;
result PracticasManejo.DiasUsoPasto = 1;
% Mercado de la carne
result Mercado.Precio Venta.Toro = 0.93;
result Mercado.Precio Venta.Novillo = 0.93;
result Mercado.Precio Compra.Toro = 'no aplica';
result Mercado.Precio Compra.Novillo = 1.02;
% Mercado del trabajo
result CostoDiarioJornal = 7.23;
%Costos de Insumos
result CostoInsumosAnualUnidadAnimal = 25.9;
result CostosInsumosAnualesHectarea.pasturaNatural= 31.1;
result CostosInsumosAnualesHectarea.pasturaMejorada= 10.4;
result CostosInsumosAnualesHectarea.pasturaNaturalBDA= 31.1;
result CostosInsumosAnualesHectarea.pasturaMejoradaBDA= 10.4;
result CostosInsumosAnualesHectarea.pasturaNaturalADA= 31.1;
result CostosInsumosAnualesHectarea.pasturaMejoradaADA= 10.4;

% Trabajo
result JornalNecesarioAnualMantenimientoUnidadAnimal = 5.84;
result JornalesNecesariosMantenimientoAnualHectarea.pasturaNatural = 12;
result JornalesNecesariosMantenimientoAnualHectarea.pasturaMejorada = 1;
result JornalesNecesariosMantenimientoAnualHectarea.pasturaNaturalBDA = 12;
result JornalesNecesariosMantenimientoAnualHectarea.pasturaMejoradaBDA = 1;
result JornalesNecesariosMantenimientoAnualHectarea.pasturaNaturalADA = 12;
result JornalesNecesariosMantenimientoAnualHectarea.pasturaMejoradaADA = 1;

%Pasturas: Materia Seca inicial
result MateriaSecaInicial.pasturaNatural =1500;
result MateriaSecaInicial.pasturaMejorada =1500;
result MateriaSecaInicial.pasturaNaturalBDA =1500;
result MateriaSecaInicial.pasturaMejoradaBDA =1500;
result.MateriaSecaInicial.pasturaNaturalADA =1500;
result.MateriaSecaInicial.pasturaMejoradaADA =1500;

%Pasturas: ParametroEcuacionAjusteCrecimiento
result ParametroEcuacionAjusteCrecimiento.pasturaNatural = 1500;
result ParametroEcuacionAjusteCrecimiento.pasturaMejorada = 1500;
result ParametroEcuacionAjusteCrecimiento.pasturaNaturalBDA = 1500;
result ParametroEcuacionAjusteCrecimiento.pasturaMejoradaBDA = 1500;
result ParametroEcuacionAjusteCrecimiento.pasturaNaturalADA = 1500;
result ParametroEcuacionAjusteCrecimiento.pasturaMejoradaADA = 1500;

%Pasturas: Digestibilidad

result.Digestibilidad.pasturaNatural = 47;
result.Digestibilidad.pasturaMejorada = 51;
result.Digestibilidad.pasturaNaturalBDA = 47;
result.Digestibilidad.pasturaMejoradaBDA = 51;
result.Digestibilidad.pasturaNaturalADA = 47;

```

```

result.Digestibilidad.pasturaMejoradaADA = 51;
%Pasturas: Valores promedios de tasa de crecimiento de pasturas
result.CrecimientoMensualMateriaSeca.verano.pasturaNatural = 109;
result.CrecimientoMensualMateriaSeca.invierno.pasturaNatural = 910;
result.CrecimientoMensualMateriaSeca.verano.pasturaMejorada = 218;
result.CrecimientoMensualMateriaSeca.invierno.pasturaMejorada = 1820;
% BDA = 15 arboles/ha con area de copa de 122 m2
% area del 18% bajo sombra. El pasto crece solamente del 62% bajo sombra
% la mitad de los arboles producen 5 kg MS/semana en verano
result.CrecimientoMensualMateriaSeca.verano.pasturaNaturalBDA = 109.*(1 - 0.18 + 0.62 * 0.18) + 5 * 4
* 15 / 2;
result.CrecimientoMensualMateriaSeca.invierno.pasturaNaturalBDA = 910 * (1 - 0.18 + 0.62 * 0.18);
result.CrecimientoMensualMateriaSeca.verano.pasturaMejoradaBDA = 218 * (1 - 0.18 + 0.62 * 0.18) + 5 *
4 * 15 / 2;
result.CrecimientoMensualMateriaSeca.invierno.pasturaMejoradaBDA = 1820 * (1 - 0.18 + 0.62 * 0.18);
% ADA = 50 arboles/ha con area de copa de 122 m2
% area del 60% bajo sombra. El pasto crece solamente del 62% bajo sombra
% la mitad de los arboles producen 5 kg MS/semana en verano
result.CrecimientoMensualMateriaSeca.verano.pasturaNaturalADA = 109 * (1 - 0.60 + 0.62 * 0.60) + 5 * 4
* 50 / 2;
result.CrecimientoMensualMateriaSeca.invierno.pasturaNaturalADA = 910 * (1 - 0.60 + 0.62 * 0.60);
result.CrecimientoMensualMateriaSeca.verano.pasturaMejoradaADA = 218 * (1 - 0.60 + 0.62 * 0.60) + 5 *
4 * 50 / 2;
result.CrecimientoMensualMateriaSeca.invierno.pasturaMejoradaADA = 1820 * (1 - 0.60 + 0.62 * 0.60);
% Costo de cambio de una parcela de una hectarea de pastura Natural a pastura Mejorada
result.costoInsumoCambioUsoDePNaPM = 101;
result.costoInsumoCambioUsoDeSAaBDA = 27;
% result.costoInsumoCambioUsoDeSAaADA = 90;
result.costoInsumoCambioUsoDeBDAaADA = 63;
% Jornal de cambio de una parcela de una hectarea de pastura Natural a pastura Mejorada
result.jornalesCambioUsoDePNaPM = 14;
result.jornalesCambioUsoDeSAaBDA = 2.6;
% result.jornalesCambioUsoDeSAaADA = 8.7;
result.jornalesCambioUsoDeBDAaADA = 6.1;
% puntaje de PSA
result.puntosPSA.pasturaNatural = 0.2;
result.puntosPSA.pasturaMejorada = 0.5;
result.puntosPSA.pasturaNaturalBDA = 0.6;
result.puntosPSA.pasturaMejoradaBDA = 0.7;
result.puntosPSA.pasturaNaturalADA = 1;
result.puntosPSA.pasturaMejoradaADA = 1.3;
%precio PSA
result.precioPuntoPSALineaBase = 10;
result.precioPuntoPSAEsq2 = 110;
result.precioPuntoPSAEsq4 = 72;
% psa maximo por finca
result.maxPSALineaBase = 500;
result.maxPSANormal = 4500;

```

2. OPERACIONALES

2.1. Compra de los animales

```

function result = compraAnimal(estado, pesoComprado)
global Contexto;

```

```

result = estado;
if pesoComprado > Contexto.PracticasEngorde.LimiteEntreToroNovillo
    tipoComprado = 'toro';
else
    tipoComprado = 'novillo';
end
if tipoComprado == 'novillo'
    CostoAnimal = pesoComprado * Contexto.Mercado.Precio.Compra.Novillo;
elseif tipoComprado == 'toro'
    CostoAnimal = pesoComprado * Contexto.Mercado.Precio.Compra.Toro;
else
    stop
    % animal desconocido
end
result.dinero = result.dinero - CostoAnimal;
indiceDelNuevoAnimal = length(result.hato.peso)+1;
result.hato.peso(1,indiceDelNuevoAnimal) = pesoComprado;
result.hato.tipo(1,indiceDelNuevoAnimal) = tipoComprado;
result.hato.semanas(1,indiceDelNuevoAnimal) = pesoComprado/200*52;

```

2.2. Inicializar el hato de una finca

```

function result = InicializarHatoFinca (numAni, pesoMin, pesoMax, estado)
global Contexto
%inicializar el hato
% se define el hato con el numero de animales "numAni"
result = estado;
result.hato.peso = [ ];
result.hato.tipo = { };
result.hato.semanas = [ ];
if numAni == 1
    intervalo = 0;
else
    intervalo = (pesoMax - pesoMin)/(numAni - 1);
end
for x = 1: numAni
    peso = pesoMin + intervalo * (x - 1);
    result.hato.peso(x) = [peso];
    if peso < Contexto.PracticasEngorde.LimiteEntreToroNovillo
        result.hato.tipo{x} = 'novillo';
    else
        result.hato.tipo{x} = 'toro';
    end
    result.hato.semanas(x) = 52/200*peso;
end
%Por defecto, todo va bien con los animales
result.coefrecGanPeso = 1;

```

2.3. Inicializar el uso del suelo de una finca con árboles

```

function result = InicializarUsoSueloFincaConArboles (AreaPN, AreaPM, AreaPNBDA, AreaPMBDA,
AreaPNADA, AreaPMADA, estado)
global Contexto;
result = estado;

```

```

result.usoSuelo.tipo = {};
result.usoSuelo.area = [];
result.usoSuelo.MateriaSeca = [];

contador = 1;

for uso = 1:6
    switch uso
        case 1
            AreaP = AreaPN;
            nombre = 'pasturaNatural';
        case 2
            AreaP = AreaPM;
            nombre = 'pasturaMejorada';
        case 3
            AreaP = AreaPNBDA;
            nombre = 'pasturaNaturalBDA';
        case 4
            AreaP = AreaPMBDA;
            nombre = 'pasturaMejoradaBDA';
        case 5
            AreaP = AreaPNADA;
            nombre = 'pasturaNaturalADA';
        case 6
            AreaP = AreaPMADA;
            nombre = 'pasturaMejoradaADA';
    end;
    if AreaP < 1 & AreaP > 0
        Parcelas = 1;
    else
        Parcelas = fix(AreaP);
    end
    if AreaP > 0
        AreaúnaParcela = AreaP/Parcelas;
    end

    for i = contador:(Parcelas + contador -1)
        result.usoSuelo.tipo {i} = nombre;
        result.usoSuelo.area (i)= AreaúnaParcela;
        result.usoSuelo.MateriaSeca(i)= getfield (Contexto.MateriaSecaInicial, nombre);
    end
    contador = contador + Parcelas;
end

%Por defecto, todo va bien con las pasturas
result.coefrecPasto = 1;

```

2.4. Pago de insumos y trabajo

```

function result = pagoInsumosYTrabajo(estado);
global Contexto;
result = estado;
%Trabajo para animales (jornales disponibles disminuyen)
if result.restriccionTrabajo == 1
    trabajo = min (result.jornalesFamiliaresNoUtilizadosEsteAño, TrabajoHato(result));
else

```



```

    trabajo = TrabajoHato(result);
end
if trabajo < TrabajoHato(result)
    result.coefcrecGanPeso = result.coefcrecGanPeso * 0.8;
end
result.jornalesFamiliaresNoUtilizadosEsteAño = result.jornalesFamiliaresNoUtilizadosEsteAño - trabajo;
%Insumos para animales (dinero disminuye)
result.dinero = result.dinero - CostoHatoInsumo(result);
%Trabajo para pasto (jornales disponibles disminuyen)
if result.restriccionTrabajo == 1
    trabajo = min (result.jornalesFamiliaresNoUtilizadosEsteAño, TrabajoPastura(result));
else
    trabajo = TrabajoPastura(result);
end
if trabajo < TrabajoPastura(result)
    result.coefcrecPasto = result.coefcrecPasto * 0.8;
end
result.jornalesFamiliaresNoUtilizadosEsteAño = result.jornalesFamiliaresNoUtilizadosEsteAño - trabajo;
%Insumos para pasto (dinero disminuye)
result.dinero = result.dinero - CostoPasturaInsumo(result);
%si el trabajo es mas que la mano de obra familiar, se debe pagar
if result.jornalesFamiliaresNoUtilizadosEsteAño < 0
    result.dinero = result.dinero + result.jornalesFamiliaresNoUtilizadosEsteAño *
Contexto.CostoDiarioJornal;
    result.jornalesFamiliaresNoUtilizadosEsteAño = 0;
end

if result.dinero < 0
    result.dinero = result.dinero * (1 + Contexto.TasaInteresPrestamo);
end

```

2.5. Pagos de insumos y trabajo con cambio de uso del suelo

```

function result = pagoInsumosYTrabajoCambios(estado,x);
global Contexto;
result = estado;

InsumosTotales = Contexto.costoInsumoCambioUsoDePNaPM * max(0,x(1)) +
Contexto.costoInsumoCambioUsoDeSAaBDA * max(0,x(2)) +
Contexto.costoInsumoCambioUsoDeSAaBDA * max(0,x(3)) +
Contexto.costoInsumoCambioUsoDePNaPM * max(0,x(4)) +
Contexto.costoInsumoCambioUsoDeBDAAaADA * max(0,x(5)) +
Contexto.costoInsumoCambioUsoDeBDAAaADA * max(0,x(6)) +
Contexto.costoInsumoCambioUsoDePNaPM * max(0,x(7));
JornalesTotales = Contexto.jornalesCambioUsoDePNaPM * max(0,x(1)) +
Contexto.jornalesCambioUsoDeSAaBDA * max(0,x(2)) + Contexto.jornalesCambioUsoDeSAaBDA *
max(0,x(3)) + Contexto.jornalesCambioUsoDePNaPM * max(0,x(4)) +
Contexto.jornalesCambioUsoDeBDAAaADA * max(0,x(5)) + Contexto.jornalesCambioUsoDeBDAAaADA *
max(0,x(6)) + Contexto.jornalesCambioUsoDePNaPM * max(0,x(7));
result.jornalesFamiliaresNoUtilizadosEsteAño = result.jornalesFamiliaresNoUtilizadosEsteAño -
JornalesTotales;
result.dinero = result.dinero - InsumosTotales;

if result.jornalesFamiliaresNoUtilizadosEsteAño < 0

```

```

    result.dinero=result.dinero + result.jornalesFamiliaresNoUtilizadosEsteAno *
Contexto.CostoDiarioJornal;
    result.jornalesFamiliaresNoUtilizadosEsteAno = 0;
end

```

```

if result.dinero < 0
    result.dinero = result.dinero * (1 + Contexto.TasaInteresPrestamo);
end

```

2.6. Quitar animales vacios

```

function result = quitarAnimalesVacios (estado)
result = estado;
result.hato.tipo = {};
result.hato.peso = [];
result.hato.semanas = [];
j = 1;

for i = 1:length (estado.hato.peso)
    if estado.hato.peso (1,i)~= 0
        if strcmp(estado.hato.tipo(1,i),{'vendido'}) == 0 & strcmp(estado.hato.tipo(1,i),{'muerto'}) == 0;
            result.hato.tipo {1,j} = estado.hato.tipo {1,i};
            result.hato.peso (1,j) = estado.hato.peso (1,i);
            result.hato.semanas (1,j) = estado.hato.semanas (1,i);
            j = j + 1;
        end
    end
end
end

```

2.7. Recibe PSA de línea base

```

function result = recibePsaLineaBase(estado);
global Contexto;
result = estado;

result.dinero = result.dinero + min(Contexto.precioPuntoPSALineaBase * puntosTotales(result) ,
Contexto.maxPSALineaBase);

```

2.8. Recibe PSA por cambio de uso

```

function result = recibePsaNormal(estado,x,precio);
global Contexto;
result = estado;

puntosTotales = x(1) * (Contexto.puntosPSA.pasturaMejorada - Contexto.puntosPSA.pasturaNatural) +
x(2) * (Contexto.puntosPSA.pasturaNaturalBDA-Contexto.puntosPSA.pasturaNatural) + x(3) *
(Contexto.puntosPSA.pasturaMejoradaBDA - Contexto.puntosPSA.pasturaMejorada) + x(4) *
(Contexto.puntosPSA.pasturaMejoradaBDA - Contexto.puntosPSA.pasturaNaturalBDA) + x(5) *
(Contexto.puntosPSA.pasturaNaturalADA - Contexto.puntosPSA.pasturaNaturalBDA) + x(6) *
(Contexto.puntosPSA.pasturaMejoradaADA - Contexto.puntosPSA.pasturaMejoradaBDA) + x(7) *
(Contexto.puntosPSA.pasturaMejoradaADA - Contexto.puntosPSA.pasturaNaturalADA);
result.dinero = result.dinero + min(precio * puntosTotales,
Contexto.maxPSANormal/result.esquemaPagoPsa);

```

3. INDICADORES

3.1. Área de un tipo de pastura

```
function result = AreaDeUnTipo(estado,nombreDelTipo)
result = 0;
numeroParcelas = length(estado.usoSuelo.tipo);
for i = 1:numeroParcelas
    nombre = estado.usoSuelo.tipo{i};
    if strcmp(nombre,nombreDelTipo)== 1
        result = result + estado.usoSuelo.area(1,i);
    end
end
```

3.2. Área de una pastura

```
function result = AreaPastura(estado)
result = 0;
numeroParcelas = length(estado.usoSuelo.tipo);
for i = 1:numeroParcelas
    nombre = estado.usoSuelo.tipo{i};
    if strcmp(nombre(1:4),'past')== 1
        result = result + estado.usoSuelo.area(1,i);
    end
end
```

3.3. Costos de insumos del hato

```
function result = CostoHatoInsumo(estado)
global Contexto;
result = Contexto.CostoInsumosAnualUnidadAnimal * length(estado.hato.peso);
```

3.4. Costos de insumos de la pastura

```
function result = CostoPasturaInsumo(estado)
global Contexto;
result = 0;
for i = 1:length(estado.usoSuelo.MateriaSeca)
    tipoPasto = estado.usoSuelo.tipo{1,i};
    if strcmp(tipoPasto(1:4),'past')== 1
        result = result + getfield(Contexto.CostosInsumosAnualesHectarea,tipoPasto) *
estado.usoSuelo.area(1,i);
    end
end
```

3.5. Costos totales

```
function result = CostoTotal(estado)
global Contexto;
result = CostoHatoInsumo(estado) + CostoPasturaInsumo(estado) + (TrabajoHato(estado) +
TrabajoPastura(estado)) * Contexto.CostoDiarioJornal;
```

3.6. Materia seca por hectárea

```
function result = materiaSecaPorHectarea(estado)
global Contexto;
```

```

result = 0;
for i= 1:length(estado usoSuelo.area)
    nombre = estado.usoSuelo.tipo{1,i};
    if strcmp (nombre(1:4),'past')== 1 | strcmp (nombre(1:4),'Past')== 1
        result = result + estado.usoSuelo.MateriaSeca(1,i) * estado.usoSuelo.area(1,i);
    end
end
result = result / areaPastura(estado);

```

3.7. Peso total

```

function result = PesoTotal(estado)
result = 0;
for i = 1:length (estado.hato.peso);
result = result + estado.hato.peso(1,i);
end

```

3.8. Puntos totales

```

function result = puntosTotales (estado)
global Contexto;
result = 0;
for i = 1:length(estado.usoSuelo.MateriaSeca)
    tipoPasto = estado.usoSuelo.tipo{1,i};
    result = result + getfield (Contexto.puntosPSA, tipoPasto) * estado.usoSuelo.area(1,i);
end

```

3.9. Temporada

```

function result=temporada(mes)
global Contexto;
if rem (mes - Contexto.Temporada.MesInicioVerano, 12) < Contexto.Temporada.DuracionVerano;
    result = 'verano';
else
    result = 'invierno';
end

```

3.10. Trabajo necesario para el manejo del hato

```

function result = TrabajoHato(estado)
global Contexto;
result = Contexto.JornalNecesarioAnualMantenimientoUnidadAnimal * length(estado.hato.peso);

```

3.11. Trabajo necesario para el manejo de la pastura

```

function result = TrabajoPastura(estado)
global Contexto;
result = 0;
for i = 1:length(estado.usoSuelo.MateriaSeca)
    tipoPasto = estado.usoSuelo.tipo{1,i};
    if strcmp (tipoPasto(1:4), 'past')== 1
        result = result + getfield (Contexto.JornalesNecesariosMantenimientoAnualHectarea, tipoPasto) *
estado.usoSuelo.area(1,i);
    end
end

```

3.12. Valor del hato

```
function result = ValorHato(estados)
global Contexto;
result = 0;
for i = 1:length(estados.hato.peso);
    % comando strcmp para comparar entre dos cell array
    if strcmp(estados.hato.tipo(1,i),{'novillo'})
        result = result + estados.hato.peso(1,i)* Contexto.Mercado.Precio.Venta.Novillo;
    elseif strcmp(estados.hato.tipo(1,i),{'toro'})
        result = result + estados.hato.peso(1,i)* Contexto.Mercado.Precio.Venta.Toro;
    else
        stop
        %animal cuyo precio no se conoce
    end
end
end
```

3.13. Venta de animales

```
function result = ventaAnimal(estados, listaIndicesAnimales)
global Contexto;
result = estados;
for i=listaIndicesAnimales
    if strcmp(result.hato.tipo(1,i),{'novillo'})
        valorVenta = result.hato.peso(1,i)* Contexto.Mercado.Precio.Venta.Novillo;
    elseif strcmp(result.hato.tipo(1,i),{'toro'})
        valorVenta = result.hato.peso(1,i)* Contexto.Mercado.Precio.Venta.Toro;
    else
        stop
    end
    result.hato.peso(1,i) = 0;
    result.hato.tipo(1,i) = 'vendido';
    result.dinero = result.dinero + valorVenta ;
end
```

3.14. Venta, compra y depuración de animales

```
function result = ventaCompraDepuraAnimales(estados)
global Contexto;
result = estados;
hayAnimalesVaciosMuertos = 0;
for ani = 1:length(result.hato.peso)
    if result.hato.peso(1,ani) > Contexto.PracticasEngorde.PesoVenta;
        result = ventaAnimal(result,ani);
        result = compraAnimal(result, Contexto.PracticasEngorde.PesoCompra);
        hayAnimalesVaciosMuertos = 1;
    end
    if result.hato.peso(1,ani) == 0;
        hayAnimalesVaciosMuertos = 1;
    end
end
if hayAnimalesVaciosMuertos
    result = quitarAnimalesVacios(result);
end
end,
```