

UNIVERSIDAD NACIONAL
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO
POSGRADO REGIONAL EN CIENCIAS VETERINARIAS TROPICALES



**EVALUACION DE ALTERNATIVAS DE DESARROLLO SOSTENIBLE EN
LOS HATOS DE LECHERÍA ESPECIALIZADA Y DOBLE PROPÓSITO
DE LA ESCUELA CENTROAMERICANA DE GANADERÍA**

Jesús González Vindas

Heredia, Setiembre del 2005

Tesis sometida a consideración del Tribunal Examinador del Posgrado Regional en
Ciencias Veterinarias Tropicales para optar al grado de *Magister Scientiae* en
Producción Animal Sostenible

MIEMBROS DEL TRIBUNAL EXAMINADOR

.....
José Rodríguez Zelaya Msc
Presidente Consejo Central de Postgrado

.....
Sandra Estrada König MSc
Directora PCVET

.....
Bernardo Vargas Leitón PhD
Tutor

.....
Francisco Romero Royo PhD
Asesor

.....
Fernando Sáenz Segura MSc
Asesor

.....
Jesús González Vindas
Sustentante

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN GENERAL.....	IV
AGRADECIMIENTO.....	VI
DEDICATORIA.....	VII
LISTA DE TABLAS.....	VIII
LISTA DE FIGURAS.....	IX
LISTA DE ANEXOS.....	XI
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	XII

Capítulo 1. González, J. 2005. DESARROLLO DE UN SISTEMA DE MONITOREO BASADO EN INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD PARA LOS HATOS DE LECHERÍA ESPECIALIZADA Y DOBLE PROPÓSITO DE LA ESCUELA CENTROAMERICANA DE GANADERÍA

Capítulo 2. González, J. 2005. USO DE ANALISIS DE DECISIÓN DE MÚLTIPLES ATRIBUTOS PARA LA EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE PRODUCCION EN EL SISTEMA DE LECHERÍA ESPECIALIZADA DE LA ESCUELA CENTROAMERICANA DE GANADERÍA.

CONCLUSIONES GENERALES.....	XXI
ANEXOS.....	XXII

RESUMEN GENERAL

La presente investigación se realizó con el objetivo de desarrollar un sistema de monitoreo basado en indicadores de sostenibilidad para los módulos de Lechería Especializada y Doble Propósito de la Escuela Centroamericana de Ganadería (ECAG) y utilizar posteriormente este sistema para evaluación de posibles alternativas de producción.

En el primer estudio se desarrolló un sistema de monitoreo integral para evaluar las unidades de producción, de la ECAG. El sistema de monitoreo se basó en indicadores claves para los principales *componentes* del sistema de producción en cada una de las *dimensiones*: técnica, económica, ecológica y social. La metodología propuesta en el presente estudio inició con un proceso de *caracterización* de los sistemas de producción (diagrama de flujo) del cual se obtuvieron los componentes y sus interacciones dentro de los sistemas, seguido por un análisis de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas (FODA), que permitió la definición de la *matriz de objetivos* con sus respectivos *indicadores*. Esta matriz de indicadores se cotejó y *estandarizó* mediante un *sistema de referencia*, que a su vez permitió la integración de información en un índice mediante procesos de ponderación y agregación. Se determinó que los Índices de Sostenibilidad Integral (I.S.I) en los hatos de doble propósito y de lechería especializada, se encuentran en niveles intermedios de desarrollo con respecto a los ideales planteados (0,56 y 0,59 respectivamente), lo que implica que se deben mejorar algunos indicadores que se encuentran actualmente en niveles bajos. Los indicadores que más afectaron el Índice de Sostenibilidad Integral (I.S.I.) en el hato de doble propósito fueron: kilogramos de leche por animal por día, servicios por concepción, costo por kilogramo de materia seca por semestre, costos totales por kilogramo de leche, costo por kilogramo de leche ordeñada, costo por Kilowatt por kilogramos de leche por semestre, porcentaje de área en bosque, kilogramo de abono orgánico aplicado por hectárea por semestre, número de árboles por hectárea de potrero, porcentaje de leguminosas en potrero, horas de capacitación por semestre y nivel de protección utilizada. Los indicadores que más afectaron el I.S.I en el hato de lechería especializada fueron: kilogramos de leche por animal por día, porcentaje de incidencia de mastitis, edad primer parto, costo por kilogramo de materia seca por semestre, porcentaje de área en bosque, kilogramo de abono orgánico aplicado por hectárea por semestre, número de árboles por ha de potrero, centímetro cúbicos de antibióticos aplicados por semestre, porcentaje de cercas vivas, horas de capacitación por semestre y protección utilizada.

En el segundo estudio se proponen tres diferentes alternativas de desarrollo para el módulo de Lechería Especializada de la ECAG, las cuales fueron comparadas y evaluadas contra la situación actual utilizando Análisis de Decisiones de Múltiples Atributos (ADMA) mediante el método TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution); con el fin de estimar el impacto global del uso de cada alternativa sobre el Índice de Sostenibilidad Integral (I.S.I). Las alternativas planteadas fueron 1) Uso de leguminosas en pasturas, 2) Uso de abono orgánico, y 3) Uso de fertilizantes nitrogenados (Químicos). Para tomar en cuenta la posible variación en rendimiento de las alternativas comparadas se utilizaron técnicas de simulación estocástica basadas en distribuciones de probabilidad obtenidas de la literatura y de observaciones previas obtenidas dentro de la misma unidad de producción. La comparación de las alternativas se hizo con base en los resultados obtenidos en los índices de sostenibilidad por dimensión y el I.S.I descritos en el primer estudio. De acuerdo con los resultados, la alternativa de uso de leguminosas aparece como la más favorable, debido a que su I.S.I es el más alto y está más cercano al óptimo (I.S.I = 0.67, Min = 0.62, Max = 0.72), seguida por el uso de abono orgánico (I.S.I = 0.61, Min = 0.57, Max = 0.66), y el uso de fertilizantes nitrogenados (I.S.I = 0.60, Min = 0.55, Max = 0.64), todas superiores a la situación actual (I.S.I = 0.54, Min = 0.50, Max = 0.58). Los rangos de variación observados indican que las diferencias significativas entre la alternativa de uso de leguminosas y las restantes son consistentes, no así entre uso de abono orgánico y uso de fertilizantes nitrogenados. La superioridad del uso de leguminosas está ligada a su mayor rendimiento principalmente en la dimensión económica (RR= 0,89), manteniendo niveles adecuados en las dimensiones ecológica y técnica (RR= 0,51 y 0,71 respectivamente). Las otras dos alternativas no logran este mismo equilibrio. Se realizó un Análisis de Sensibilidad con el fin de evaluar el efecto de cambios en los Factores de Ponderación de las distintas dimensiones sobre el ranqueo de las alternativas según I.S.I. Al variar los factores de ponderación, se producen variaciones ligeras en la magnitud de los I.S.I, reduciéndose los rangos de variación. Sin embargo, el orden relativo de las alternativas se conserva inalterado ya que la alternativa uso de leguminosas, sigue siendo superior al uso de abono orgánico y al uso de fertilizantes nitrogenados; las cuales a su vez están por encima de la situación actual. Los resultados demuestran que la alternativa con mejor potencial de desarrollo sería el Uso de Leguminosas.

AGRADECIMIENTO

A Dios, todo poderoso ya que él es el principio de todo.

Al Ph D. Bernardo Vargas L., en su calidad de tutor quien con su apoyo durante la realización de este trabajo ha hecho posible concluirlo con una mayor calidad.

Al Ph D. Francisco Romero R., por apoyo a que continúe estudiando y preparándome y sus importantes recomendaciones en el planeamiento y la revisión de este documento.

Al MSc. Fernando Sáenz, por sus importantes recomendaciones en la revisión de este documento.

Al personal del Posgrado en Ciencias Veterinarias de la Universidad Nacional, quienes siempre colaboraron de la mejor manera para que todo el proceso de estudio y realización de la tesis se diera de una manera armónica.

A la Escuela Centroamericana de Ganadería y todo su personal por permitirme el tiempo y la información requerida para realizar este trabajo.

DEDICATORIA

A la memoria de mi Padre, Evencio González Cordero (qddg) y a mi Madre, Alicia Vindas Guzmán, a quienes debo la vida y todo cuanto soy, ya que con su ejemplo, apoyo y amor, han sido una fuente de inspiración constante para lograr alcanzar las metas propuestas.

A mis hermanos (as) y en general a toda mi familia, quienes me han apoyado siempre.

LISTA DE TABLAS

INTRODUCCIÓN

Tabla 1.....	XVI
Principales diferencias entre el Análisis de Decisiones de Múltiples Objetivos (ADMO) y el Análisis de Decisiones de Múltiples Atributos (ADMA).	

CAPITULO 1

Tabla 1.....	16
Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas (FODA) de los sistemas de producción	
Tabla 2.....	17
Matriz de objetivos e indicadores para los hatos de Doble Propósito y lechería Especializada.	
Tabla 3.....	18
Ponderación y desviación estándar de los indicadores, componentes y dimensiones dados por los expertos.	

CAPITULO 2.

Tabla 1.....	9
Composición química del compost.	
Tabla 2.....	18
Rangos de variación de los factores de ponderación	

LISTA DE FIGURAS

INTRODUCCIÓN

Figura 1.....	XIX
Métodos de ADMA para la selección de la mejor alternativa.	

CAPITULO 1.

Figura 1.....	13
Diagrama de flujo para lechería especializada y doble propósito de la Escuela Centroamericana de Ganadería.	
Figura 2.....	19
Índice de sostenibilidad por componente en la dimensión técnica de los sistemas de Doble Propósito (□) y Lechería Especializada (■) de la Escuela Centroamericana de Ganadería	
Figura 3.....	21
Índice de sostenibilidad por componente en la dimensión económica de los sistemas de Doble Propósito (□) y Lechería Especializada (■) de la Escuela Centroamericana de Ganadería	
Figura 4.....	22
Índice de sostenibilidad por componente en la dimensión ecológica de los sistemas de Doble Propósito (□) y Lechería Especializada (■) de la Escuela Centroamericana de Ganadería	
Figura 5.....	24
Índice de sostenibilidad por componente en la dimensión social de los sistemas de Doble Propósito (□) y Lechería Especializada (■) de la Escuela Centroamericana de Ganadería	
Figura 6.....	25
Índice de sostenibilidad por dimensión de los sistemas de Doble Propósito (□) y Lechería Especializada (■) de la Escuela Centroamericana de Ganadería	
Figura 7.....	27
Índice de sostenibilidad integral de los sistemas de Doble Propósito (□) y Lechería Especializada (■) de la Escuela Centroamericana de Ganadería	

CAPITULO 2

Figura 1.....	4
Principales etapas en el proceso de evaluación de alternativas de acción según el método TOPSIS.	
Figura 2.....	13
Distribución obtenida para la variable carga animal, situación actual	
Figura 3.....	13
Distribución obtenida para la variable de salida I.S.I, situación actual	
Figura 4.....	14
Coeficientes de correlación entre las variables de entrada y la variable de salida I.S.A, situación actual (solo se muestran las variables de entrada con efectos significativos sobre el I.S.A)	
Figura 5.....	15
Comparación de I.S.I obtenidos para la situación actual y las 3 alternativas propuestas.	
Figura 6.....	17
Comparación de índices de sostenibilidad (por dimensión e Integral) obtenidos para la situación actual y las 3 alternativas propuestas	
Figura 7.....	19
Comparación del Índice de Sostenibilidad Integral para la situación actual y las tres alternativas propuestas	

LISTA DE ANEXOS

CAPITULO 1.

Anexo 1.	XVII
Desarrollo de indicadores de sostenibilidad	

CAPITULO 2.

Anexo 1 (a).....	XXVI
Matriz de indicadores hato especializado	
Anexo 1 (b).....	XXVII
Matriz de indicadores hato especializado	
Anexo 2.	
Distribuciones de probabilidad <i>normales</i> y <i>triangulares</i> , y correlaciones (positivas o negativas) entre indicadores	XXVIII
Anexo 3 (A).....	XXIX
Resumen de Simulación / Variables de Entrada	
Anexo 3 (B).....	XXX
Resumen de Simulación / Variables de Salida	

INTRODUCCIÓN GENERAL

Sostenibilidad en sistemas en producción animal.

A partir de la década de los ochentas comenzó a tomar auge el tema del desarrollo sostenible y de la sostenibilidad de los sistemas de producción. Una de las primeras definiciones de sostenibilidad, fue dada por la comisión mundial de ambiente y desarrollo donde expresan que el desarrollo sostenible “*es aquel desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la habilidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades*” (Comisión Brundtland, 1987).

En general, las definiciones sobre desarrollo sostenible incluyen elementos comunes claves como: a) la base de los recursos naturales debe contribuir a la satisfacción de necesidades de las generaciones presentes y futuras; b) hay una base de recursos finita, con valores cuantificables y aprovechables y con otros recursos con valores no cuantificables directamente; c) la base de recursos puede ser ampliada por medio del cambio tecnológico, hasta un cierto grado (Reiche y Carls 2002).

El concepto de desarrollo y agricultura sostenible contempla cuatro dimensiones (Müller 1996; Hünemeyer et al 1997; IICA 2002; Del Camino y Müller 1993; Reiche y Carls 1996, citados por Murillo 2003):

- **Sostenibilidad Ecológica:** Los ecosistemas deben mantener a través del tiempo las características fundamentales para su sobrevivencia en cuanto a componentes e interacciones.
- **Sostenibilidad Económica:** El sistema debe ser razonablemente rentable y estable a través del tiempo o que sea atractivo continuar con dicho manejo en el tiempo.
- **Sostenibilidad Social:** El manejo de los recursos y la organización social debe permitir un grado aceptable de satisfacción de las necesidades de la población involucrada y promover un alto grado de participación y equidad.
- **Sostenibilidad Técnica:** es la que permite transformar y mejorar la capacidad de los recursos existentes dentro del sistema, para satisfacer las necesidades de los participantes en el proceso productivo.

Müller (1996) considera que a corto plazo los objetivos establecidos para las dimensiones son en cierta medida conflictivos, mientras que a largo plazo se reconocerá

la interdependencia entre éstas. Sin embargo, añade que no será posible lograr la sostenibilidad de determinado sistema maximizando todas metas al mismo tiempo y que para alcanzar un desarrollo sostenible, se debe encontrar un equilibrio entre los objetivos propuestos.

La viabilidad de conseguir que las cuatro dimensiones se puedan mejorar a la vez es muy difícil, ya que al mejorar una se puede desmejorar otra (s). Además a la hora de llevar a cabo la medición intervienen un número de disciplinas, percepciones y paradigmas, que pueden producir un sesgo, en los autores involucrados en su medición.

Para Hünne Meyer et al (1997) existen cuatro propiedades muy importantes que se deben considerar para la cuantificación de la sostenibilidad a nivel de sistemas de producción, estas son:

- *Productividad*: se refiere a la forma en que los insumos de la producción se combinan para generar productos (producto por unidad de insumo).
- *Estabilidad*: constancia de la productividad del sistema en presencia de las fluctuaciones y ciclos normales en el ambiente que lo rodea, debido a variaciones causadas por el clima o la demanda del mercado por productos agrícolas.
- *Resiliencia*: capacidad del sistema de mantener la productividad en presencia de estrés o de una perturbación importante.
- *Equidad*: es la distribución uniforme de la productividad del sistema entre los beneficiarios humanos.

Procedimientos para medir o evaluar sostenibilidad.

Aunque el concepto de sostenibilidad y su medición constituyen un tema a la orden del día en los grandes foros internacionales y nacionales, son pocos los esfuerzos que han sido dirigidos hacia la evaluación de la sostenibilidad de los sistemas de producción, a pesar de que estos son los centros en dónde se toman las decisiones de qué producir, qué conservar y cómo hacerlo. (Ammour y Reyes 2000)

Según Ammour y Reyes (2000) la medición de la sostenibilidad debe tomar en cuenta no solamente las dimensiones ecológicas y productivas, sino también las dimensiones sociales, económicas, legales e institucionales. La evaluación de la

sostenibilidad debe permitir comparar situaciones de referencia contra situaciones modificadas, para poder medir el comportamiento del sistema, si se mantiene o si ha mejorado o desmejorado a través del tiempo.

Aunque existe una variedad de metodologías para tratar de evaluar y medir la sostenibilidad de los sistemas de producción, en su mayoría han tenido un enfoque ecológico. Para Müller (1996) los enfoques para evaluar la sostenibilidad se pueden clasificar en:

a. **Valoración de costos ambientales.** Esta corriente, llamada *contabilidad "verde"*, tiene como propósito común obtener una medida monetaria de bienestar que reflejaría la calidad de vida o su deterioro a causa de procesos de degradación en sus dimensiones socioeconómicas, institucional-culturales y, ante todo, ecológicas. (Fürst 1998; Díaz 2002).

b. **Análisis de Impacto Ambiental.** Es un procedimiento que tiene como objetivo la identificación, predicción e interpretación de los impactos ambientales que un proyecto o actividad produciría en caso de ser ejecutado, así como la previsión, corrección y valoración de los mismos. Este es un instrumento de conocimiento al servicio de la decisión y no un instrumento de decisión (Baldoceca 1996; Hunt et al 1998).

c. **Modelos económico-ecológicos.** Son la combinación de los modelos económicos de decisión con los modelos ecológicos en los cuales se simulan diversos procesos ambientales. (Hart 1980; Van Keulen et al 1996 y Miller 1992)

Algunos ejemplos de este tipo de modelos son:

• **Balance energético.** Es un procedimiento mediante el cual se relacionan las entradas y salidas del sistema, en términos energéticos. Se puede utilizar asignando un valor energético en relación con su energía como combustible, o en otros casos se le asigna un valor relacionado con la cantidad de energía usada para producir el flujo (Hart 1980).

• **Balance de nutrientes.** Es un procedimiento utilizado para contabilizar las entradas (por insumos fertilizantes, alimentos, etc) y las salidas (por carne, leche, etc) de nutrientes en el sistema. El grado de utilización de los nutrientes en sistemas de finca es expresado como "eficiencia", esto es la división de los nutrientes exportados entre los

nutrientes importados. Los desbalances de nutrientes, ya sean excesos (importación mayor que exportación) o faltantes (exportación mayor que importación), pueden llegar a afectar la capacidad de producción de los sistemas a largo plazo. Una limitante de esta metodología es que no considera aspectos tales como el nivel de intensificación con el cual se maneja la finca, lo cual se refleja por ejemplo en el nivel medio de aplicación de fertilizantes y concentrados (Van Keulen et al 1996).

• **Evaluación de capacidad de carga.** Es la máxima población de una especie en particular, a la que un hábitat determinado puede sustentar o sostener por un periodo o tiempo determinado (Miller 1992). Es un concepto muy utilizado en producción animal para determinar la capacidad de carga de las pasturas (ua/ha).

• **Indicadores de sostenibilidad.** Un indicador de sostenibilidad es un número o una cualidad que pone de manifiesto el estado o condición de un proceso relacionado con la sostenibilidad (Muller 1996).

Concepto de optimización

La evaluación de alternativas de producción tiene por objetivo lograr un desarrollo óptimo de un determinado sistema. Una forma de *optimizar* un sistema de producción es a través de la selección de las mejores alternativas de producción con base en criterios de eficiencia, también llamados *funciones objetivo*, que pueden ser de diversos tipos: biológicos, económicos, ecológicos o una combinación de las anteriores. Las alternativas de producción son formas distintas de combinar los recursos de producción con el fin de producir una función objetivo; por lo tanto una alternativa debe especificar las cantidades y formas de uso de los distintos recursos disponibles (Price, 1984; Austin et al, 1985; Terry et al, 1987; Koontz et al, 1993; Jalvingh et al, 1997).

Un proyecto de producción tiene múltiples formas de ser realizado. Algunas de estas formas pueden ser más atractivas que otras bajo un criterio dado. Los criterios de evaluación más comunes se relacionan con funciones objetivo tales como maximizar ingresos, niveles de producción o utilidades; o por el contrario minimizar costos, uso de recursos, niveles de contaminación. El problema consiste en encontrar el grupo de variables de decisión, que en conjunto dan como resultado el extremo buscado de la función objetivo. Existen distintas metodologías que han sido utilizadas en procesos de optimización, tales como la programación lineal, programación lineal de múltiples

objetivos o los modelos de decisiones. En el presente estudio se hará uso de una metodología basada en Análisis de Decisiones de Múltiples Criterios (ADMC).

Análisis de Decisión de Múltiples Criterios (ADMC)

El Análisis de Decisión de Múltiples Criterios (ADMC) es una metodología de optimización utilizada en el análisis de problemas multidimensionales. Esta metodología tiene por objetivo sistematizar el proceso de toma de decisiones en situaciones donde existen alternativas y criterios de evaluación múltiples (Yoon, 1995).

El análisis multicriterio constituye una forma de modelar los procesos de decisión, en los cuales existe una decisión a ser tomada y hay una serie de eventos desconocidos que pueden afectar los resultados y los posibles cursos de acción. Mediante los modelos multicriterio el *tomador de decisiones* podrá estimar las posibles implicaciones que puede tomar cada curso de acción, de modo que se obtiene una mejor comprensión de las vinculaciones entre sus acciones y sus objetivos (Flament, 1999).

El ADCMC se divide en dos vertientes: el Análisis de Decisiones de Múltiples Objetivos (ADMO) y el Análisis de Decisiones de Múltiples Atributos (ADMA). Cada una resuelve situaciones de diferente naturaleza y contenido (ver tabla 1).

Tabla 1. Principales diferencias entre el Análisis de Decisiones de Múltiples Objetivos (ADMO) y el Análisis de Decisiones de Múltiples Atributos (ADMA).

Aspecto	ADMO	ADMA
Criterio	Objetivos	Atributos
Objetivos	Explícitos	Implícitos
Atributos	Implícitos	Explícitos
Restricciones	Activas	Inactivas
Alternativas	Infinitas (continuo)	Número finito (discreto)
Uso	Diseño	Selección

Garza y González, 2005

El ADMO se relaciona con aquellos problemas en que el conjunto de alternativas posibles es grande y no están predeterminadas, sino que se generan a través del mismo procedimiento. El ADMO se utiliza para diseñar la mejor alternativa considerando una serie de restricciones presentes. La solución de estos problemas se aborda mediante las

técnicas clásicas de optimización, basadas en programación lineal de múltiples objetivos (Romero y Rehman, 2003). Debido a que este enfoque es mayormente cuantitativo, para utilizarlo se requiere tener un conocimiento más detallado de las relaciones insumo-insumo o insumo-producto.

El ADMA se utiliza para seleccionar en forma sistemática la mejor alternativa dentro de un conjunto finito y explícito. La decisión final se obtiene mediante la comparación de los atributos, usualmente conflictivos (Garza y González 2005; Yoon, 1995). Esta técnica se basa más en la evaluación cualitativa de alternativas, por lo que no se requiere conocer con precisión las distintas relaciones insumo-insumo o insumo-producto. La metodología busca expresar las preferencias del tomador de decisiones sobre un conjunto de atributos o criterios en términos de la utilidad que le reporta, dentro del contexto de la teoría de las decisiones en condiciones de incertidumbre (Flament, 1999).

Los problemas que pueden ser resueltos por ADMA deben presentar las siguientes características:

- Alternativas: Existen un número finito de alternativas (también llamadas opciones, políticas, acciones, etc) por ser evaluadas y comparadas.
- Múltiples Atributos: Existe una serie finita de atributos, también llamados características, criterios u objetivos; que son utilizados para comparar las distintas alternativas.
- Unidades inconmensurables: Cada atributo puede tener diferentes unidades de medida (escalas cualitativas o cuantitativas).
- Ponderación de Atributos: Se requiere información con respecto a la importancia relativa de los distintos atributos, lo cual se puede lograr por medio de métodos de ranqueo.

Los problemas de ADMA generalmente se ordenan en una Matriz de Decisiones en la cual las filas corresponden a los atributos y las columnas representan las alternativas (Yoon, 1995). En ADMA existen diversas metodologías para seleccionar la mejor entre una serie de alternativas (figura 1). Estas se clasifican en dos grupos:

➤ *Métodos No Compensatorios*: Se denominan así porque la inferioridad de una alternativa en un atributo no puede ser compensada por su superioridad en otro atributo, es decir cada atributo se evalúa de manera independiente. Entre ellos están:

- ❖ **Dominancia**: Una alternativa “domina” a otra si es superior a ella en al menos un atributo, siendo igual en los demás.
- ❖ **Pesimista (Maximin)**: Selección de la alternativa que presenta el atributo más alto entre los más débiles de cada alternativa.
- ❖ **Optimista (Máximas)**: Selección de la alternativa que presenta el atributo más alto entre los más altos de cada alternativa.
- ❖ **Nivel estándar**:
 - **Conyuntivo**: Se seleccionan las alternativas que superan valores mínimos predefinidos en todos los atributos.
 - **Disyuntivo**: Se seleccionan las alternativas que superan valores mínimos predefinidos en al menos un atributo.
- ❖ **Ordinal**:
 - **Lexicográfico**: Se seleccionan alternativas con base en el atributo más importante. Entre las seleccionadas se prosigue seleccionando según el segundo atributo más importante, etc.
 - **Eliminación por aspectos**: Similar al anterior, pero los atributos se ordenan por poder discriminatorio, no por importancia.

➤ *Métodos Compensatorios*: Se denominan así porque la inferioridad de una alternativa en un atributo puede ser compensada por su superioridad en otro atributo, debido a que los atributos se “conectan” mediante una función agregada. Entre ellos están:

- ❖ **Cardinales**:
 - **Ponderación Simple Aditiva (P.S.A)**: El valor (V) de cada alternativa se obtiene mediante una función agregada formado por la sumatoria de productos de los valores estandarizados de cada atributo (r) por su respectivo valor ponderado. Este método asume independencia de atributos.

- **Producto Ponderado:** Los valores de los atributos se multiplican en vez de sumarse. Los factores de ponderación se incluyen como exponentes. No requiere estandarización previa de atributos.

TOPSIS: Similar a P.S.A., pero los atributos son estandarizados utilizando la fórmula de rendimiento relativos. Equivale a comparar cada alternativa según su distancia con respecto a dos alternativas virtuales: Ideal Positiva e Ideal Negativa.

El uso de uno u otro método está en función de la situación específica, dependiendo del tipo y disponibilidad de información, y del conocimiento o no de las preferencias de la(s) persona (s) que toma (n) las decisiones.

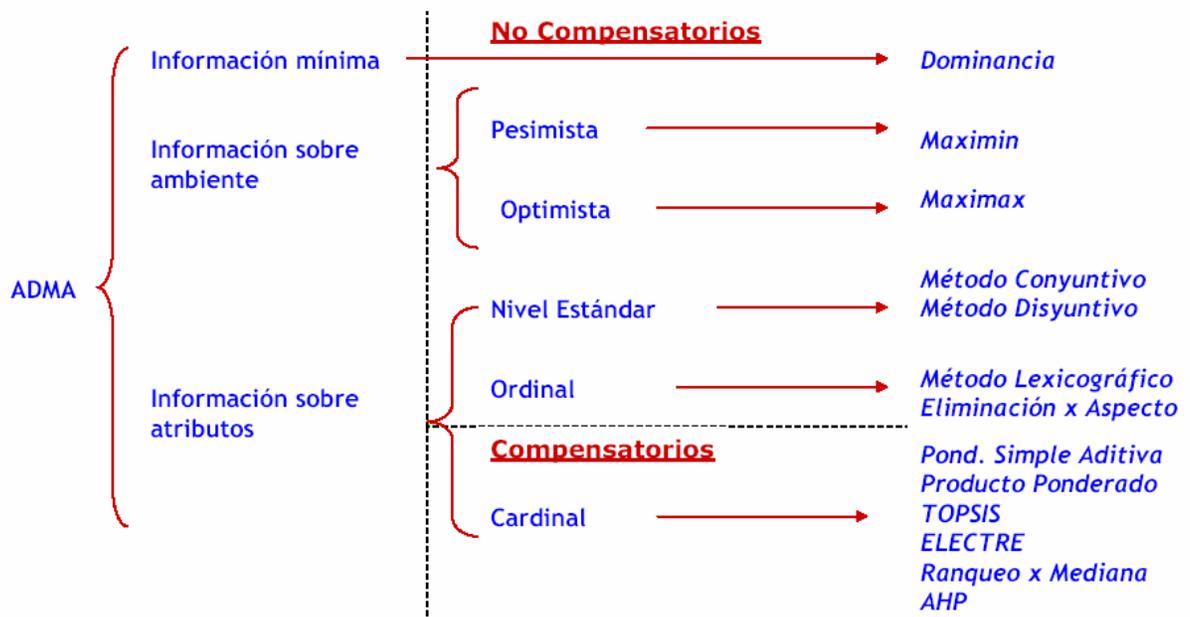


Figura 1. Métodos de ADMA para la selección de la mejor alternativa. (Adaptado Yoon, 1995)

Planteamiento del problema

En la actualidad en los sistemas de producción de leche, de la ECAG, no existe un sistema que permita monitorear la sostenibilidad. Es necesario contar con una metodología que considere los principales *componentes* de la unidad de producción, en cada una de las *dimensiones*: técnica, económica, ecológica y social. La información generada permitiría determinar las áreas problemáticas, así como plantear y evaluar alternativas que mejoren los sistemas de producción.

En atención a este problema, el objetivo de la primera fase del presente estudio será desarrollar e implementar un sistema de monitoreo, el cual tome en cuenta los principales *componentes* del sistema, en cada una de las *dimensiones*: técnica, económica, ecológica y social. La hipótesis para esta primera fase es que el uso de un sistema de monitoreo de este tipo permitirá obtener una visión más completa y exacta de la sostenibilidad de los sistemas de producción de la ECAG.

El objetivo de la segunda fase del presente estudio será utilizar técnicas de simulación estocástica y Análisis de Decisiones de Múltiples Criterios (ADMC) con el fin de estimar el impacto potencial de distintas alternativas de acción sobre los índices obtenidos en la primera fase. La hipótesis para esta fase es que el índice obtenido en la primera fase puede ser utilizado para la generación de soluciones o alternativas que mejoren la sostenibilidad de los sistemas de producción.

BIBLIOGRAFÍA

- Ammour T; Reyes R. 2000. Evaluación de la Sostenibilidad de los Sistemas de Producción en la Concesión Comunitaria de San Miguel, Peten, Guatemala. Presentado en el 16° Simposio de la Asociación Internacional de Sistemas de Producción (IFSA), 27-29 de noviembre 2000, Santiago de Chile, Chile. Editado para REDES por Claudia Bouroncle. Consultado el 21 octubre 2002. Disponible en [www.netmye.net/enespanol/Documentos/Evaluaci%F3n de la Sostenibilidad SPCC Pe t% E9nGuatemala.pdf](http://www.netmye.net/enespanol/Documentos/Evaluaci%F3n%20de%20la%20Sostenibilidad%20SPCC%20Pe%20t%20Guatemala.pdf) -.
- Austin, L; Burns, J. 1985. Management Science. An aid for managerial decision making. Texas Tech University. MacMillan publishing company. New York. USA.
- Baldoceda, R. 1996. Glosario de términos ambientales. Curso de maestría en gestión de recursos naturales renovables y medio ambiente. Centro internacional de investigación y desarrollo ambiental y territorial. Universidad de los Andes. Merida. Venezuela.
- Díaz, D. 2002. Qué es (y qué no es) la Contabilidad Ambiental. Consultado el 08 Noviembre 2002. Disponible en www.vitalis.net/actualidad6.htm - 6k
- Esquivel, J. 2002. Desarrollo sostenible: conceptos básicos. En Compilado, VII Curso internacional de gestión y dirección de áreas protegidas: áreas de conservación y sostenibilidad del desarrollo. Compilador, Jorge Esquivel Q Escuela Latinoamericana de Áreas Protegidas (ELAP). Universidad para la Cooperación Internacional (UCI). De febrero 4 a marzo 1 del 2002. San José, Costa Rica.
- Flament, M. 1999. Glosario multicriterios. Disponible en www.unesco.org.uy/red-m/glosariom.htm. Consultado 15 Mayo de 2005.
- Fürst, E. 1998. El debate actual sobre indicadores de sostenibilidad. Centro Internacional en Política Económica Universidad Nacional Heredia, Costa Rica. Consultado el: 21 octubre 2002. Disponible en: [http://www.mideplan.go.cr/sinades/PUBLICACIONES/cambio-actitud artículo%20edgar%20furst.html#indice%20de%20contenido](http://www.mideplan.go.cr/sinades/PUBLICACIONES/cambio-actitud/articulo%20edgar%20furst.html#indice%20de%20contenido)
- Garza, R; González, C. 2005. Técnicas multicriteriales para la toma de decisiones empresariales. Disponible en www.gestiopolis.com/recursos/documentos/fulldocs/ger1/tecmulttomadec.htm. Consultado 15 Mayo de 2005.
- Hart, R; Jiménez, T. Serpa, R. 1980. Una metodología para analizar sistemas agrícolas en términos energéticos. In Análisis energético de sistemas agrícolas. Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica.
- Hünemeyer, A; Del Camino, R; Müller, S. 1997. Análisis del desarrollo sostenible en Centroamérica: Indicadores para la agricultura y los recursos naturales. Proyecto IICA/GTZ. San José, Costa Rica. 157 p.
- Hunt, D; Johnson, C. 1998. Sistemas de gestión medioambiental. Principios y prácticas. Traducido de la primera edición en inglés de Environmental Management Systems. Principles and Practice. Por María Quintana de la Pedraja. Ed McGraw-Hill/ Interamericana de España, S,A.

- IICA. 2002. Experiencias IICA. Consultado el 21 octubre 2002. Disponible en: www.iicanet.org/comuniica/n_3/espanol/x_diseno.htm
- Jalvingh, AW; Dijkhuizen, AA; Renkema, JA. 1997. Linear programming to meet management targets and restrictions. In *Animal Health Economics, Principles and Applications*. Ed A.A Dijkhuizen and R.S Morris. University of Sydney. Sydney. Australia.
- Koontz, H; Wehrch, W. 1993. *Elementos de administración*. Traducido de *Essentials of management*. Traducido por Julio Coro Pando. Editorial Mcgraw – Hill. México DF. 565 p.
- Miller, T. 1992. *Ecología y medio ambiente*. Traducido de la primera edición en inglés de *Living in environment – An introduction to environment science*. Por Irma de León Rodríguez y Virgilio González V. Editorial Iberoamérica. México DF.
- Müller, S. 1996. ¿Cómo medir la sostenibilidad?: una propuesta para el área de la agricultura y de los recursos naturales. Proyecto IICA/GTZ. San José, Costa Rica. 56 p.
- Murillo, A. 2003. *Desarrollo e implementación de una matriz de indicadores para el monitoreo de sostenibilidad en fincas de lechería especializada de Costa Rica*. Tesis Maestría, Posgrado regional en ciencias veterinarias tropicales. Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica.
- Price, L. 1984. *Análisis económico de proyectos agrícolas*. Instituto de Desarrollo Económico del Banco Mundial. Segunda Edición. Editorial Tecnos. Madrid, España. 532 p.
- Reiche, C; Carls, J. 2002. Modelos para el desarrollo de una agricultura sostenible. En *Compilado, VII Curso internacional de gestión y dirección de áreas protegidas: áreas de conservación y sostenibilidad del desarrollo*. Compilador, Jorge Esquivel Q Escuela Latinoamericana de Áreas Protegidas (ELAP). Universidad para la Cooperación Internacional (UCI). De febrero 4 a marzo 1 del 2002. San José, Costa Rica.
- Romero, C., Rehman, T. 2003. *Multiple Criteria Analysis for Agricultural Decisions*. 2da edición. Ed Seuler. 186p.
- Terry, G; Franklin, S. 1987. *Principios de administración*. Tercera reimpresión. Compañía editorial Continental S.A. México.
- Van Keulen, H; Van der Meer, H; De Boer, I.J.M. 1996. Nutrient balances of livestock production systems in the Netherlands. In *Utilization of local feed resources by dairy cattle. Perspectives of environmentally balanced production systems*. Symposium proceedings. Ed. Groen Ab F and Van Bruchem J. Publication N° 84. Wageningen Institute of Animal Sciences. The Netherlands.
- Yoon, P.; Ching, H. 1995. *Multiple Attribute Decision Making: An Introduction*. Save University Paper Serie: Quantitative Applications in the Social Sciences; no 07-104. Thousand Oaks, CA. 75p.

Capítulo 1

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE MONITOREO BASADO EN INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD PARA LOS HATOS DE LECHERÍA ESPECIALIZADA Y DOBLE PROPÓSITO DE LA ESCUELA CENTROAMERICANA DE GANADERÍA

JESÚS GONZÁLEZ VINDAS

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE MONITOREO BASADO EN INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD PARA LOS HATOS DE LECHERÍA ESPECIALIZADA Y DOBLE PROPÓSITO DE LA ESCUELA CENTROAMERICANA DE GANADERÍA

Jesús González Vindas

Palabras claves: Indicadores, monitoreo, sostenibilidad, sistemas de referencia, producción animal, lechería, doble propósito

RESUMEN

En este estudio se desarrolló un sistema de monitoreo integral para evaluar las unidades de producción de la Escuela Centroamericana de Ganadería. El sistema de monitoreo se basó en indicadores claves para los principales *componentes* del sistema de producción en cada una de las *dimensiones*: técnica, económica, ecológica y social. La metodología propuesta en el presente estudio inició con un proceso de *caracterización* de los sistemas de producción (diagrama de flujo) del cual se obtuvieron los componentes y sus interacciones dentro de los sistemas, seguido por un análisis de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas (FODA) que permitió la definición de la *matriz de objetivos* con sus respectivos *indicadores*. Esta matriz de indicadores se cotejó y *estandarizó* mediante un *sistema de referencia*, que a su vez permitió la integración de información en un índice mediante procesos de ponderación y agregación. Se determinó que los Índices de Sostenibilidad Integral (I.S.I) en los hatos de doble propósito y de lechería especializada, se encuentran en niveles intermedios de desarrollo con respecto a los ideales planteados (0,56 y 0,59 respectivamente), lo que implica que se deben mejorar algunos indicadores que se encuentran en niveles bajos. Los indicadores que más afectaron el Índice de Sostenibilidad Integral (I.S.I.) en el hato de doble propósito fueron: kilogramos de leche por animal por día, servicios por concepción, costo por kilogramo de materia seca por semestre, costos totales por kilogramo de leche, costo por kilogramo de leche ordeñada, costo por KiloWatt por kilogramo de leche por semestre, porcentaje de área en bosque, kilogramos de abono orgánico aplicado por hectárea por semestre, número de árboles por hectárea de potrero, porcentaje de leguminosas en potrero, horas de capacitación por semestre y nivel de protección utilizada a la hora de realizar sus labores. Los indicadores que más afectaron el I.S.I en el hato de lechería especializada fueron: kilogramos de leche por

animal por día, porcentaje de incidencia de mastitis, edad primer parto, costo por kilogramo de materia seca por semestre, porcentaje de área en bosque, kilos de abono orgánico aplicado por hectárea por semestre, número de árboles por hectárea de potrero, centímetros cúbicos de antibióticos aplicados por semestre, porcentaje de cercas vivas, horas de capacitación por semestre y protección utilizada. El sistema se utilizará para evaluar el impacto potencial de distintas alternativas de manejo sobre el I.S.I de las unidades de producción.

SUMMARY

In the present study a system was developed in order to assess the degree of sustainable development in the dairy and dual-purpose units from the Central American School of Animal Husbandry. The system was based on measurement of key indicators within the principal components of the system, taking into account the technical, economic, ecological and social dimensions. Initially, production units were characterized using flow charts aiming to identify components within the system and main interactions among them. Secondly, a FODA analysis (fortresses, opportunities, weaknesses and threats) was performed in order to define a matrix with main objectives and the respective key indicators for every dimension and component within the system. Indicators were aggregated into a Sustainability Index (ISI) by means of standardization procedures using a reference system and the use of weighing factors. It was found that I.S.I for dual purpose and dairy units from ECAG were currently located at an intermediate level (0,56 and 0,59 respectively), respect to the ideal situation. Indicators with a bigger impact on I.S.I for the dual purpose unit were: kilograms of milk per animal per day, services per conception, cost per kilogram of dry matter, total costs per kilogram of milk, cost per kilogram of milk yield, cost per Kilowatt, area (%) of farm covered by forest, kilograms of organic fertilizer per hectare, number of trees per hectare, area (%) of paddocks covered by legumes, hours of training and level of protection. Indicators with a bigger impact on I.S.I for the dairy cattle unit were: kilograms of milk per animal per day, mastitis incidence (%), age at first calving, cost per kilogram of dry matter, area (%) of the farm covered by forest, kilogram of organic fertilizer applied per hectare, number of trees per hectare, applied amount (cc) of antibiotics, area (%) in live fences, hours of training and used protection. The system will be used to assess potential impact of management alternatives on I.S.I of the production units.

1. INTRODUCCIÓN

En el transcurso de los últimos años ha existido una preocupación creciente por encontrar nuevos métodos de producción animal que permitan un desarrollo más armonioso con el medio ambiente. Esto implica el desarrollo de nuevos sistemas de monitoreo que permitan la obtención de una serie de variables importantes, aparte de las meramente técnicas. En la actualidad, los sistemas de producción de leche de la Escuela Centroamericana de Ganadería registran información desagregada, únicamente sobre factores técnico-económicos. Se han diseñado e implementado una serie de registros que permiten el monitoreo de variables de rendimiento animal, tales como producción de leche, comportamiento reproductivo, crecimiento, etc. No existe, sin embargo, un sistema paralelo de monitoreo que permita evaluar la dinámica y el rendimiento de otros componentes tales como el suelo, el forraje o el componente humano.

En estas condiciones, se hace muy difícil establecer conclusiones con respecto a la sostenibilidad de estos sistemas de producción, ya que se carece de información básica que permita, por ejemplo, evaluar el posible efecto ecológico de distintas prácticas de manejo que se implementaron en el pasado. Se hace necesario implementar un sistema de monitoreo integral que evalúe las unidades de producción bajo una metodología basada en un enfoque de sistemas, pero ya no solo desde el punto de vista animal. Un sistema de monitoreo de este tipo debe basarse en indicadores claves, tomando en cuenta los principales *componentes* del sistema en cada una de las *dimensiones*: técnica, económica, ecológica y social.

Un sistema de este tipo sería de gran interés a la ECAG, ya que sirve como herramienta para evaluar si sus políticas de manejo son las correctas para la sostenibilidad del sistema de producción de leche. Además, puede ser una fuente de información a la hora de tomar decisiones de nuevas políticas.

1.1. Procedimientos para medir o evaluar sostenibilidad

Existe una variedad de metodologías para tratar de evaluar y medir la sostenibilidad de los sistemas de producción, una de ellas es el uso de Indicadores de sostenibilidad. Un indicador de sostenibilidad se puede representar por un número o una cualidad que pone de manifiesto el estado o condición de un proceso relacionado con la

misma (Muller 1996). La mayoría de los indicadores se componen de una o más variables que miden un aspecto específico de un sistema de producción. Estas variables, a veces, sirven para calcular distintos indicadores y su conjunto puede ser ampliado cuando sea necesario. La denominación de las variables se hace agrupándolas por áreas, tales como: ingresos, insumos, macroeconomía, población, producción, aspectos sociales y uso de la tierra (IICA 2002).

Los indicadores son útiles en la medida en que sirven para analizar la situación actual, identificar los puntos críticos y señalar los logros y obstáculos que se presenten en el camino hacia el desarrollo sostenible. Los datos que proporcionan deben servir como puntos de referencia para verificar las intervenciones hacia el desarrollo sostenible. Esto permite detectar los efectos que no se hayan previsto, ajustar las políticas respectivas, tomar decisiones acertadas de manejo y determinar si se alcanzaron los objetivos del desarrollo sostenible.

Los indicadores se pueden definir con diferentes grados de precisión y agregación de acuerdo con el objetivo del análisis y la cantidad de información disponible (Müller 1996). Los indicadores pueden ser utilizados, por ejemplo, para medir el desarrollo sostenible de un país, una región, un sistema de producción o un sistema de cultivo agrícola, es decir, pueden ser clasificados en niveles jerárquicos. Por eso es importante definir el contexto en el cual deben definirse.

La ventaja del uso de indicadores es contar con la posibilidad de describir los aspectos más importantes de la sostenibilidad respecto a una decisión o un conjunto de decisiones, en forma desagregada (Hünнемeyer et al 1997).

Se deben seleccionar solo aquellos de alto valor explicativo y de un costo razonable para su generación (Müller 1996; Hünнемeyer et al 1997).

Para cada indicador se necesita un valor que refleje el nivel “sostenible”, un valor que sirva como referencia y con el cual se pueda comparar el indicador respectivo (Müller 1996; Hünнемeyer et al 1997). Estos valores de referencia pueden ser valores históricos, metas, valores límites y; en caso de no existir ninguno de los anteriores, se puede hacer uso de las tendencias del desarrollo del indicador o la comparación de valores de otros sistemas parecidos (Müller 1996; Hünнемeyer et al 1997).

El principal problema a la hora de cuantificar desarrollo sostenible radica en el hecho de los conflictos que pueden existir entre objetivos establecidos en distintas áreas o dimensiones, por ejemplo entre objetivos productivos versus ecológicos. En teoría el desarrollo sostenible solo puede lograrse cuando se encuentra un punto de equilibrio entre estos objetivos múltiples. Una manera de evaluar qué tan cerca o lejos se encuentra un sistema con respecto a ese punto de equilibrio es mediante el desarrollo de un *índice de sostenibilidad*. Para desarrollar un índice de este tipo que sea consistente e informativo debe seguirse una metodología sistemática en la definición y selección de los indicadores, así como también en su ponderación y agregación en un índice.

El objetivo del presente estudio es desarrollar e implementar un sistema de monitoreo dinámico basado en indicadores de sostenibilidad, utilizando como estudio de caso los módulos de producción de Lechería Especializada y Doble Propósito de la Escuela Centroamericana de Ganadería.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología propuesta en este estudio ha sido descrita anteriormente por Murillo et al (2003). El estudio inició por un proceso de *caracterización* del sistema de producción. Esta caracterización permitió la definición de una *matriz de objetivos* con sus respectivos *indicadores*. Esta matriz de indicadores fue cotejada y *estandarizada* mediante un *sistema de referencia*, lo cual permitió la integración de información en un índice mediante procesos de ponderación y agregación.

A diferencia del estudio realizado por Murillo et al (2003) el énfasis del presente trabajo radica en el análisis comparativo dinámico de dos sistemas de producción con distintas orientaciones, como lo son la lechería especializada y el sistema de obtención de leche y carne conocido como de doble propósito; los cuales operan bajo condiciones ambientales y de manejo similares en la ECAG. Las distintas fases del procedimiento utilizado se describen a continuación.

2.1. Caracterización de los sistemas

La fase de caracterización se dividió en tres pasos. El paso inicial, consistió en *Diagnóstico estático*, basado en información obtenida a través de registros, entrevistas y

observación directa en los sistemas de producción. Este diagnóstico incluyó principalmente información sobre los animales, manejo de pasturas, infraestructura, mano de obra y alimentación.

Con base en la información recopilada se diseñó un *Diagrama de flujo*, utilizando el lenguaje de circuitos (Odum, citado por Hart 1985). A través de este diagrama se identificaron los principales componentes de ambos sistemas y se representaron los distintos tipos de interacciones existentes entre ellos.

El paso final de la caracterización consistió en un análisis *FODA* (Murillo et al 2003) para identificar las principales fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas presentes en ambos sistemas de producción.

2.2. Definición de matriz de objetivos e indicadores

En esta fase se identificaron los objetivos específicos de sostenibilidad para los componentes evaluados en las dimensiones técnica, económica, ecológica y social. Estos objetivos se plantearon con base en el análisis FODA resultante de la fase de caracterización, siguiendo la metodología descrita por Murillo et al (2003). La definición de objetivos se encamina por un lado a corregir las *debilidades* o prevenir las *amenazas* identificadas, mientras que en otro sentido también se persigue capitalizar las *fortalezas* y aprovechar las *oportunidades*. Una vez definidos los objetivos se definieron los *indicadores clave* y su escala de medición dentro de cada componente y cada dimensión para la valoración del estado actual del sistema.

Los indicadores fueron seleccionados de acuerdo con los siguientes criterios (Müller 1996, Hünne Meyer *et al* 1997):

- Deben ser adecuados al nivel de agregación del sistema bajo análisis,
- La recolección de la información no debe ser difícil ni muy costosa,
- Las mediciones deben poder repetirse a través del tiempo,
- Deben ser significativos para la sostenibilidad de los sistemas analizados,
- Deben ser sensibles a los cambios en el sistema.

En el presente estudio, a diferencia del realizado por Murillo et al (2003) se utilizó una matriz de indicadores mucho más reducida, con el fin de implementar un sistema

relativamente sencillo de monitoreo que pudiera ser incorporado en el sistema de registros de la finca, y que permitiera una evaluación periódica.

2.3. Sistema de referencia

Se desarrolló un sistema de referencia que permitió realizar una comparación desagregada de los sistemas de producción en el tiempo y espacio con respecto a los objetivos de sostenibilidad establecidos, es decir, una comparación entre los valores *actuales* y los valores de referencia establecidos (Müller 1996; Hünнемeyer et al 1997).

Para cada indicador se definieron los límites óptimos y subóptimos, siguiendo la metodología descrita por Murillo et al (2003). El valor de referencia *óptimo* representa un *valor meta* congruente con los objetivos establecidos previamente en la dimensión y en el componente correspondiente. El valor de referencia subóptimo representa el caso opuesto, es decir el rendimiento real más bajo para el indicador específico que se este analizando en el componente y en la dimensión correspondiente.

Para la determinación de los valores óptimos y subóptimos se hizo uso de registros, legislación vigente, comparación con otros sistemas y literatura. Es importante anotar que la importancia de estos valores radica únicamente en servir de puntos de referencia para medir el avance logrado en cada objetivo. En algunos casos, no existieron referencias precisas sobre este tipo de valores. En estas situaciones se utilizaron valores basados en *niveles de aspiración*, es decir metas preestablecidas de acuerdo a los objetivos de desarrollo.

2.4. Agregación de indicadores

Una vez definidos los indicadores y el sistema de referencia se procedió a desarrollar un sistema de agregación de los diferentes indicadores para generar un índice Integral de sostenibilidad, siguiendo la metodología utilizada por Murillo et al (2003), que se divide en los siguientes pasos:

- *Estandarización*. Los rendimientos obtenidos para cada indicador se convirtieron a una escala estándar con valores límite 0 (subóptimo) y 1 (óptimo). La conversión se realizó mediante la fórmula [1]:

$$RR = \frac{|V_a| - V_{so}}{V_o - V_{so}} \quad [1]$$

Donde: RR : rendimiento relativo del indicador,

V_a : valor actual absoluto,

V_{so} : valor subóptimo

V_o : valor óptimo

- **Ponderación.** La combinación de indicadores múltiples en un solo *índice* general requiere de un sistema que establezca la importancia relativa de cada indicador, componente y dimensión. Para ello, se desarrollaron factores de ponderación (FP) con base en valoraciones obtenidas entre diez diferentes profesionales (Ingenieros en agronomía, ingenieros zootecnistas, biólogos, administradores de empresas). Se siguió el método de ponderación de *Ranqueo Completo* (Looijen 1997, Murillo et al 2003), en el cual el Factor de Ponderación se obtuvo mediante la fórmula [2].

$$FP_i = \frac{\sum_{e=1}^{ne} S_e}{\sum_{i=1}^{ni} \sum_{e=1}^{ne} S_e} \quad [2]$$

Donde: FP_i : Factor de ponderación dado a cada indicador ($0 < FP \leq 1$)

S_e : Calificación dada a cada indicador i , según el evaluador e ($1 \leq S_e \leq ni$)

ni : Número de indicadores

ne : Número de evaluadores

Se utilizó la misma metodología para obtener el FP_c y FP_d .

- **Agregación.** Se calcularon índices en distintos niveles de agregación, es decir, a nivel de componente, dimensión e integral. El *Índice Agregado de Sostenibilidad por Componente* se calculó mediante la sumatoria de los productos del rendimiento relativo por la ponderación de cada indicador, según la fórmula [3]:

$$IAS_c = \sum_{i=1}^n (RR_i \times FP_i) \quad [3]$$

Donde; IAS_c : Índice de sostenibilidad por **Componente**

RR_i : Rendimiento relativo de cada indicador

FP_i : Factor ponderado de cada indicador

El *Índice Agregado de Sostenibilidad por Dimensión* se obtuvo mediante la sumatoria de los productos del índice agregado de cada componente por su respectiva ponderación, según la fórmula [4].

$$IAS_d = \sum_{c=1}^n (IAS_c \times FP_c) \quad [4]$$

Donde; IAS_d : Índice de sostenibilidad por **Dimensión**

IAS_c : Índice de sostenibilidad por componente

FP_c : Factor ponderado de cada componente

Por último, el *Índice de Sostenibilidad Integral* para el sistema de producción se obtuvo mediante la sumatoria de los productos del índice agregado de cada dimensión por su respectiva ponderación, según la fórmula [5]:

$$ISI = \sum_{d=1}^n (IAS_d \times FP_d) \quad [5]$$

Donde; ISI : Índice de sostenibilidad integral por sistema de producción

IAS_d : Índice de sostenibilidad por dimensión

FP_d : Factor ponderado de cada dimensión

2.5. Evaluación dinámica

El procedimiento de generación de los índices de sostenibilidad fue realizado para dos diferentes periodos: Enero a Mayo del 2003 (época seca) y Junio a Diciembre (época lluvias). Estas dos mediciones se realizaron con el objetivo de obtener una estimación dinámica de los índices que permitiera evaluar el grado de variación existente a lo largo de un año. Esto es de suma importancia debido a que se presentan diferencias considerables en los sistemas entre ambas épocas, tanto en las condiciones ambientales como en las prácticas de manejo.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Caracterización de los sistemas

Diagrama de flujo. Al realizar el diseño de los sistemas evaluados, se identificaron básicamente los mismos componentes e interrelaciones presentes tanto en Lechería Especializada como en el Doble Propósito, por lo que ambos sistemas pueden ser

representados a través del mismo diagrama (figura 2). Se pueden identificar cuatro *componentes* principales presentes en los sistemas evaluados: las plantas (principalmente forraje), el componente humano (administración, mano de obra), los animales (terneros, vacas) y el conjunto de instalaciones y equipo, que puede considerarse como un componente físico adicional. Se identificaron las *entradas* tanto de tipo natural (lluvia, luz, energía solar) como de insumos comerciales para producción (concentrado, medicamentos, material genético (semen, semillas), herbicidas, fertilizantes, mano de obra, combustibles, electricidad, etc). En este sentido, la principal diferencia entre ambos sistemas está dada por el nivel de uso de los insumos comerciales (entradas) y de los mismos recursos propios del sistema (suelo, forraje, agua). Por un lado la lechería especializada utiliza una menor área de tierra y forrajes pero a su vez requiere de mayores volúmenes de insumos de producción (fertilizantes, concentrado). El doble propósito utiliza una área mucho más extensa de suelo, pero hace menor uso de insumos externos.

En ambos sistemas se identifican varias interacciones entre los distintos componentes. Existen interacciones de tipo *complementario*, p.e. forraje y animales, suelo y forraje, suelo y árboles, mano de obra y animales; interacciones de *dependencia*, p.e agua y forraje, fertilizantes y forraje, infraestructura y animales, alimento y animales; interacciones de *competencia*, p.e forraje y malezas; o de *parasitismo*, como animales y los ecto/endo parásitos. Nuevamente algunas de estas interacciones presentan diferencias considerables entre ambos sistemas, p.e el nivel de fertilización es mucho más elevado en lechería especializada debido a que también existe una mayor tasa de extracción de nutrientes. El doble propósito, por otro lado, requiere de menores niveles de fertilización puesto que la tasa de extracción es menor y además existe mayor reciclaje de nutrientes a través de las heces y orina.

La mayoría de estas interacciones están reguladas por medio del componente humano (administración), el cual determina el nivel de utilización de los recursos internos del sistema y el nivel de adquisición, vía transacción económica, de los insumos de producción no disponibles dentro del sistema.

Las principales *salidas* de los sistemas están constituidas por *productos comerciales* (leche, animales y heces) y otros elementos que pueden ser considerados

como subproductos o desechos. Estos son liberados al ambiente, ya sea al aire (p.e gases), al subsuelo (p.e lixiviación de nutrientes) o a fuentes de agua (escorrentía, laguna de oxidación, biodigestor). En este sentido es evidente que existe una mayor producción de leche por unidad de recurso en el hato especializado, pero no existe por otro lado producción de carne, a excepción de los animales de desecho. En el doble propósito existe una salida adicional constituida por los machos que se venden al destete (7 meses).

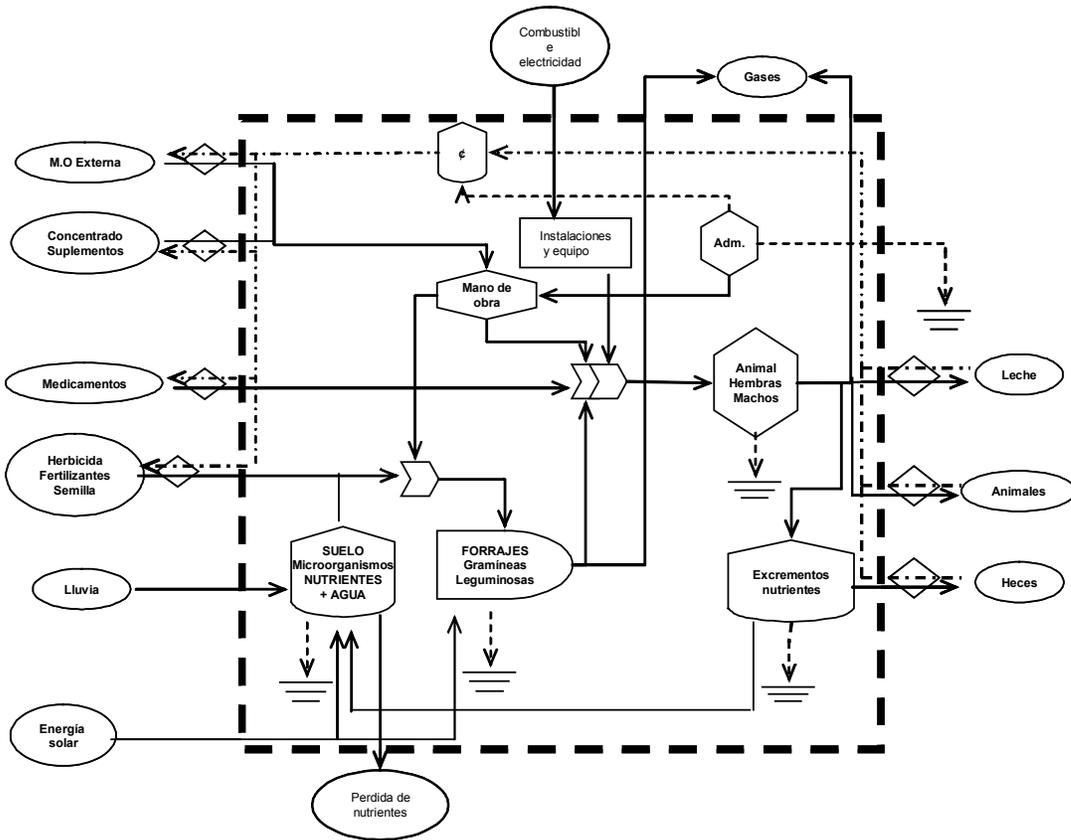
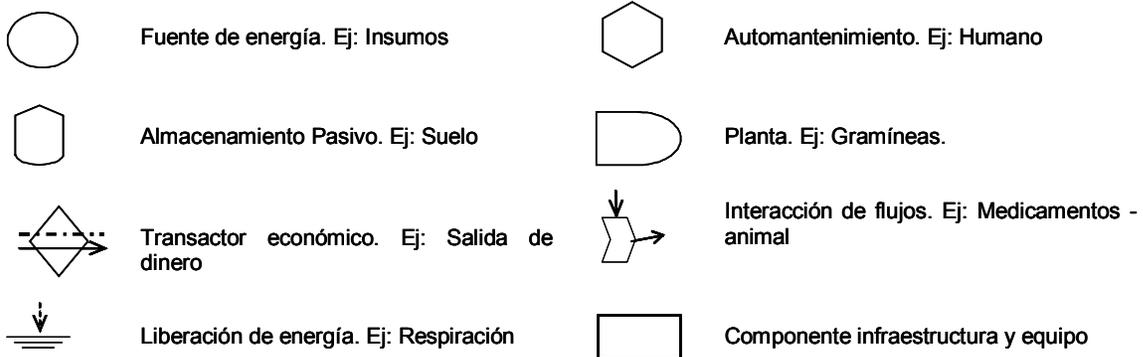


Figura 1. Diagrama de flujo para lechería especializada y doble propósito de la Escuela Centroamericana de Ganadería

Simbología de circuitos desarrollada por Odum (1971) y adaptada por Hart (1985) donde:



Análisis F.O.D.A (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas).

En la tabla 1 se puede observar el resultado del análisis F.O.D.A, el cual a su vez da origen a la matriz de objetivos e indicadores que se presenta en la tabla 2. Los objetivos e indicadores utilizados en ambos sistemas son básicamente los mismos, con algunas excepciones (p.e. ganancia de peso en machos del doble propósito). Esto se debe a que las condiciones de producción son prácticamente las mismas; sin embargo, aunque se están utilizando los mismos indicadores en ambos hatos, los valores de referencia óptimos y subóptimos son distintos, especialmente en la dimensión técnica, donde existen limitaciones impuestas por raza y manejo utilizado.

En la dimensión técnica se observa que la principal *fortaleza* de estos sistemas es que poseen una buena genética tanto animal como vegetal. Esta fortaleza se relaciona con los objetivos de maximizar producción de forraje y maximizar producción de leche, los cuales serán medidos por los indicadores: toneladas de materia seca por hectárea por semestre y kilogramos de leche por animal por día, respectivamente (ver también Anexo 1). En esta dimensión también se observa que existe la *oportunidad* de contar con área disponible para crecer, que puede ligarse al objetivo de optimización del uso del suelo, el cual está relacionado con varios de los indicadores propuestos tales como carga animal, o proporción de área cubierta por árboles. Por otro lado, la principal debilidad que se observa es los bajos parámetros productivos y reproductivos, que se relacionan a los objetivos maximizar peso, medido con el indicador ganancia de peso diaria; y maximizar eficiencia reproductiva, medido con los indicadores de intervalos entre partos, servicios por concepción y edad primer parto.

En la dimensión económica la mayor fortaleza es contar con un mercado seguro (integración vertical, toda la leche producida es procesada en la planta de lácteos) para todos sus productos. Esto aunado a la disponibilidad de recursos (*oportunidad*) y a la disminución del apoyo gubernamental (*amenaza*) generan los objetivos de maximizar ingresos netos por área, maximizar rentabilidad y optimizar la producción, que son medidos con los indicadores, ingreso por hectárea por semestre, ingreso neto por animal por semestre y costo total por kilogramo de leche, respectivamente. La mayor debilidad en este sentido es el alto costo de mano de obra, la cual se traduce en el

objetivo de minimizar costo de mano de obra, que se mide a través del indicador costo de mano de obra por kilogramo de leche ordeñada.

En la dimensión ecológica se observan varias debilidades, tales como el alto uso de insumos químicos, uso excesivo de agua de lavado, o escasa cobertura vegetal (gramíneas); los cuales generan los objetivos de disminuir uso de herbicidas, disminuir uso de fertilizantes químicos y minimizar uso de medicamentos, además de aumentar uso de fertilizantes orgánicos, maximizar uso de leguminosas y optimizar uso del agua de lavado.

En la dimensión social se observa como debilidad la falta de capacitación del personal que se traduce en el objetivo de maximizar capacitación y se mide a través del indicador de número de capacitaciones al año.

Mediante el anterior procedimiento se logró definir un conjunto de indicadores relacionados con la problemática presente en ambos sistemas en todas las dimensiones que comprenden el desarrollo sostenible. Es importante anotar que en el pasado los únicos parámetros que se han medido son los correspondientes a la dimensión técnica y específicamente los relacionados con el componente animal.

Tabla 1. Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas (FODA) de los sistemas de producción

FODA	Dimensión			
	Técnica	Económica	Ecología	Social
Fortalezas	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Registros eficientes. ➤ Infraestructura y equipo adecuada para la actividad. ➤ Disponibilidad de asesorías. ➤ Buena genética animal y vegetal 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Mercado seguro para los productos. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Correcto manejo de pasturas. ➤ Topografía adecuada para la actividad. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Garantías sociales completas.
Oportunidades	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Área disponible para crecimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Disponibilidad de recursos. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Existe conciencia ecológica. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Posibilidad de capacitar al personal.
Debilidades	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Parámetros (productivos y reproductivos) inadecuados. ➤ Producción fluctuante. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Alto uso de suplementos e insumos. ➤ Dependencia de otras unidades. ➤ Alto costo de mano de obra. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Alto uso de insumos químicos. ➤ Poco uso de sombra en potreros. ➤ Exceso uso de agua para lavado de instalaciones. ➤ Dependencia de pozos. ➤ Alta temperaturas en el época seca ➤ Altas temperaturas y humedad en época lluvias 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Falta capacitación ➤ Interviene la actividad académica
Amenazas	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Enfermedades exóticas. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Disminución del apoyo gubernamental. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Deterioro de los pozos profundos. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Crecimiento acelerado del área urbana.

Tabla 2. Matriz de objetivos e indicadores para los hatos de Doble Propósito y lechería Especializada.

COMPONENTE	TÉCNICA	ECONÓMICA	ECOLÓGICA	SOCIAL
Suelo	Optimizar uso del suelo <i>UA/ha</i>	Maximizar ingreso neto / área <i>¢ / ha / semestre</i>	<i>Cobertura no pasto</i> <i>% de área en bosque / coberturas</i> Disminuir herbicidas <i>Lts / ha / semestre.</i> Disminuir uso de fertilizantes químicos <i>Kg. / ha / semestre</i> Aumentar uso de fertilizantes orgánicos <i>Kg. / ha / semestre</i>	
Forraje	Maximizar producción <i>T MS / semestre</i> Optimizar uso de forraje <i>% Concentrado en la dieta</i>	Minimizar costos Insumos <i>¢ / Kg. MS / semestre</i>	Maximizar # árboles forrajeros <i># árboles / ha de potrero</i> Maximizar uso de leguminosas <i>Porcentaje de leguminosas en potreros</i>	
Animal	Maximizar producción <i>Kg. Leche / a / d.</i> Minimizar incidencia de Mastitis <i>% Incidencia Mastitis</i> Maximizar peso <i>Ganancia de peso diaria (GPD) Kg. (H)</i> <i>Ganancia de peso diaria (GPD) Kg. (M)</i> Maximizar eficiencia Reproductiva <i>Intervalo Entre Partos (IEP) días</i> <i>Servicios por Concepción (S/C)</i> <i>Edad Primer Parto (EPP) meses</i>	Maximizar Rentabilidad <i>Ingreso neto (¢) / animal</i> Optimizar producción <i>Costo totales (¢) / Kg. Leche</i>	Minimizar uso de medicamentos <i>cc antibióticos / semestre</i>	
Humano	Maximizar producción / jornal <i># animales / Mano de Obra (UMO)</i>	Minimizar costo mano obra <i>Costo (¢) M. O / Kg. De leche ordeñada</i>	Calidad de leche <i>Conteo microbiológico</i>	Maximizar Capacitación <i>hr. Capacitación / semestre</i> Seguro social <i>CCSS o INS (escala 0 - 1)*</i> Maximizar seguridad laboral <i>Accidentes por semestre (escala 0 - 1)**</i>
Infraestructura Y Equipo		Minimizar consumo energía <i>Costo (Kw.) / lt leche / semestre</i>	Porcentaje cercas en cercas vivas <i>Porcentaje cercas vivas</i> Optimizar uso de agua para lavado <i>M³ /m² / semestre</i>	Reducir riesgo laboral <i>Uso de equipo protector (escala 1-5)***</i>

3.2. Ponderación de indicadores, componentes y dimensiones de los diferentes hatos.

En la tabla 3 se puede observar la ponderación otorgada, a cada indicador, componente y dimensión de los diferentes hatos, por parte de los diferentes evaluadores los cuales son profesionales de variada formación académica como biólogos, agrónomos, zootecnistas, administradores de empresas. Además se pueden observar las desviaciones estándar (D.E) de las ponderaciones de los diferentes indicadores, componentes y dimensiones.

Tabla 3. Ponderación y desviación estándar de los indicadores, componentes y dimensiones dados por los expertos para el módulo de Lechería Especializada

Componente	Indicador (escala)	Indicadores		Componentes		Dimensión	
		Pond.	D.E	Pond.	D.E	Pond.	D.E
	<u>Dim Técnica</u>						
SUELO	UA/ha	1.00		0.24	0.08	0.24	0.08
FORRAJE	Ton MS Forr/ semestre	0.53	0.17	0.26	0.08		
	% Concentrado en la dieta	0.47	0.17				
ANIMAL	Kg. Leche / a / d.	0.21	0.08	0.24	0.07		
	% Incidencia Mastitis	0.14	0.05				
	Ganancia de peso diaria (GPD) Kg.	0.13	0.08				
	Intervalo Entre Partos (IEP) días	0.20	0.04				
	Servicios por Concepción (S/C)	0.14	0.06				
	Edad Primer Parto (EPP) meses	0.18	0.05				
HUMANO	# animales / Mano de Obra (UMO)	1.00		0.27	0.09		
	<u>Dim Económica</u>						
SUELO	¢ / ha / semestre	1.00		0.24	0.07	0.28	0.09
FORRAJE	¢ / Kg. MS Forr / semestre	1.00		0.22	0.05		
ANIMAL	Ingreso neto (¢) / animal	0.40	0.14	0.20	0.06		
	Costo totales (¢) / Kg. leche	0.60	0.14				
HUMANO	Costo (¢) M. O / Kg. de leche ordeñada	1.00		0.18	0.06		
INS. Y EQUIPO	Kw. / lt leche / semestre	1.00		0.16	0.05		
	<u>Dim Ecológica</u>						
SUELO	% de área en bosque / coberturas	0.32	0.12	0.25	0.06	0.25	0.06
	Lts hrb/ ha /semestre.	0.23	0.06				
	Kg. F.Qu/ ha / semestre	0.24	0.07				
	Kg.F.Org / ha / semestre	0.23	0.09				
FORRAJE	# árboles / ha de potrero	0.50	0.16	0.24	0.05		
	Porcentaje de leguminosas en potreros	0.50	0.16				
ANIMAL	cc antibióticos / semestre	1.00		0.18	0.05		
HUMANO	Conteo microbiológico	1.00		0.19	0.04		
INS. Y EQUIPO	Porcentaje cercas vivas	0.47	0.19	0.14	0.06		
	m ³ agua /m ² / semestre	0.53	0.19				
	<u>Dim Social</u>						
HUMANO	hr. Capacitación / semestre	0.43	0.16	0.62	0.08	0.25	0.09
	CCSS o INS (escala 0 - 1)*	0.33	0.11				
	Accidentes por semestre (escala 0 - 1)**	0.24	0.08				
INS. Y EQUIPO	Cuanta protección usa (escala 1-5)***	1.00		0.38	0.08		

D.E = Desviación estándar. Pond. = Ponderación

Además en esta tabla es posible apreciar que existe considerable variación en la ponderación de los evaluadores hacia los diferentes indicadores, principalmente dentro de cada una de las dimensiones. De igual manera, tabla 4. los resultados obtenidos para el módulo de Doble Propósito fueron distintos, debido a que los objetivos de producción son diferentes.

Tabla 4. Ponderación y desviación estándar de los indicadores, componentes y dimensiones dados por los expertos para el módulo de Doble Propósito

Componente	Indicador (escala)	Indicadores		Componentes		Dimensión	
		Pond.	D.E	Pond.	D.E	Pond.	D.E
	<u>Dim Técnica</u>						
SUELO	UA/ha	1.00		0.25	0.06	0.24	0.08
FORRAJE	T MS / semestre	0.50	0.18	0.27	0.09		
	% Concentrado en la dieta	0.50	0.18				
ANIMAL	Kg. Leche / a / d.	0.19	0.07	0.23	0.06		
	% Incidencia Mastitis	0.13	0.06				
	Ganancia de peso diaria (GPD) Kg. (H)	0.11	0.04				
	Ganancia de peso diaria (GPD) Kg. (M)	0.11	0.06				
	Intervalo Entre Partos (IEP) días	0.18	0.04				
	Servicios por Concepción (S/C)	0.12	0.04				
	Edad Primer Parto (EPP) meses	0.16	0.05				
HUMANO	# animales / Mano de Obra (UMO)	1.00		0.26	0.09		
	<u>Dim Económica</u>						
SUELO	¢ / ha / semestre	1.00		0.24	0.07	0.27	0.08
FORRAJE	¢ / Kg. MS / semestre	1.00		0.23	0.05		
ANIMAL	Ingreso neto (¢) / animal	0.45	0.16	0.20	0.06		
	Costo totales (¢) / Kg. leche	0.55	0.16				
HUMANO	Costo (¢) M. O / Kg. de leche ordeñada	1.00		0.18	0.05		
INS. Y EQUIPO	Costo (Kw.) / lt leche / semestre	1.00		0.15	0.05		
	<u>Dim Ecológica</u>						
SUELO	% de área en bosque / coberturas	0.30	0.12	0.25	0.06	0.25	0.06
	Lts / ha /semestre.	0.23	0.06				
	Kg. / ha / semestre	0.26	0.08				
	Kg. / ha / semestre	0.23	0.09				
FORRAJE	# árboles / ha de potrero	0.50	0.16	0.25	0.05		
	% de leguminosas en potreros	0.50	0.16				
ANIMAL	cc antibióticos / semestre	1.00		0.17	0.05		
HUMANO	Conteo microbiológico	1.00		0.18	0.04		
INS. Y EQUIPO	Porcentaje cercas vivas	0.50	0.19	0.14	0.06		
	m3 /m2/ semestre	0.50	0.19	1.00			
	<u>Dim Social</u>						
HUMANO	Hr. Capacitación / semestre	0.43	0.16	0.62	0.08	0.26	0.08
	CCSS o INS (escala 0 - 1)*	0.33	0.11				
	Accidentes por semestre (escala 0 - 1)**	0.24	0.08				
INS. Y EQUIPO	Cuanta protección usa (escala 1-5)***	1.00		0.38	0.08		

D.E = Desviación estándar. Pond. = Ponderación

3.3. Índices de Sostenibilidad por Componentes:

Seguidamente se presentan de manera comparativa los índices de sostenibilidad por componente obtenidos en cada una de las dimensiones.

El análisis se realizó para cada dimensión y en cada una de ellas se comparó el rendimiento relativo de cada componente dentro de los sistemas de producción, así como el rendimiento relativo de cada componente dentro de los sistemas de producción en cada época y finalmente la comparación entre sistemas de reproducción.

Dimensión Técnica. Se puede observar, en la figura 2, que en el hato de doble propósito el componente forraje (0,49) es el que se encuentra más alejado del óptimo (1,00), debido principalmente al indicador *toneladas de materia seca* (0,04) ya que durante la época seca la producción de forraje es casi nula. Otro componente de bajo rendimiento es el animal (0,58) afectado por el indicador *Kg de leche por animal por día* (0,26), mientras que los componentes suelo y humano (0,90 y 0,99 respectivamente) están cerca del óptimo, siendo el humano el más alto.

Además, se puede observar como algunos componentes variaron sustancialmente entre épocas. Por ejemplo el componente forraje, que en la época seca se encontraba por debajo de la mitad (0,49) mientras que en la época de lluvias aumentó llegando cerca del óptimo (0,88).

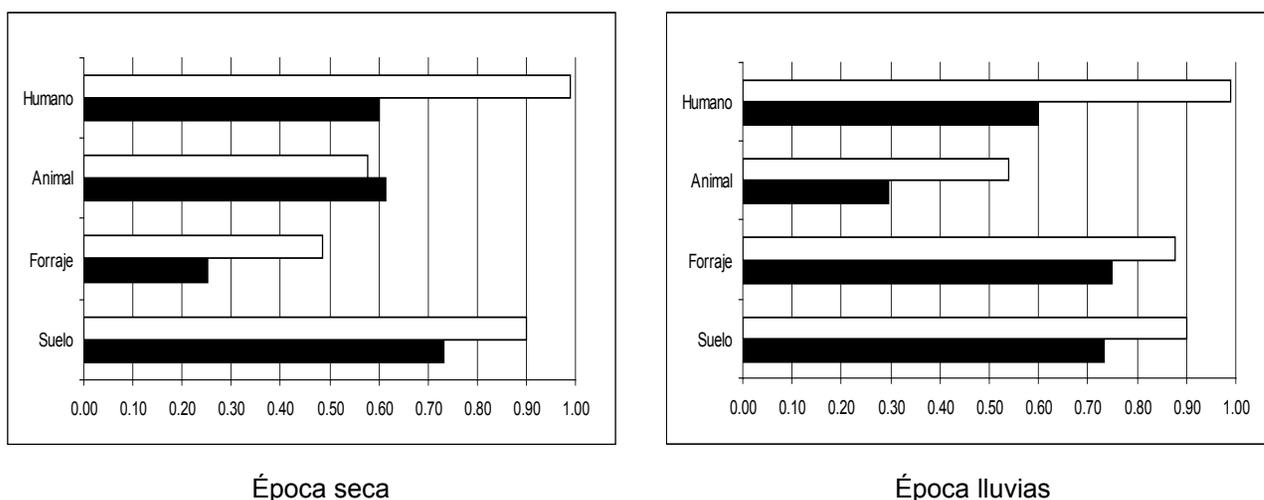


Figura 2. Índice de sostenibilidad por componente en la dimensión técnica de los sistemas de Doble Propósito (□) y Lechería Especializada (■) de la Escuela Centroamericana de Ganadería.

Asimismo se puede ver que en el hato de lechería especializada el componente forraje (0,25) también es el más bajo afectado por el mismo indicador, toneladas de materia seca por semestre (0,04). Los componentes humano, animal y suelo (0,60; 0,62

y 0,73 respectivamente) son mejores por encontrarse sobre la mitad, pero estos también se encuentran alejados del óptimo, siendo en este caso el componente suelo el más alto.

En la época de lluvias el componente animal disminuyó sensiblemente (0,30) debido principalmente a un aumento en la incidencia de mastitis (0,03) y los servicios por concepción (0,00). Otro componente que varió con el cambio de época fue el forraje (0,75), favorecido por el aumento en la producción de materia seca por semestre (0,82).

En los hatos se presenta una diferencia principalmente entre indicadores de los diferentes componentes como lo son, unidades animales por hectárea, porcentaje de concentrado en la dieta, ganancia de peso diaria en hembras y el número de animales por unidad de mano de obra, los cuales son mayores en el hato de doble propósito por lo que en la dimensión técnica este último hato se encuentra mejor en ambas épocas del año.

Dimensión Económica. En la figura 3, se observa como en el hato de doble propósito los componentes humano, suelo e infraestructura y equipo (0,46, 0,46 y 0,45 respectivamente) están cerca de un 50% del valor óptimo, mientras que el forraje y animal (0,28 y 0,19) están más bajos y por lo tanto afectando más negativamente a la dimensión. El componente forraje está influenciado por el costo por kilogramo de materia seca por semestre (0,28). Los indicadores que afectan al componente animal son el costo total por kilogramo de leche (0,16) e ingreso neto por animal, que también es muy bajo (0,23).

Además, se observa como en la época de lluvias sus componentes mejoraron notablemente y algunos de estos casi llegan al óptimo, como es el caso del forraje (0,98) suelo (0,77) humano e infraestructura y equipo (0,71) o por lo menos están sobre el 50%, como el animal (0,51) ya que sus indicadores costo total por Kg. de leche (0,62) e ingreso neto por animal (0,37) mejoraron marcadamente.

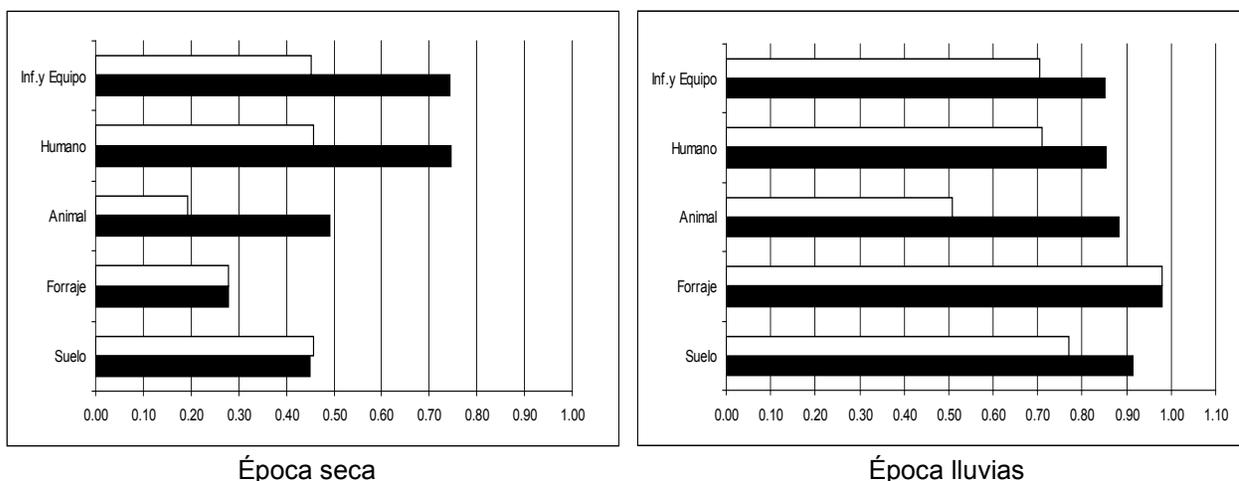


Figura 3. Índice de sostenibilidad por componente en la dimensión económica de los sistemas de Doble Propósito (□) y Lechería Especializada (■) de la Escuela Centroamericana de Ganadería

En la figura 2, también se puede observar que durante la época seca, en el hato especializado, los componentes humano e infraestructura y equipo (0,75 y 0,74 respectivamente) se encuentran cerca de lo deseado, mientras que los componentes animal y suelo (0,49 y 0,45 respectivamente) alcanzan prácticamente un nivel medio. Esto se debe principalmente a los indicadores *ingresos por hectárea* (0,45) y *costos totales por Kilo de leche* (0,54) e *ingreso neto por animal* (0,41). El componente forraje (0,28) está muy bajo siendo influenciado por el *costo por Kilogramo de materia seca* (0,28).

Para la época de lluvias, en el hato de especializado, todos sus componentes aumentaron siendo los más significativos el forraje (0,98) suelo (0,91) y animal (0,88). Esta mejora en los componentes se puede deber al aumento que se experimentó en los niveles de producción, lo que se vio reflejado en los indicadores *costo por Kilogramo de materia seca* (0,98) *ingresos por hectárea* (0,91) *costos totales por Kilo de leche* (0,92) e *ingreso neto por animal* (0,82).

En esta dimensión económica el hato que mejor se comporta es el especializado, tanto en la época seca como de lluvias, debido principalmente al nivel de producción, ya que es mayor en este hato que el de doble propósito, por lo que los ingresos son mayores y los costos se diluyen. Esto indica que el hato de lechería especializada es económicamente más sostenible que el hato de doble propósito.

Dimensión Ecológica. En la figura 4, se observa como en la época seca, en el hato doble propósito, el componente forraje es el más limitante (0,18) ya que los indicadores *número de árboles por hectárea de potrero* (0,10) y *porcentaje de leguminosas en potrero* (0,25) son muy bajos. Además, el componente suelo (0,49) se ve afectado por el *porcentaje de bosque del área total* (0,25); ya que es muy poca el área dedicada a bosque y los *kilogramos de fertilizante orgánico* aplicado por semestre (0,04). Los demás componentes; animal, humano e infraestructura y equipo (0,64; 0,75 y 0,73 respectivamente) son los que están más cerca de los niveles deseados. El último componente se ve beneficiado porque en este sistema casi en su totalidad se utilizan cercas vivas (0,90).

En la época de lluvias los componentes forraje e infraestructura y equipo no variaron, debido a que sus indicadores se mantuvieron iguales; pero sí lo hizo el componente suelo (0,46) el cual disminuyó. Esta disminución fue causada principalmente por el aumento en la aplicación de fertilizante químico por hectárea por semestre, lo que disminuyó el indicador de 0,93 a 0,70. Sin embargo, la aplicación de fertilizante orgánico por hectárea por semestre produjo un incremento en este indicador de 0,04 a 0,16. Otros componentes que disminuyeron fueron el humano (0,50) y animal (0,52) debido a que con las lluvias el conteo microbiológico y el uso de antibióticos por semestre se elevaron, por presentarse un ambiente más propicio (barro, exceso de humedad).

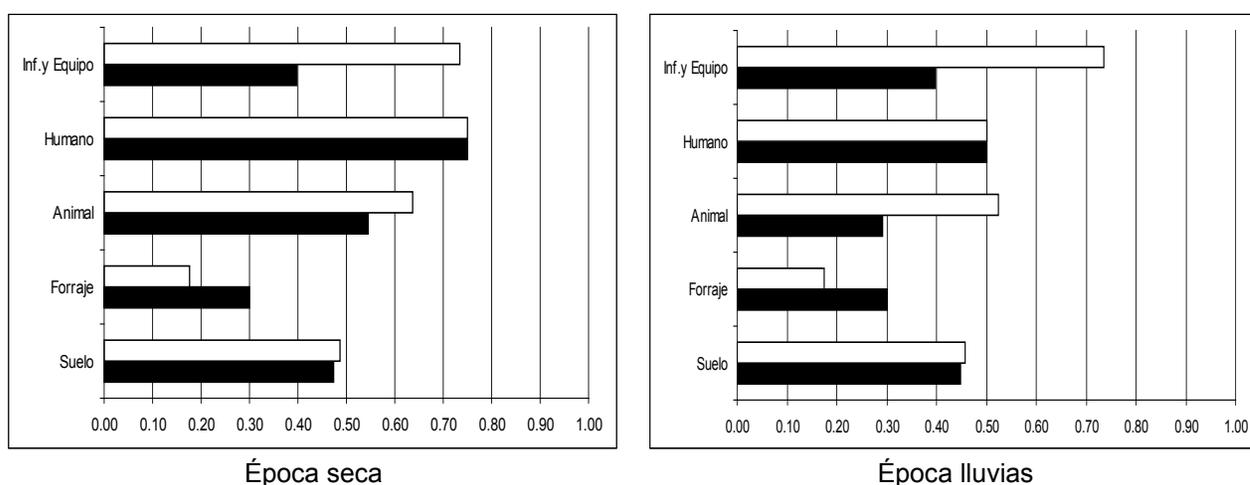


Figura 4. Índice de sostenibilidad por componente en la dimensión ecológica de los sistemas de Doble Propósito (□) y Lechería Especializada (■) de la Escuela Centroamericana de Ganadería

En el hato de lechería especializada, durante la época seca, el componente más bajo fue el forraje (0,30) que se ve disminuido por el número de árboles en potrero (0,10). Este valor es muy bajo por ser un sistema intensivo y que utiliza muy poca sombra para una mayor producción de forraje. Otro componente bajo es infraestructura y equipo (0,40) y se ve afectado por el indicador porcentaje de cercas vivas (0,20), el cual es producto de la utilización de cercas eléctricas. El componente suelo (0,47) también se encuentra por debajo de la mitad y los indicadores que más lo perjudican lo son, *kilogramos de fertilizante orgánico* aplicado por semestre (0,04) que por la época casi no se realiza y *porcentaje de área en bosque* (0,25) ya que el área de bosque presente es muy poca.

Los componentes que mejor se comportaron fueron el humano (0,75) y animal (0,55) ya que sus indicadores *uso de antibióticos por semestre* (0,75) y el *conteo microbiológico* en leche (0,55) fueron muy favorables.

En la época de lluvias los componentes forraje e infraestructura y equipo no variaron debido a que sus indicadores se mantuvieron iguales; pero sí lo hizo el componente suelo (0,45) el cual disminuyó principalmente debido al aumento en la aplicación de fertilizante químico por hectárea por semestre lo que disminuyó el indicador de 0,93 a 0,70. Aunque se aumentó la aplicación de fertilizante orgánico por hectárea por semestre este solo incrementó el indicador de 0,04 a 0,16.

Otros componentes que disminuyeron fueron el animal (0,29) y humano (0,50) debido a que con las lluvias el uso de antibióticos por semestre y el conteo microbiológico se elevaron, por presentarse un ambiente más propicio (barro, exceso de humedad) para ello, lo que disminuyó los indicadores mencionados (0,29 y 0,50 respectivamente)

Entre los hatos se presenta una diferencia bien marcada en el componente infraestructura y equipo, esto debido a que en el área donde se maneja el hato de doble propósito se utilizan más cercas vivas que la del especializado, por ser estas eléctricas. Otro componente que se encuentra mejor en doble propósito es el animal, debido a que se utiliza menos cantidad de antibióticos por presentarse una menor incidencia de mastitis.

El componente forraje se comporta mejor en el hato especializado ya que el porcentaje de leguminosas en potrero es mayor que en el de doble propósito. Los otros dos componentes son muy similares en ambos hatos.

Dimensión Social. Como se observa en la figura 5, en el hato doble propósito el componente infraestructura y equipo (0,38) es el más limitante ya que la cantidad de protección (0,38) a la hora de realizar algunos trabajos no es la más adecuada. El componente humano (0,57) está sobre el 50% del nivel óptimo, pero aún está muy lejos, debido principalmente al indicador horas de capacitación (0,00) al personal que labora con los animales, el cual es nulo.

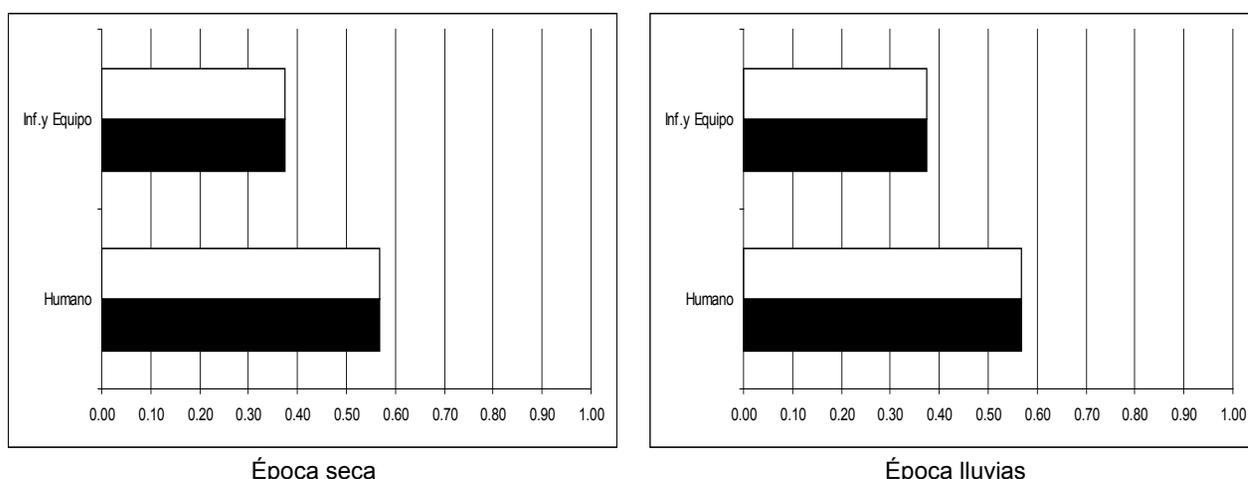


Figura 5. Índice de sostenibilidad por componente en la dimensión social de los sistemas de Doble Propósito (□) y Lechería Especializada (■) de la Escuela Centroamericana de Ganadería

El hato de lechería especializada se comporta igual. En el componente infraestructura y equipo (0,38) el indicador más limitante es la cantidad de protección (0,38). El humano (0,57) se encuentra prácticamente a la mitad de lo óptimo, debido principalmente al indicador horas de capacitación (0,00). Entre las dos épocas no se presentaron diferencias en los indicadores por lo que los componentes tampoco variaron. Entre los hatos, por ser los sistemas similares, los componentes, humano e infraestructura y equipo son prácticamente iguales.

3.4. Índices de Sostenibilidad por Dimensión

En la figura 6 se puede observar, en el hato de doble propósito durante la época seca, que la dimensión económica (0,36) es la más baja, debido a que los índices para el componente animal (0,19) y el forraje (0,28) son muy bajos. Los restantes componentes no superan la mitad del óptimo debido a que los niveles de producción son

bajos y los costos son altos. Otra dimensión que se encuentra baja es la social (0,49) afectada por el componente infraestructura y equipo (0,38). Un poco mejor se encuentra la dimensión ecológica (0,52) donde el componente forraje (0,18) es el que más detrimento causa, seguido por el suelo (0,49); aunque está siendo favorecida por los componentes: animal (0,64), infraestructura y equipo (0,73) y humano (0,75). La dimensión técnica (0,73) es la que mejor se encuentra ya que los componentes animal (0,99) y suelo (0,90) la favorecen.

En la época de lluvias, se puede ver como con la dimensión económica (0,75) aumentó significativamente, gracias al incremento sufrido por sus componentes, principalmente, el forraje (0,98) y el animal (0,51) aunque los demás también lo hicieron, infraestructura y equipo (0,71) humano (0,71) y suelo (0,77). Otra dimensión que aumentó fue la técnica (0,83) principalmente por el incremento sufrido por el componente forraje (0,88) y que los demás se mantuvieron o descendieron muy poco, como el animal (0,54).

También se puede ver como la dimensión social (0,49) se mantuvo sin cambios, mientras que la ecológica disminuyó por efecto del descenso presentado por los componentes humano (0,50), animal (0,52) y suelo (0,46) y a que los demás se mantuvieron iguales.

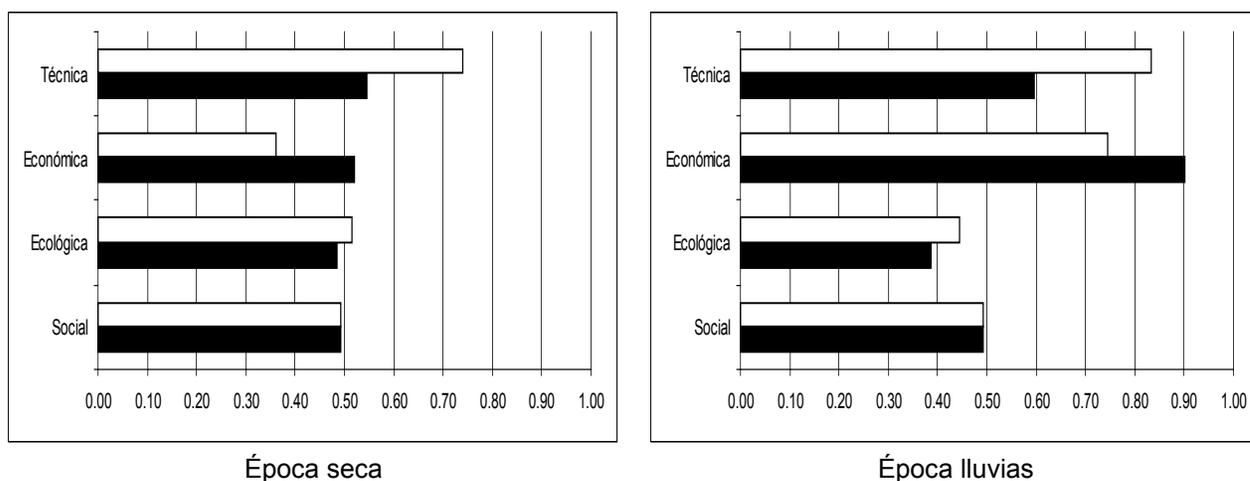


Figura 6. Índice de sostenibilidad por dimensión de los sistemas de Doble Propósito (□) y Lechería Especializada (■) de la Escuela Centroamericana de Ganadería

En el hato especializado, durante la época seca, la dimensión ecológica (0,49) es afectada negativamente por el componente forraje (0,30), infraestructura y equipo (0,40) y suelo (0,47) pero es beneficiada por los componentes animal (0,55) y mayormente por

el humano (0,75). Otra dimensión baja es la social (0,49) donde el componente infraestructura y equipo (0,38) es el más bajo mientras que el humano (0,57) es superior al promedio. La dimensión económica (0,52) tiene al componente forraje (0,28) como el más negativo, aunque los componentes suelo (0,45) y animal (0,49) también lo afectan. La dimensión técnica (0,54) es la más alta pero apenas sobrepasa la mitad y aún está lejos de lo óptimo, debido a que el componente forraje (0,25) es muy bajo, ya que los demás si están por encima de la mitad.

En la época de lluvias, se puede ver como la dimensión económica (0,90) aumentó significativamente, gracias al incremento sufrido por sus componentes, principalmente el forraje (0,98), suelo (0,91) y animal (0,88) aunque los demás también lo hicieron, infraestructura y equipo (0,85) y humano (0,85). Otra dimensión que aumentó fue la técnica (0,60) principalmente por el incremento sufrido por el componente forraje (0,75) y que el suelo (0,73) y el humano (0,60) se mantuvieron, aun con el descenso presentado por el animal (0,30).

También se puede ver como la dimensión social (0,49) se mantuvo sin cambios, mientras que la ecológica (0,39) disminuyó por efecto del descenso presentado por los componentes animal (0,29) humano (0,50) y suelo (0,45) y a que los demás se mantuvieron iguales.

Entre los hatos, lo social presenta un comportamiento uniforme, no así las otras dimensiones, donde lo técnico y ecológico están mejor en el hato de doble propósito, mientras que lo económico es mejor en el hato especializado.

3.5. Índice de Sostenibilidad Integral (I.S.I)

En la figura 7, el I.S.I de la época seca de los hatos de doble propósito y lechería especializada (0,52 y 0,51 respectivamente) se encuentran prácticamente a un 50% de lo deseado. Aunque entre las dimensiones, se encontró que existen algunas diferencias entre los hatos, esta similitud final se debe a la ponderación que se le dio a cada indicador, componente y dimensión por parte de los diferentes evaluadores.

Para la época de lluvias, se presentaron cambios en los diferentes indicadores, componentes y dimensiones, el índice de sostenibilidad integral también varió, el de

doble propósito aumentó de 0,52 a 0,63 y el de especializado de 0,51 a 0,60, por lo tanto el aumento fue prácticamente igual en los dos hatos.

Este aumento en el I.S.I, con el cambio de época, indica que los sistemas son más sostenibles durante el periodo de lluvias que en el periodo seco, aunque aún difieren importantemente de lo deseado (1,00).

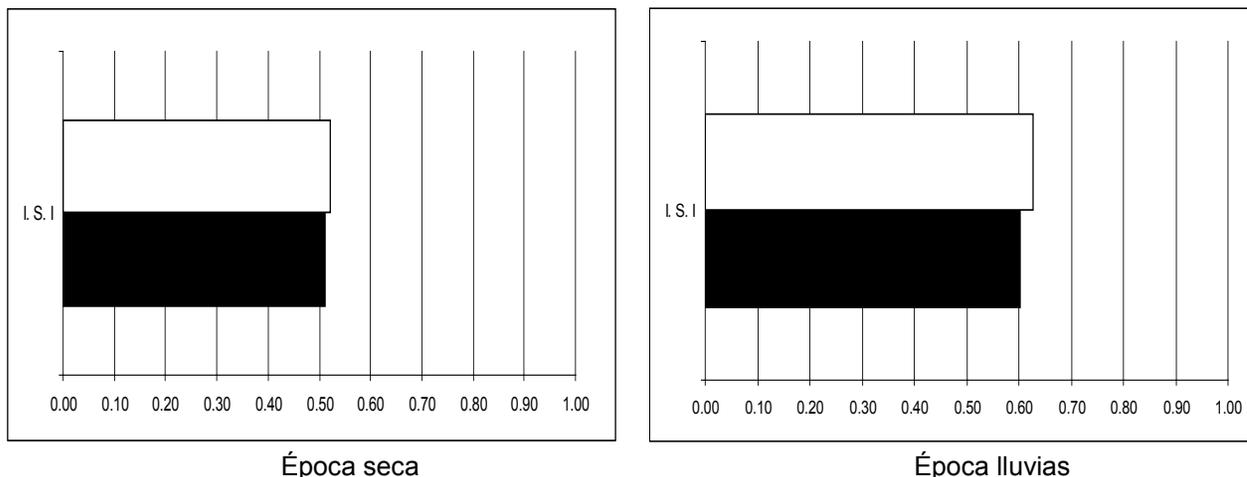


Figura 7. Índice de sostenibilidad integral de los sistemas de Doble Propósito (□) y Lechería Especializada (■) de la Escuela Centroamericana de Ganadería

Como se ha visto el índice de sostenibilidad integral se ve afectado por los indicadores que afectan los componentes y estos a su vez a las dimensiones, por lo que para mejorar los I.S.I, se debe empezar desde el nivel de los indicadores.

4. CONCLUSIONES

El uso de indicadores permite obtener una visión integral del desarrollo de un sistema de producción. La obtención de estos indicadores es difícil si no se cuenta con la información suficiente o si está muy dispersa, por eso la inexistencia de sistemas de registro adecuados es una limitante a la hora de implementar un sistema de monitoreo de este tipo.

Es importante tratar de identificar más de un indicador por componente, ya que si únicamente se cuenta con uno y este presenta valores extremos, puede sesgar la representación de ese componente.

Los indicadores que más afectan al I.S.I en el hato de doble propósito son: Kilogramos de leche por animal por día, servicios por concepción, costo por Kilogramo de materia seca por semestre, costos totales por Kilogramo de leche, costo por

kilogramo de leche ordeñada, costo por Kilowatt por kilo de leche por semestre, porcentaje de área en bosque, Kilogramos de abono orgánico aplicado por hectárea por semestre, número de árboles por hectárea de potrero, porcentaje de leguminosas en potrero, horas de capacitación por semestre y protección utilizada.

Los indicadores que más afectan al I.S.I en el hato de lechería especializada son: Kilogramos de leche por animal por día, porcentaje de incidencia de mastitis, edad primer parto, costo por Kilogramo de materia seca por semestre, porcentaje de área en bosque, kilogramo de abono orgánico aplicado por hectárea por semestre, número de árboles por hectárea de potrero, centímetros cúbicos de antibióticos aplicados por semestre, porcentaje de cercas vivas, horas de capacitación por semestre y protección utilizada.

Se observaron diferencias considerables entre épocas; lo que confirma la necesidad de establecer sistemas de monitoreo que sean dinámicos. Es importante determinar cuáles son los componentes que se ven más afectados, entre las distintas épocas, con el fin de generar alternativas de producción tendientes a lograr mayor estabilidad de producción.

El sistema de monitoreo propuesto puede servir de base para evaluar posibles alternativas de manejo. El impacto de las diferentes alternativas podría estimarse con base a los efectos específicos sobre los distintos indicadores propuestos y posteriormente determinar el efecto agregado a nivel de las dimensiones y a nivel del sistema de producción.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Adriaanse, A. 1996. Environmental statistics and the need for indicators of sustainable development for decision making processes. In Memoria 1° taller nacional sobre estadísticas ambientales. 1 y 2 de Febrero de 1996. San José. Costa Rica.
- Ammour, T; Reyes, R. 2000. Evaluación de la Sostenibilidad de los Sistemas de Producción en la Concesión Comunitaria de San Miguel, Peten, Guatemala. Presentado en el 16° Simposio de la Asociación Internacional de Sistemas de Producción (IFSA), 27-29 de noviembre 2000, Santiago de Chile, Chile. Editado para REDES por Claudia Bouroncle. Consultado el 21 octubre 2002. Disponible en [WWW.netmye.net/enespanol/Documentos/Evaluaci%F3n de la Sostenibilidad SPCC Pet%E9n Guatemala.pdf](http://WWW.netmye.net/enespanol/Documentos/Evaluaci%F3n%20de%20la%20Sostenibilidad%20SPCC%20Pet%20Guatemala.pdf) -
- Austin, L; Burns, J. 1985. Management Science. An aid for managerial decision making. Texas Tech University. Macmillan publishing company. New York. USA.
- Baldoceda, R. 1996. Glosario de términos ambientales. Curso de maestría en gestión de recursos naturales renovables y medio ambiente. Centro internacional de investigación y desarrollo ambiental y territorial. Universidad de los Andes. Mérida. Venezuela.
- Bertalanffy, F. 1987. Tendencias en la teoría general de sistemas. Editorial Alianza, Madrid, España.
- Calzadilla, A; Díaz, V. 2001. El Reduccionismo, Antirreduccionismo y el Papel de los Enfoques y Métodos Generales del Conocimiento Científico. Cinta de Moebio No. 11. Septiembre 2001. Facultad de Ciencias Sociales. Universidad de Chile. Consultado el 21 octubre 2002. Disponible en: <http://rehue.csociales.uchile.cl/publicaciones/moebio/11/frames07.htm>
- Díaz, D. 2002. Qué es (y qué no es) la Contabilidad Ambiental. Consultado el 08 Noviembre 2002. Disponible en www.vitalis.net/actualidad6.htm - 6k
- Esquivel, J. 2002. Desarrollo sostenible: conceptos básicos. En Compilado, VII Curso internacional de gestión y dirección de áreas protegidas: áreas de conservación y sostenibilidad del desarrollo. Compilador, Jorge Esquivel Q Escuela Latinoamericana de Áreas Protegidas (ELAP). Universidad para la Cooperación Internacional (UCI). De febrero 4 a marzo 1 del 2002. San José, Costa Rica.
- Fürst, E. 1998. El debate actual sobre indicadores de sostenibilidad. Centro Internacional en Política Económica Universidad Nacional Heredia, Costa Rica. Consultado el: 21 octubre 2002. Disponible en: [http://www.mideplan.go.cr/sinades/PUBLICACIONES/cambio-actitud artículo%20edgar%20furst.html#indice%20de%20contenido](http://www.mideplan.go.cr/sinades/PUBLICACIONES/cambio-actitud/articulo%20edgar%20furst.html#indice%20de%20contenido)
- Hart, R. 1985. Conceptos básicos sobre agroecosistemas. Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. 160p.
- _____; Jiménez, T. Serpa, R. 1980. Una metodología para analizar sistemas agrícolas en términos energéticos. In Análisis energético de sistemas agrícolas. Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica.

- Hunt, D; Johnson, C. 1998. Sistemas de gestión medioambiental. Principios y practicas. Traducido de la primera edición en inglés de Environmental Management Systems. Principles and practice. Por María Quintana de la Pedraja. Ed McGraw-Hill/ Interamericana de España, S,A.
- Hünнемeyer, A; Del Camino, R; Müller, S. 1997. Análisis del desarrollo sostenible en Centroamérica: Indicadores para la agricultura y los recursos naturales. Proyecto IICA/GTZ. San José, Costa Rica. 157 p.
- Ibáñez, N. 2002. Desarrollo sostenible: apuntes para el desarrollo de la tensión pobreza y ambiente. En Compilado, VII Curso internacional de gestión y dirección de áreas protegidas: áreas de conservación y sostenibilidad del desarrollo. Compilador, Jorge Esquivel Q. Escuela Latinoamericana de Áreas Protegidas (ELAP). Universidad para la Cooperación Internacional (UCI). De febrero 4 a marzo 1 del 2002. San José, Costa Rica.
- Idaho Geoespacial Data Center. 2002. Geography 427 - Decision Making Techniques in Resource Management. Lecture #2: Introduction to Multiple Criteria Decision Making (MCDM). Consultado el 12 de Noviembre. Disponible en: <http://geolibrary.uidaho.edu/courses/Geog427/Lectures/2/> - 11k -
- IICA. 2002. Experiencias IICA. Consultado el 21 octubre 2002. Disponible en: www.iicanet.org/comuniica/n_3/espanol/x_diseno.htm
- Jalvingh, AW; Dijkhuizen, AA; Renkema, JA. 1997. Linear programming to meet management targets and restrictions. In Animal Health Economics, principles and Applications. Ed A.A Dijkhuizen and R.S Morris. University of Sydney. Sydney. Australia.
- Leñero, J. 1979. Introducción a la teoría general de sistemas. In Modelos y técnicas de sistemas aplicados a la administración de proyectos. Primera edición. ICAP-BID. San José, Costa Rica.
- Looijen, JM. 1997. Environmental impact assessment: Lecture notes. International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences. 58 p.
- Koontz, H; Wehrch, W. 1993. Elementos de administración. Traducido de Essentials of management. Traducido por Julio Coro Pando. Editorial McGraw – Hill. México DF. 565 p.
- Miller, T. 1992. Ecología y medio ambiente. Traducido de la primera edición en inglés de Living in environment – An introducción to environment science. Por Irma de León Rodríguez y Virgilio González V. Editorial Iberoamérica. México DF.
- Müller, S. 1996. ¿Cómo medir la sostenibilidad?: una propuesta para el área de la agricultura y de los recursos naturales. Proyecto IICA/GTZ. San José, Costa Rica. 56 p.
- Murillo, A. 2003. Desarrollo e implementación de una matriz de indicadores para el monitoreo de sostenibilidad en fincas de lechería especializada de Costa Rica. Tesis Maestría, Posgrado regional en ciencias veterinarias tropicales. Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica.

- Price, L. 1984. Análisis económico de proyectos agrícolas. Instituto de Desarrollo Económico del Banco Mundial. Segunda Edición. Editorial Tecnos. Madrid, España. 532 p.
- Reiche, C; Carls, J. 2002. Modelos para el desarrollo de una agricultura sostenible. En Compilado, VII Curso internacional de gestión y dirección de áreas protegidas: áreas de conservación y sostenibilidad del desarrollo. Compilador, Jorge Esquivel Q. Escuela Latinoamericana de Áreas Protegidas (ELAP). Universidad para la Cooperación Internacional (UCI). De febrero 4 a marzo 1 del 2002. San José, Costa Rica.
- Saravia, A. 1985. Un enfoque de sistemas para el desarrollo agrícola. Ed. IICA. San José. C. R. 267p.
- Terry, G; Franklin, S. 1987. Principios de administración. Tercera reimpresión. Compañía editorial Continental S.A. México.
- Keulen, H van; Meer, H van der; De Boer, IJM. 1996. Nutrient balances of livestock production systems in the Netherlands. In Utilization of local feed resources by dairy cattle. Perspectives of environmentally balanced production systems. Symposium proceedings. Ed. Groen Ab F and Van Bruchem J. Publication N° 84. Wageningen Institute of Animal Sciences. The Netherlands.
- Wadsworth, J. 1984. Análisis de sistemas de producción animal. Escuela Centroamericana de Ganadería. Atenas, Alajuela, Costa Rica.
- _____. 1997. Análisis de sistemas de producción animal. Tomo 1, Bases conceptuales. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación © FAO.Roma, Italia. Consultado el 21 octubre 2002. Disponible en <http://www.fao.org/DOCREP/004/W7451S/W7451S09.htm>

Capítulo 2

USO DE ANALISIS DE DECISIÓN DE MÚLTIPLES ATRIBUTOS PARA LA EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE PRODUCCION EN EL SISTEMA DE LECHERÍA ESPECIALIZADA DE LA ESCUELA CENTROAMERICANA DE GANADERÍA

JESÚS GONZÁLEZ VINDAS

USO DE ANALISIS DE DECISION DE MÚLTIPLES ATRIBUTOS PARA LA EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE PRODUCCION EN EL SISTEMA DE LECHERÍA ESPECIALIZADA DE LA ESCUELA CENTROAMERICANA DE GANADERÍA

Jesús González Vindas

Palabras claves: Análisis de Decisiones de Múltiples Atributos (ADMA), TOPSIS, optimización, modelos estocásticos, análisis de sensibilidad, lechería tropical

RESUMEN

En este estudio se proponen tres diferentes alternativas de desarrollo para el módulo de Lechería Especializada de la ECAG, las cuales fueron comparadas y evaluadas contra la situación actual utilizando Análisis de Decisiones de Múltiples Atributos (ADMA) mediante el método TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) técnica utilizada para identificar soluciones que se encuentran lo más cerca posible a una solución ideal; con el fin de estimar el impacto global del uso de cada alternativa sobre el Índice de Sostenibilidad Integral (I.S.I). Las alternativas planteadas fueron 1) Uso de leguminosas en pasturas, 2) Uso de abono orgánico, y 3) Uso de fertilizantes nitrogenados (Químicos). Para tomar en cuenta la posible variación en rendimiento de las alternativas comparadas se utilizaron técnicas de simulación estocástica basadas en distribuciones de probabilidad obtenidas de literatura y de observaciones previas obtenidas dentro de la misma unidad de producción. La comparación de las alternativas se hizo con base en los resultados obtenidos en los índices de sostenibilidad por dimensión y el I.S.I descritos en el primer estudio. De acuerdo con los resultados, la alternativa de uso de leguminosas aparece como la más favorable, debido a que el I.S.I de este es el más alto y está más cercano al óptimo buscado (I.S.I= 0.67, Min = 0.62, Max = 0.72), seguida por el uso de abono orgánico (I.S.I= 0.61, Min = 0.57, Max = 0.66), y el uso de fertilizantes nitrogenados (I.S.I= 0.60, Min = 0.55, Max = 0.64), todas superiores a la situación actual (I.S.I= 0.54, Min = 0.50, Max = 0.58). Los rangos de variación (Min y Max) observados indican que las diferencias significativas entre la alternativa de uso de leguminosas y las restantes son consistentes, con respecto a la calificación, no así entre el uso de abono orgánico y el uso de fertilizantes nitrogenados. La superioridad del uso de leguminosas está ligada a

su mayor rendimiento principalmente en la dimensión económica, manteniendo niveles apropiados en las dimensiones ecológica y técnica. Las otras dos alternativas no logran este mismo equilibrio. Se realizó un Análisis de Sensibilidad con el fin de evaluar el efecto de cambios en los Factores de Ponderación de las distintas dimensiones sobre el ranqueo de las alternativas según I.S.I. Al variar los factores de ponderación, se producen variaciones ligeras en la magnitud de los I.S.I, reduciéndose los rangos de variación. Sin embargo, el orden relativo de las alternativas se conserva inalterado ya que la alternativa uno sigue siendo superior a la dos y tres; las cuales a su vez están sobre la situación actual. Los resultados demuestran que la alternativa con mejor potencial de desarrollo sería el Uso de Leguminosas.

SUMMARY

Three management alternatives for the Dairy Production unit of the ECAG were compared using Multiple Attributes Decision Making (MADM) by the method TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution). Alternatives were evaluated on the basis of potential impact on Sustainability Index (I.S.I). Proposed alternatives were 1) Use of legumes associated in pastures, 2) Use of organic fertilizer, and 3) Use of nitrogen fertilizer (chemical). Random variation in performance for the different alternatives was taken into account using stochastic simulation based on probability distributions obtained from literature and from previous experience within the system under study. Results showed that Use of Legumes appears as the alternative with the best performance (I.S.I= 0.67, Min = 0.62, Max = 0.72), followed by Use of Organic Fertilizer (I.S.I= 0.61, Min = 0.57, Max = 0.66), Chemical Fertilizer (I.S.I= 0.60, Min = 0.55, Max = 0.64), and current situation (I.S.I= 0.54, Min = 0.50, Max = 0.58). Assessment of stochastic variation indicates that difference between Use of Legumes and the other alternatives is consistent, while difference between Use of Organic and Chemical Fertilizer is not. The superiority of the alternative Use of Legumes is related to a better performance of the economic dimension, while maintaining an adequate performance in the ecological and technical dimensions. Use of Organic Fertilizer and Chemical fertilizer fail to achieve this equilibrium. A Sensitivity Analysis was performed in order to evaluate the effect of changes in Weighing Factors of the different dimensions on ranking of I.S.I for the different alternatives. Changing the weighing factors of the dimensions produced only a slight variation in magnitude of the I.S.I, and reduced its

range of variation; even though the relative order of the alternatives remained similar. Results indicated that the alternative with the best potential impact is Use of Legumes.

1. INTRODUCCIÓN

En el capítulo 1, se desarrollaron y cuantificaron una serie de indicadores que presentan las unidades de producción de lechería especializada y doble propósito de la Escuela Centroamericana de Ganadería. Estos indicadores fueron utilizados para definir las principales fortalezas y debilidades de estos sistemas de producción; además permitieron estimar un índice Integral de sostenibilidad que pretende medir el desarrollo integral del sistema de producción. El presente capítulo se orienta a formular alternativas de producción tendientes a superar las principales debilidades identificadas anteriormente. Estas alternativas serán evaluadas utilizando Modelos de Decisión de Múltiples Criterios, mediante el método TOPSIS, con el fin de determinar cuál de ellas podría contribuir en mayor grado a mejorar los índices de sostenibilidad de los sistemas de producción.

1.1. **Método TOPSIS** (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)

El método TOPSIS, también llamado Programación Compromiso, es una técnica de programación matemática utilizada originalmente en contextos continuos y que ha sido modificada para el análisis de problemas de multicriterios de tipo discretos. Es utilizada para identificar soluciones que se encuentran lo más cerca posible a una solución ideal aplicando para ello alguna medida de distancia (Flament 1999).

En esta metodología se compara cada alternativa según su distancia (lejanía o cercanía) con respecto a dos alternativas virtuales: *Ideal Positiva* e *Ideal Negativa* (Yoon 1995). La metodología está basada en el concepto que una alternativa seleccionada debe tener la distancia más corta posible hacia la solución ideal positiva y estar lo más lejos posible respecto de la solución ideal negativa (Flament 1999).

Una solución ideal se define como una colección de niveles ideales (o de puntajes) en todos los atributos considerados, pudiendo suceder que tal solución normalmente sea inalcanzable o que no sea factible. El vector compuesto por los mejores valores del *j*-ésimo atributo respecto a todas las alternativas posibles es quien recibe el nombre de solución ideal positiva. En contraposición, la solución ideal negativa estaría dada por el

vector que contiene los peores puntajes alcanzables en los atributos (Flament 1999). A fin de seleccionar la solución ideal, el método TOPSIS necesita de la definición de un índice que se construye combinando la proximidad al ideal positivo y la lejanía respecto al ideal negativo. En el presente estudio este índice corresponde con el Índice de Sostenibilidad descrito en el capítulo anterior. Las etapas principales en que se divide esta metodología se resumen en la Figura 1.

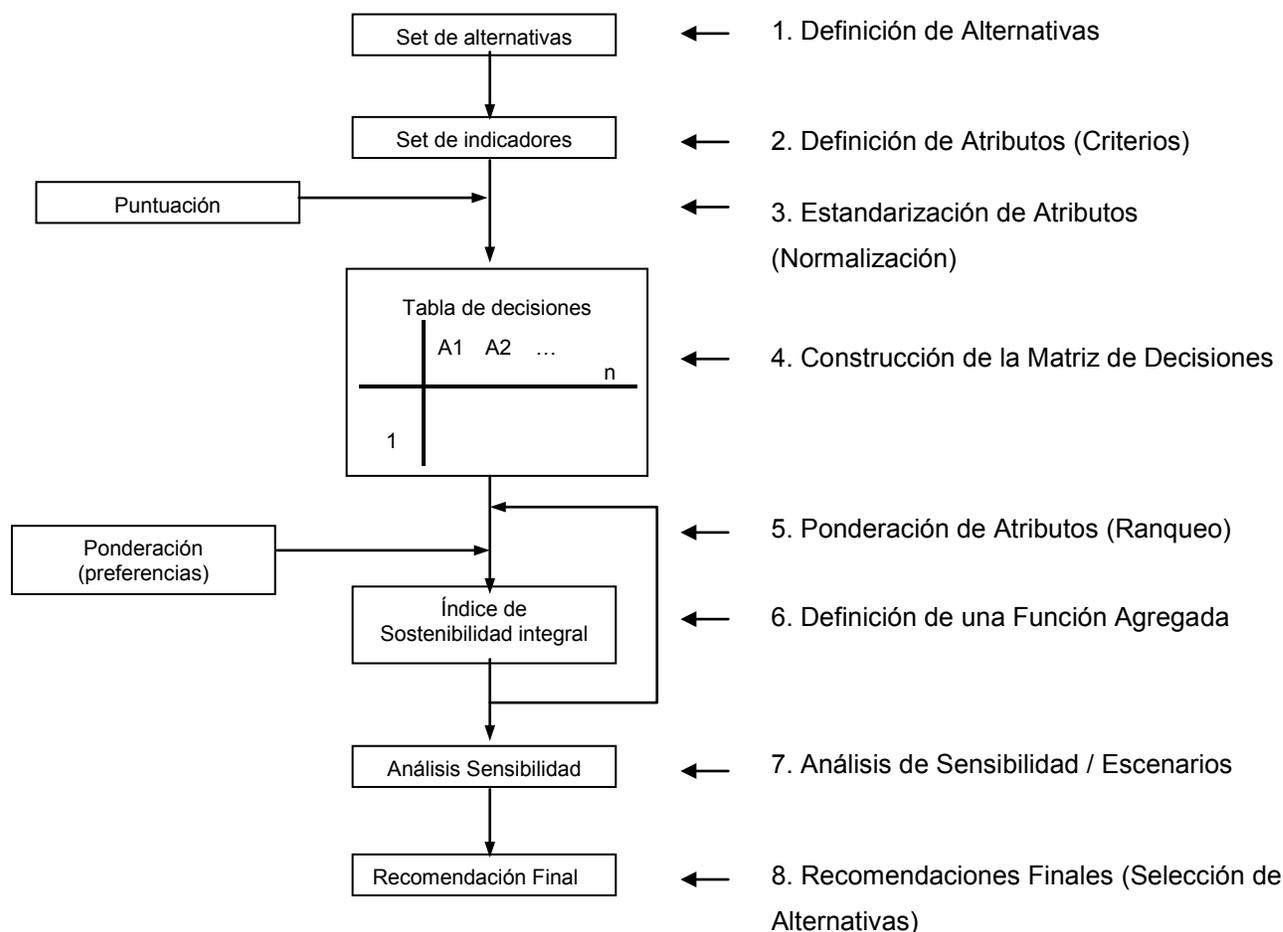


Figura 1. Principales etapas en el proceso de evaluación de alternativas de acción según el método TOPSIS. Adaptado de Looijen 1997.

El método inicia con la definición de una serie de alternativas o posibles cursos de acción; así como de los atributos o criterios que servirán para evaluar dichas alternativas. Seguidamente cada alternativa debe recibir una puntuación para cada uno de los criterios, esta puntuación representa el nivel logrado para cada criterio de evaluación. Debido a que los criterios pueden ser medidos en distintas escalas es necesario realizar una normalización (estandarización). Posteriormente debe realizarse

una ponderación de criterios con el fin de valorar la importancia relativa según las preferencias del tomador de decisiones.

La información anterior se presenta generalmente en una tabla o matriz de decisión en la que se resume la información proporcionada por los indicadores y así se proporciona la base para la comparación y evaluación de las alternativas de decisión. Para poder jerarquizar las alternativas es necesario definir una función agregada (p.e un índice de sostenibilidad) el cual es una medida del impacto total de cada alternativa. La alternativa con el más alto valor será la que se encuentra más cerca del ideal positivo (Flament, 1999). Una manera de dar mayor validez al ADMA es mediante el uso de modelos estocásticos y análisis de sensibilidad, según se describe a continuación.

1.2. Modelos estocásticos (Simulación Monte Carlo) y análisis de sensibilidad

La técnica Monte Carlo es un método de simulación que se utiliza para representar la posible variación aleatoria que ocurre en la presentación de un evento. En el caso de ADMA esta metodología puede ser utilizada para expresar la posible variación aleatoria que pueda presentar un atributo en una determinada alternativa. Mediante esta técnica es posible definir un rango de valores esperados para variables inciertas, en vez de utilizar solo valores promedio. La definición de los rangos de variación para una variable aleatoria se hace mediante el uso de distribuciones de probabilidad (Sapag y Sapag 1990).

En la simulación de procesos de producción agrícola, la consideración de la estocasticidad es importante, pues existen un gran número de factores no controlables que afectan el rendimiento de las explotaciones, tales como: efectos climáticos, plagas, enfermedades, condiciones de mercado, políticas del gobierno, etc (Ugalde 1992). Rara vez se posee información completa y exacta que respalde todas las decisiones por lo que hay que valerse de cálculos estimados y del mejor juicio, como sustituto de los hechos que se desconocen (Ugalde 1992).

El uso de modelos estocásticos en combinación con análisis de sensibilidad incrementa de manera significativa la validez del ADMA como herramienta para la comparación de alternativas de producción. El análisis de sensibilidad permite identificar los parámetros sensibles, es decir los parámetros que mayor impacto tienen sobre la selección de una solución óptima (Análisis de sensibilidad 2005). En ADMA el análisis

de sensibilidad puede usarse, por ejemplo, para evaluar la consistencia de la jerarquía de las alternativas propuestas ante una modificación exploratoria de los valores de ponderación.

En el presente estudio se combinó la metodología de ADMA mediante el método TOPSIS y los modelos estocásticos con el fin de evaluar posibles alternativas de producción tendientes a mejorar la sostenibilidad de la unidad de producción de lechería especializada de la Escuela Centroamericana de Ganadería.

2. MATERIALES Y METODOS

En este estudio la generación y evaluación de alternativas de acción se basó en la metodología de *Análisis de Decisión de Múltiples Atributos (ADMA)*, utilizando el conjunto de indicadores y el Índice de Sostenibilidad Integral (I.S.I) desarrollados anteriormente para el sistema de producción de lechería especializada (ver capítulo 1). En ese análisis se determinaron los indicadores con valores más bajos y que requieren de acciones inmediatas tendientes a promover un desarrollo más integral y sostenible de la unidad de producción.

Las alternativas propuestas en el presente estudio se seleccionaron en función de su factibilidad, es decir, se buscó que cumplieran con las condiciones requeridas para su puesta en práctica y que estuvieran enfocadas a uno o más aspectos que se consideren relevantes desde la perspectiva de sostenibilidad. Cada una de las alternativas se evaluó en términos de su posible impacto sobre los indicadores que contribuyen en el I.S.I. Para ello se estimó cuáles indicadores podrían verse afectados y en que magnitud. Se consideraron tanto los posibles efectos positivos como los negativos. Al final, las distintas alternativas propuestas se jerarquizaron según su I.S.I.

2.1. Selección de alternativas de acción

En el capítulo 1, el índice de sostenibilidad integral (I.S.I) en el hato de lechería especializada se ubicó en un nivel de 0,59 y se observó que los indicadores que más afectaron el I.S.I fueron: toneladas materia seca, ingreso neto por animal, ingreso por hectárea, kilogramos de leche por animal por día, incidencia de mastitis, edad primer parto, costo por kilogramo de materia seca, porcentaje de área en bosque, kilogramo de abono orgánico aplicado por hectárea, número de árboles por hectárea de potrero,

centímetros cúbicos de antibióticos, porcentaje de cercas vivas, horas de capacitación por semestre y protección utilizada.

Con base en estos hallazgos en el presente estudio se propusieron tres diferentes alternativas de producción utilizando ADMA mediante el método TOPSIS. Las alternativas propuestas se describen seguidamente.

Alternativa 1: Uso de leguminosas en pasturas. Una opción factible para el sistema de producción analizado es aumentar la introducción de leguminosas. El incremento en el uso de leguminosas, asociadas con gramíneas, podría tener un efecto en los indicadores: toneladas materia seca, costo por Kilogramo de materia seca, ingreso neto por animal, Kilogramos de leche por animal por día, Kilogramo de abono orgánico aplicado por hectárea por semestre e ingreso por hectárea por semestre.

Para el establecimiento de una asociación (gramínea - leguminosa) se necesita una leguminosa que sea medianamente palatable, de buena calidad nutricional en términos de energía digestible y proteína (DIVMS y PC), tolerante al pastoreo, al pisoteo, la época seca, que posea un sistema de reproducción que garantice su persistencia y además debe ser lo suficientemente agresiva, para que pueda competir con la gramínea. En este estudio se consideró el uso *Arachis pintoii* (Maní forrajero), la cual ha demostrado poseer las anteriores características (Valls y Simpson 1995).

Para la introducción de la leguminosa, en un potrero establecido de gramíneas, se asumió inicialmente un pastoreo con una carga animal alta, para eliminar la mayor cantidad de material vegetativo. Seguidamente se surca, con un arado de cincel, a una distancia de un metro entre cada uno de ellos; formando un surco de aproximadamente 15 cm de profundidad. Después se aplica un herbicida quemante de contacto al borde del surco, con el fin de atrasar el crecimiento de la gramínea, pero no eliminarla por completo. Inmediatamente después se deposita la semilla sexual (12 Kg/ha) en el fondo del surco, dos semillas cada 25 cm, y se tapa con tierra, para protegerla del sol o las aves que quieran consumirla. El primer pastoreo se realiza 30 días después de haber sido sembrado el *A. pintoii*, con una carga animal alta pero por un corto periodo de tiempo, con el fin de que los animales consuman la gramínea y no afecte el crecimiento de la leguminosa. Estableciendo de esta forma la leguminosa se esperaría que a partir del segundo año se logre estabilizar a una proporción de 40%, con la cual ya se

evidencian los beneficios de la leguminosa (Argel y Villarreal 1998). Las leguminosas tienen la particularidad de tomar el nitrógeno (N₂) presente en la atmósfera y fijarlo al suelo, donde está disponible para las plantas. Según Tomas (1995) la tasa de fijación varía entre 68,0 a 206,0 kg de N/ha; ocasionando un aumento en la producción de las gramíneas asociadas con estas. Mediante este procedimiento la disponibilidad de materia seca a los animales puede elevarse hasta 3.000,0 Kg/ha/semestre (González 1992. Romero y González 1998) lo que permite aumentar la carga animal hasta 5,0 ua/ha en la época de lluvias (Romero y González 2001). Además por fijar este Nitrógeno al suelo no es necesaria la aplicación de fertilizantes, químicos u orgánicos, lo que disminuye los costos por kilogramo de la materia seca producida.

Por otro lado con el uso de asociaciones de gramíneas y leguminosas se puede mejorar la palatabilidad del forraje (Elzakker 1995) y la calidad de la dieta de los animales, ya que el contenido nutricional de las leguminosas (proteína cruda 18,0 – 22,0% y digestibilidad 60,0%) es mayor que las gramíneas (proteína cruda 9,0 – 12,0% y digestibilidad 50,0%) (Ferreira et al 1997). Al combinarse las leguminosas con las gramíneas ya existentes la dieta de los animales mejorará, 14,8% PC y 58,6% DIVMS (González, 1992) lo que permite la disminución en el uso de concentrado. Aunado a esta mejora en la dieta de los animales se puede esperar un aumento en la producción de leche entre un 10,0 y 14,0% (González et al 1996; Cipagauta et al 1998; Romero y González 1998; Romero y González 2001).

Por lo tanto con una disminución en el uso de fertilizante químico para producir forraje y disminución del uso de concentrado para la alimentación de los animales, se puede producir leche a un menor costo y aumentar los ingresos por hectárea por año.

Alternativa 2: Uso de abono orgánico. Con el incremento en el uso de abono orgánico, se pretende mejorar los indicadores: Toneladas materia seca por semestre, costo por Kilogramo de materia seca por semestre, ingreso neto por animal por semestre, Kilogramo de leche por animal por día, Kilogramo de abono orgánico aplicado por hectárea por semestre, Kilogramo de fertilizante químico aplicado por hectárea por semestre e ingreso por hectárea por semestre.

Esta alternativa consiste en hacer uso de abono orgánico de tipo *compost*, el cual podría obtenerse de los desechos sólidos de la lechería (boñiga o estiércol), de los

corrales de engorde (ganado de carne) y otros residuos orgánicos que pueden ser contaminantes al medio ambiente. En el proceso del compostaje se lleva a cabo una transformación química y mecánica de la materia orgánica. Tiene la ventaja de reducir el volumen de las materias primas, disminuir la contaminación ambiental por la emisión de malos olores y matar gérmenes (hongos y bacterias) de enfermedades así como semillas de malezas. Con el compost se enriquece el suelo ya que se brindan nutrientes en cantidades apropiadas y se aporta humus estable que mejora la estructura, físicamente y proporciona en forma inmediata y sin riesgo sustancias nutritivas a las plantas (Elzakker 1995; Gutiérrez 1996).

El nitrógeno (N_2) contenido en el compost se encuentra en forma asimilable por las raíces (nitrato y amoniacal) con la ventaja de ser retenido en el horizonte A - B (capa cultivable del suelo), evitando ser arrastrado por las aguas de lluvia o de riego a capas más profundas fuera del alcance del sistema radicular. La modificación que induce en la población microbiana del suelo la hace más apta para fijar el nitrógeno atmosférico. El contenido en fósforo y potasio no suele ser elevado pero, la modificación de las características físico - químicas del terreno hace que se incremente el grado de disponibilidad de ellos para la planta. Incorpora al terreno micro y oligo elementos (cobre, magnesio, zinc, manganeso, hierro, boro, etc.) que son muy necesarios para la actividad y desarrollo vegetativo de las plantas.

Los valores típicos de análisis químico, pueden variar mucho en función del material empleado para hacer el compost. Por otra parte, al tratarse de un producto natural no tiene una composición química constante.

Tabla 1. Composición química del compost.

Materia orgánica	65 - 70 %	Relación C/N	10 - 11
Humedad	40 - 45 %	Ácidos húmicos	2.5 - 3.0 %
Nitrógeno, como N_2	1.5 - 2.0 %	pH	6.8 - 7.2
Fósforo como P_2O_5	2.0 - 2.5 %	Carbono orgánico	14 - 30 %
Potasio como K_2O	1.0 - 1.5 %	Calcio	2.0 - 8.0 %

Fuente: Compost 2005

Para aportar 250 Kg de N/ha/año, con la cual se podría esperar una producción de hasta 3000 kg de MS/ha (Lemus, 1977), y un aumento en la proteína cruda de un 7,5 a

un 12,1 % y la digestibilidad de 56,0 a 61,1 % (Gutiérrez 1996), esto en pasto Estrella, sería necesario aplicar entre 12,5 a 16,7 t de compost/ha/ año. Necesitándose, en promedio, 12 vacas de 450 Kg depositando sus excrementos diariamente. El costo por fertilizar una hectárea por año se estima entre ¢125.000,0 (\$263,0) y ¢167.000,0 (\$350,0) donde se incluye únicamente el costo de fertilizantes. Este costo es similar al costo con fertilizante químico; sin embargo el uso del compost presenta otras ventajas, como reducir la necesidad de pesticidas químicos al producir plantas saludables que son menos atacadas por plagas de insectos y enfermedades. Además reduce la erosión y mejora la estructura del suelo: los suelos arenosos retienen mejor el agua mientras que los arcillosos desaguan más rápido con el aporte del compost. El mejor drenaje permite al agua fluir a capas más profundas en vez de encharcar la superficie y correr por la línea de pendiente. También ayuda al crecimiento de raíces que retienen el suelo y se puede utilizar a altas dosis sin contraindicaciones, ya que no quema las plantas, ni siquiera las más delicadas (Compost 2005)

El incremento en la fertilidad así como la mejora en las características del suelo permite que haya una mayor producción y mejor calidad de biomasa (materia seca) disponible a los animales, lo que puede incrementar la producción de leche a base de forrajes y disminuir el costo por kilogramo de leche, generando un mayor ingreso por hectárea por semestre.

Alternativa 3: Uso de fertilizantes nitrogenados (Químicos). El incremento en el uso de fertilizantes químicos tiene como finalidad el mejorar los indicadores toneladas materia seca por semestre, ingreso neto por animal por semestre, Kilogramos de leche por animal por día e ingreso por hectárea por semestre. Por otro lado se afectarían en forma negativa el indicador Kilogramos de abono orgánico aplicado por ha por semestre y costo por Kilogramo de materia seca por semestre.

El programa de fertilización química que se propone consistiría en el uso de fórmula completa (10-30-10); aplicado en forma fraccionada durante el periodo de las lluvias, aportando un aproximado de 70 Kg de P/ha/año y 23 Kg de K/ha/año. El faltante de N₂ no suplido por esta fórmula se llenaría con aplicaciones fraccionadas de Urea, un día después de que salgan los animales del potrero, durante la época de lluvias, hasta completar 250 Kg de N/ha/año. Estas aplicaciones se harían

manualmente, debido a que el tamaño de los apartos no permite la utilización de maquinaria.

La fertilización nitrogenada produce un incremento considerable en la producción y calidad de la materia seca de los forrajes. Según Lemus (1977) con aplicaciones de 250 Kg de N/ha/año se puede obtener producciones de hasta 3000,kg de MS/ha/ año. Gutiérrez (1996), mediante aplicación de 250 kg N/ha/año en pasto Estrella, reporta cambios en contenido de proteína cruda desde un 7,5 a un 12,1%; así como aumentos en digestibilidad de 56,0 a 61,1%. Al mejorarse la disponibilidad y calidad del forraje ofrecido se puede esperar un aumento en la carga animal y la producción de leche. Por otro lado, al utilizarse estos niveles de fertilizantes químicos los costos por Kilogramo de la materia seca aumentan, lo que afecta el ingreso neto por animal e ingreso por hectárea por semestre (Pezo et al 1999). Asimismo, al incrementarse la utilización de los fertilizantes químicos existen problemas potenciales de acidificación debidos al uso intenso del fertilizantes nitrogenados (Vicente-Chandler *et al* 1994, citado por Pezo 1999), y la aplicación periódica de fórmula completa como fertilización de mantenimiento (Pezo *et al* 1992; citado por Pezo 1999) además se disminuiría el uso de fertilizantes orgánicos y leguminosas en los potreros.

2.2. Estrategias de modelación y comparación de alternativas

La comparación de las tres alternativas se hizo utilizando técnicas de simulación estocástica mediante el software @RISK para Excel (Palisade 2002). Esta herramienta permite el uso de distintas distribuciones de probabilidad para simular la variación observada en una serie de *variables de entrada*, evaluando el efecto de esta variación sobre diferentes *variables de salida*.

En este estudio se utilizó simulación estocástica para representar la variación potencial esperada en los indicadores de los distintos componentes, para las tres alternativas propuestas. Estos indicadores, junto con los factores de ponderación constituyeron las *variables de entrada* del modelo. La magnitud de cambio en los indicadores, o sea el efecto potencial de cada alternativa sobre los distintos indicadores, en cada componente y dimensión se especificó de manera estocástica de acuerdo con rangos de variación obtenidos de la literatura o estimados con base en las condiciones de producción locales. Para el muestreo de las distribuciones simuladas se utilizó el

método de Hiper cubo Latino (Palisade 2002) y se corrieron un total de 5000 iteraciones por simulación. En este estudio se utilizaron principalmente las distribuciones de probabilidad *normales* y *triangulares*, con el fin de simular variación en rendimientos obtenidos (ver anexo 2). En esta simulación se consideró además el posible efecto de correlaciones (positivas o negativas) entre algunos indicadores, tales como la correlación positiva entre producción de materia seca y carga animal.

La comparación de las alternativas se hizo con base en los resultados obtenidos en los índices de Sostenibilidad por Dimensión y el Índice de Sostenibilidad Integral (I.S.I) descritos en el capítulo 1. Estos parámetros constituyeron las *variables de salida* del modelo.

Finalmente, se realizó un Análisis de Sensibilidad con el fin de evaluar la consistencia de las conclusiones obtenidas ante cambios en los Factores de Ponderación de las distintas dimensiones. Los cambios en estos factores se realizaron para contemplar posibles escenarios en los cuales la importancia relativa adjudicada a distintas dimensiones (p.e dimensión económica vs. dimensión ecológica) fuera distinta a la situación base analizada. Los cambios en estos factores se asumieron con base en la variación observada en las encuestas de opinión descritas en el capítulo 1, las cuales fueron realizadas a 10 distintos evaluadores.

3. RESULTADOS

3.1. Simulación de la situación Actual

Inicialmente se evaluó la consistencia de las simulaciones obtenidas para las variables de entrada. Esto se realizó mediante la observación de las distribuciones obtenidas en las 5000 iteraciones que constituyeron cada simulación. La figura 2, muestra un histograma de los valores simulados para el indicador de carga animal de la alternativa actual; para el cual la distribución especificada fue la Normal ($X= 3.1$ y $D. E = 1.2$). En este histograma se puede observar como el modelo representa de manera adecuada la distribución indicada en este caso, ya que los valores se encuentran dentro de los rangos especificados. Del mismo modo, los histogramas obtenidos para los demás indicadores mostraron resultados igualmente satisfactorios.

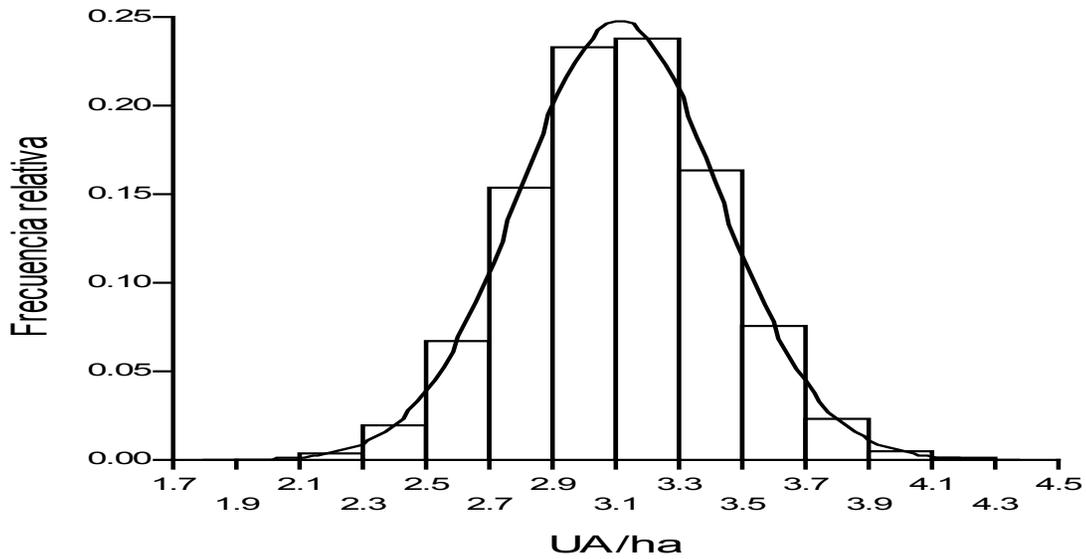


Figura 2. Distribución obtenida para la variable carga animal, situación actual

La figura 3, muestra la distribución obtenida para la variable de salida I.S.I. La distribución de las variables de salida es dependiente de las distribuciones especificadas en las variables de entrada. En este caso la distribución obtenida para I.S.I es muy cercana a una Normal, dado que la mayoría de las distribuciones de entrada son Normales. En este caso, la figura indica que el I.S.I podría variar entre aproximadamente 0.50, en el peor de los casos, y 0.58, en el mejor de los casos, dependiendo de la combinación específica de rendimientos que pudieran suceder en los distintos indicadores utilizados en este estudio.

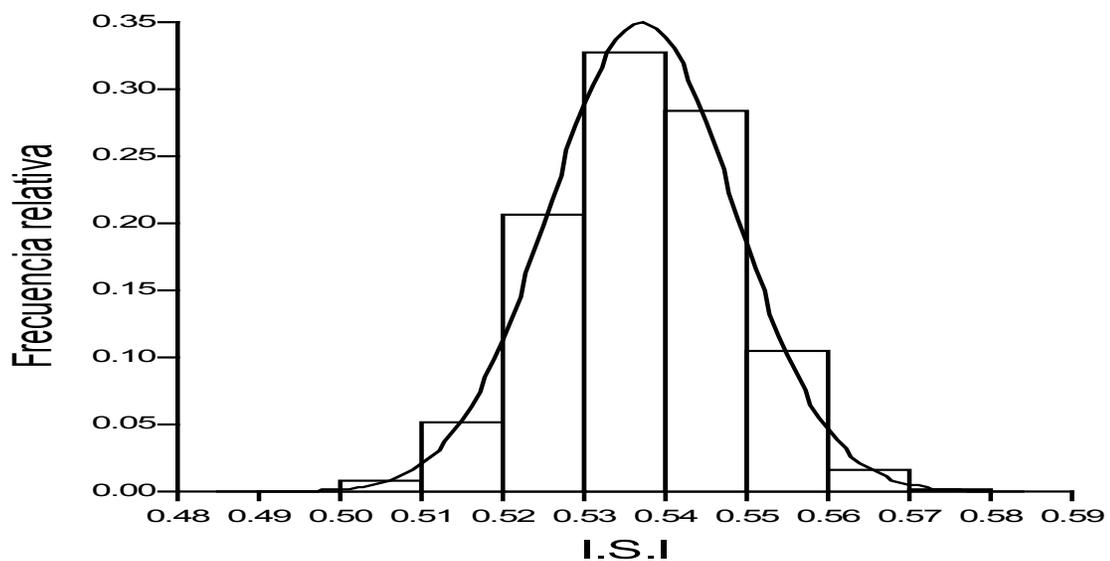


Figura 3. Distribución obtenida para la variable de salida I.S.I, situación actual

En la figura 4, se pueden ver las correlaciones de los diferentes indicadores (variables de entrada) con respecto al Índice de Sostenibilidad Integral (I.S.I). La magnitud de estos coeficientes representa el impacto de cada indicador sobre el I.S.I .

Por ejemplo, para la situación actual se puede observar como los indicadores unidades animales por hectárea (UA/ha) y toneladas de materia seca de forraje por semestre (Ton MS Forr/S), son los que presentan mayores correlaciones, y positivas, sobre el I.S.I. Esto significa que estas son las variables que mayor impacto positivo tienen sobre el I.S.I. Por el contrario, los indicadores Kilowatts por litros de leche por semestre (Kw/lt L/S) y costo de mano de obra por kilogramo de leche ordeñada (¢ M.O/Kg. L.O) presentan correlaciones negativas con el I.S.I, aunque de menor magnitud.

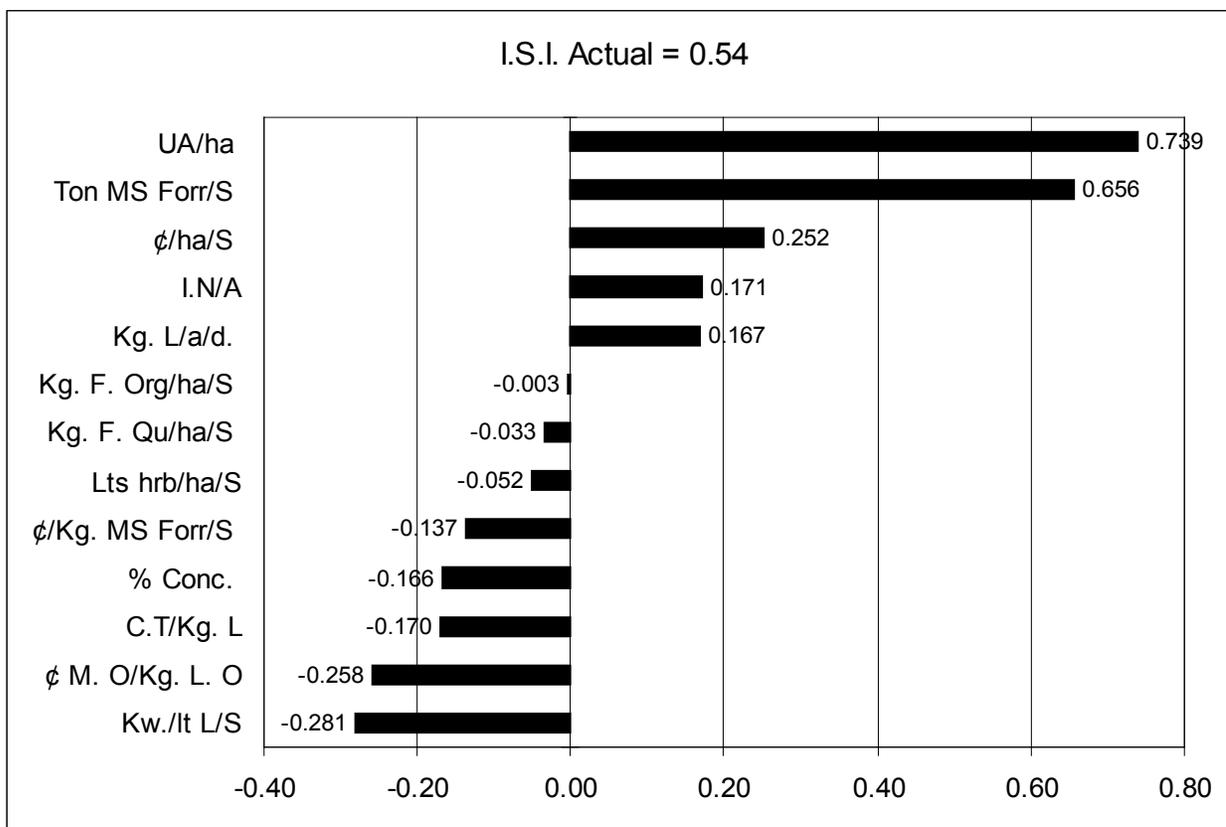


Figura 4. Coeficientes de correlación entre las variables de entrada y la variable de salida I.S.I, situación actual (solo se muestran las variables de entrada con efectos significativos sobre el I.S.I)

Donde: UA/ha = Unidades Animales por hectárea, Ton MS Forr/S = Toneladas Materia Seca de Forraje por semestre, ¢/ha/S = Ingreso por hectárea por semestre, I.N/A = Ingreso neto por animal, Kg. L/a/d. = Kilogramos de Leche por animal por día, Kg. F. Org/ha/S = Kilogramos de Fertilizante Orgánico hectárea por semestre, Kg. F. Qu/ha/S = Kilogramos de Fertilizante Químico hectárea por semestre, Lts hrb/ha/S = Litros herbicida por hectárea por semestre, ¢/Kg. MS Forr/S = Costo por Kilogramo Materia Seca forraje por semestre, C.T/Kg. L = Porcentaje de concentrado en la dieta, C.T/Kg. L = Costo totales por Kilogramo de leche, ¢ M. O/Kg. L. O = Costo Mano de Obra por Kilogramo. de leche ordeñada , Kw./lt L/S = Kilowatt por litro de leche por semestre.

Las otras variables intermedias en el gráfico también presentan correlaciones significativas con I.S.I, pero de magnitud mucho menor.

3.2. Comparación de las alternativas

En la figura 5, se comparan los I.S.I obtenidos para las cuatro situaciones simuladas (alternativa actual vs tres alternativas de mejora). Los resultados se muestran mediante diagramas de caja, para reflejar tanto situaciones promedio, como situaciones óptimas y subóptimas dentro de cada alternativa. En esta simulación, los factores de ponderación de los indicadores se fijaron a los valores promedio obtenidos en el procedimiento de calificación descrito en el capítulo 1. Según se observa en esta figura la alternativa (1) uso de leguminosas aparece como la más favorable, ya que el ISI es el mas cercano a lo optimo buscado (I.S.I= 0.67, Min = 0.62, Max = 0.72), seguida por la (2) uso de abono orgánico (I.S.I= 0.61, Min = 0.57, Max = 0.66), y la (3) uso de fertilizantes nitrogenados (químicos) (I.S.I= 0.60, Min = 0.55, Max = 0.64), y todas son superiores a la situación actual (I.S.I= 0.54, Min = 0.50, Max = 0.58).

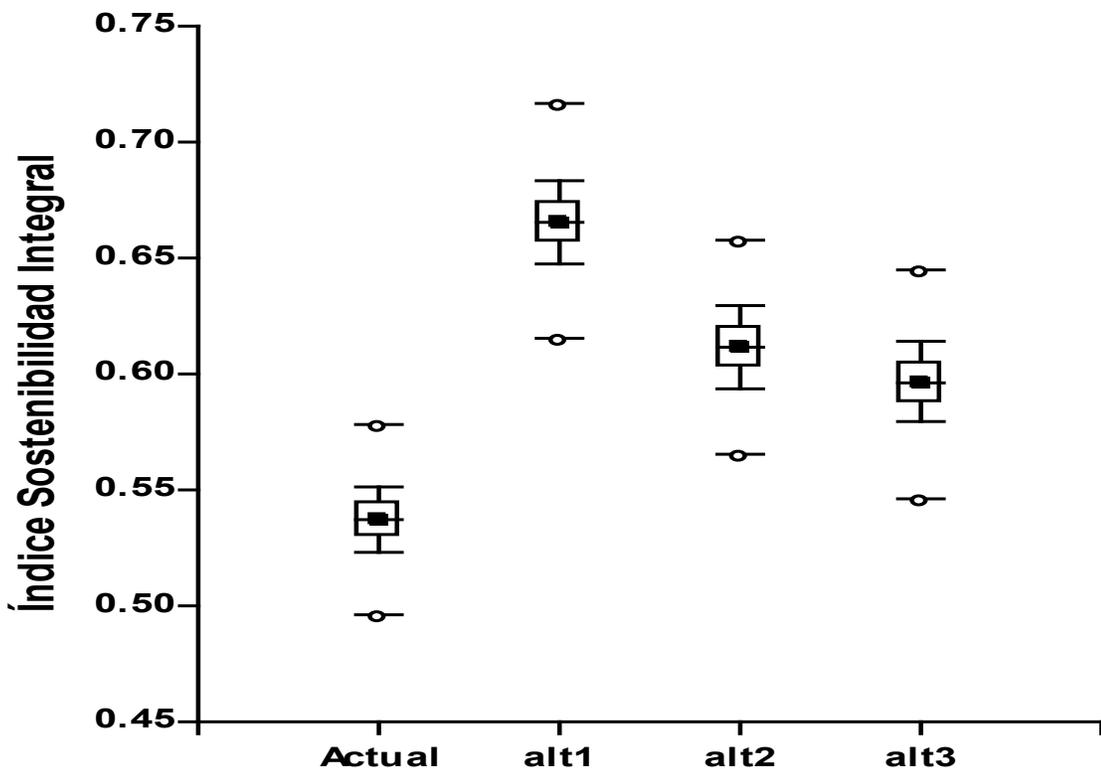


Figura 5. Comparación de I.S.I obtenidos para la situación actual y las tres alternativas propuestas. (En esta simulación los factores de ponderación se fijaron de acuerdo con los valores promedios obtenidos en el procedimiento de calificación, ver capítulo 1).

Actual: Manejo actual; Alt 1: Uso de leguminosas en pasturas; Alt 2: Uso de abono orgánico; Alt 3: Uso de fertilizantes nitrogenados.

Puede observarse que existe cierto traslape en los rangos de variación (mínimo-máximo) de las distintas alternativas, sobre todo entre las alternativas dos y tres. Un menor traslape entre rangos (p.e alternativa uno vs. situación actual) indicaría que existen diferencias más marcadas entre las alternativas comparadas, sin importar las variaciones en rendimiento que puedan suceder en los indicadores específicos considerados en este estudio. Un mayor traslape entre rangos (p.e alternativa uno vs. alternativa dos) indicaría que la ventaja relativa de una alternativa contra la otra no es en realidad clara, dependiendo de la combinación específica de rendimiento que sucedan. En este caso la figura indica que parece existir una ventaja bastante consistente de la alternativa 1 (uso de leguminosas) contra las demás; y también de las alternativas dos y tres sobre la situación actual.

Para determinar la razón de la ventaja observada para el Uso de Leguminosas, es necesario analizar las diferencias en las demás variables de salida, es decir, los indicadores de sostenibilidad por dimensión, según se muestra en la figura 6. Como se aprecia en esta figura, la superioridad de la alternativa uno está ligada principalmente a un mayor rendimiento en la dimensión económica, y en menor grado en las dimensiones ecológica y técnica; en comparación con las demás alternativas.

En lo económico, los indicadores de la alternativa 1, costos por kilogramo de forraje y por kilo de leche producida son mejores por ser bajos, mientras que los ingresos por hectárea por semestre y el ingreso neto por animal son mayores que las otras alternativas; lo que causa que el índice de sostenibilidad económico (I.S.En) sea mayor. La alternativa de Uso de Fertilizante Orgánico presentó el menor rendimiento económico entre las tres alternativas, debido a que los indicadores costos por kilogramo de forraje y por kilo de leche producida son altos, además los ingresos por ha por semestre e ingreso neto por animal son bajos, lo que hace que el I.S.En sea el menor.

En lo ecológico, en la alternativa uno, los indicadores que la están favoreciendo son alto porcentaje de leguminosas y el bajo uso de fertilizante químico. En la alternativa dos, aunque el uso de kilogramos de fertilizante orgánico es alto, el porcentaje de leguminosas es bajo. La alternativa tres es la más baja ya que presenta un alto uso de fertilizante químico y bajo uso de fertilizante orgánico y porcentaje de leguminosas. El índice de sostenibilidad ecológico (I.S.Ec), se ve afectado

negativamente cuando el indicador kilogramos de fertilizantes químicos es alto, caso contrario con los indicadores kilogramos de fertilizantes orgánicos y el porcentaje de leguminosas que lo afecta positivamente.

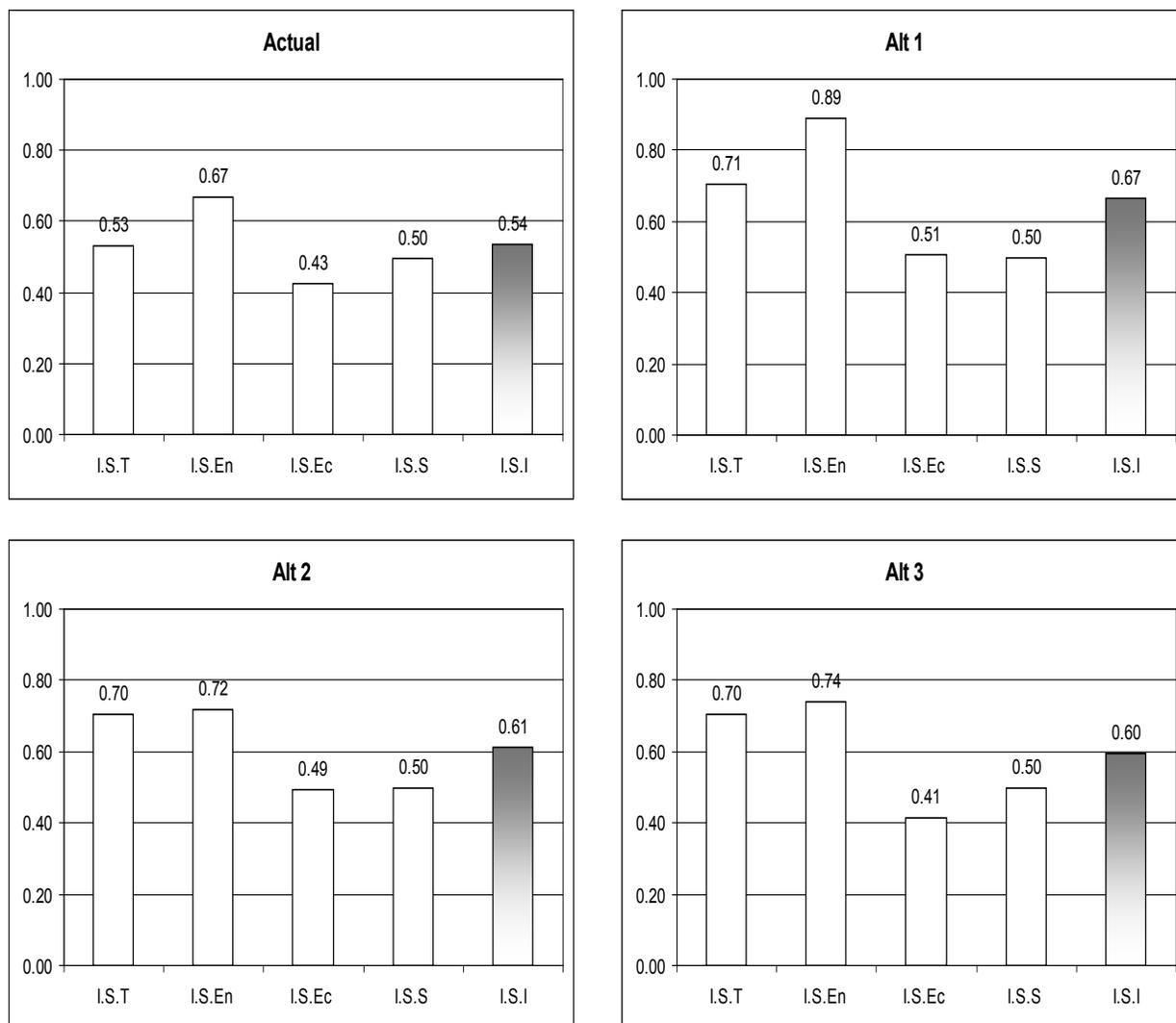


Figura 6. Comparación de índices de sostenibilidad (por dimensión e Integral) obtenidos para la situación actual y las tres alternativas propuestas (en esta simulación los factores de ponderación se fijaron de acuerdo con los valores promedio obtenidos en el procedimiento de calificación, ver capítulo 1)

Donde: I.S.T = Índice sostenibilidad técnica. I.S.En= Índice sostenibilidad económica. I.S.Ec= Índice sostenibilidad ecológica. I.S.S = Índice sostenibilidad social. I.S.I = Índice sostenibilidad Integral.

Actual: Manejo actual; Alt 1: Uso de leguminosas en pasturas; Alt 2: Uso de abono orgánico; Alt 3: Uso de fertilizantes nitrogenados

No se espera que la alternativa tres (uso de fertilizantes químicos) produzca ningún beneficio extra en la dimensión ecológica; por lo que el valor de este índice se mantiene igual. Además ninguna de las alternativas consideradas afectaría los indicadores sociales que se consideran en la matriz, razón por la cual este indicador no presenta variación entre las alternativas.

Es importante considerar algunas ventajas que tiene el hecho de mejorar, no solo la dimensión económica sino también la ecológica, ya que se pueden mejorar algunos parámetros biológicos ambientales que al final vienen a mejorar las demás dimensiones y por lo tanto el I.S.I. El mejorar parámetros ecológicos ambientales le dará una mayor sostenibilidad al sistema, aunque no resulte en beneficios económicos a corto plazo si se puede mejora la calidad de vida tanto del productor, de los habitantes de la región y del consumidor, ya que se obtienen productos más saludables, se contamina menos las fuentes de agua, etc, por el uso de tecnologías amigables con el ambiente. Esto a mediano y largo plazo puede mejorar lo económico por poder tener un producto diferenciado.

En esta figura es posible apreciar también, que indistintamente de la alternativa evaluada, el índice de sostenibilidad de la dimensión económica (IS.En) tiende a ser mayor que los demás índices evaluados, seguido por la dimensión técnica (IS.T). Esto se debe a que en el sistema analizado (Lechería Especializada, ECAG) esta dimensión es la que se encuentra más cerca de alcanzar los objetivos planteados, siendo que el principal objetivo de este sistema sigue siendo técnico-económico.

3.3. Efecto de cambios en los factores de ponderación

Se realizó un análisis con el fin de evaluar el efecto de los factores de ponderación sobre la posición relativa (ranqueo) de las alternativas según su I.S.I. Para este análisis, se fijaron los valores de los indicadores a sus valores promedio. El cambio en los valores de ponderación se realizó utilizando distribuciones de probabilidad *uniforme* con base en la variación observada en la calificación realizada por los expertos (ver anexos 1.a y 1.b).

Tabla 3. Rangos de variación de los factores de ponderación

Dimensión	Rango
Técnica	0,16-0,32
Económica	0,20-0,36
Ecológica	0,19-0,31
Social	0,01-0,45
Total	1.00

En la tabla 3 se pueden ver los rangos de variación de los factores de ponderación considerados en este análisis, para la dimensión técnica, económica, ecológica y social. Para las tres primeras dimensiones esta variación se calculó con base en la desviación estándar de los rangos obtenidos en la calificación realizada por los expertos (Tabla 3. capítulo 1). El rango de la dimensión social depende de las otras tres dimensiones y se obtuvo por diferencia, debido a la restricción de que la suma de los factores de ponderación debe ser 1.

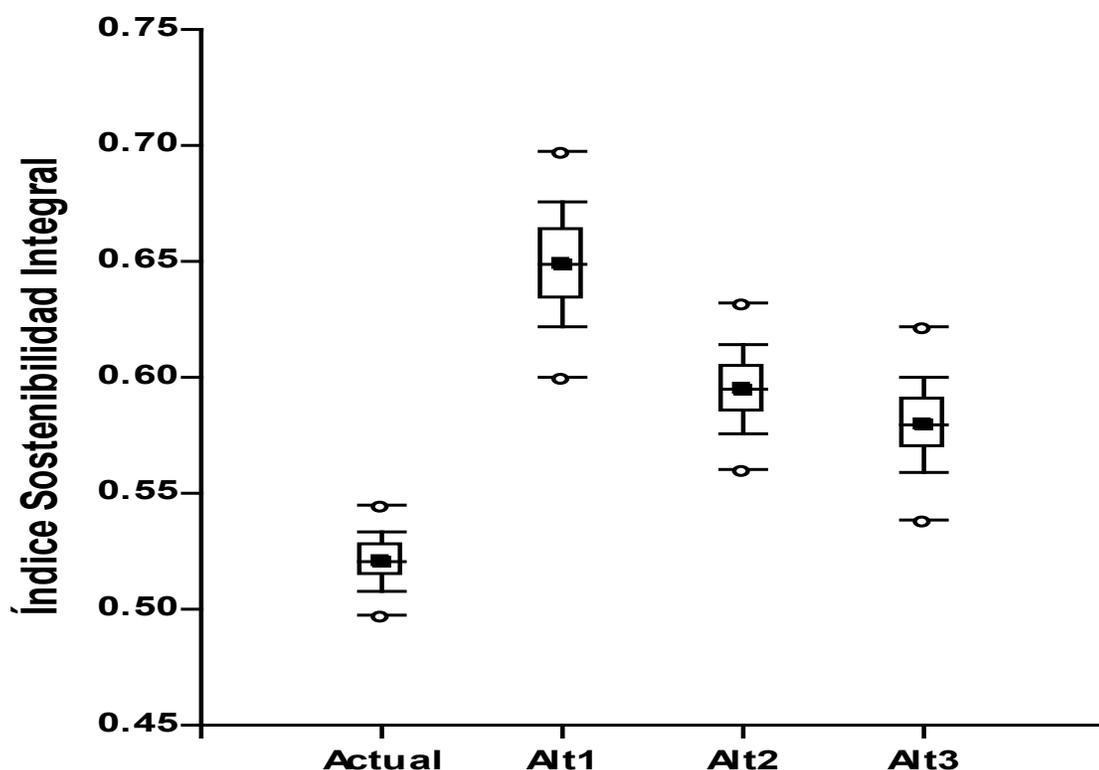


Figura 7. Comparación del Índice de Sostenibilidad Integral para la situación actual y las tres alternativas propuestas (En esta simulación los indicadores se asumieron fijos de acuerdo con los valores promedios esperados y los factores de ponderación se variaron según los rangos observados en la calificación realizada por los expertos).

Actual: Manejo actual; Alt 1: Uso de leguminosas en pasturas; Alt 2: Uso de abono orgánico; Alt 3: Uso de fertilizantes nitrogenados.

En la figura 7 se puede observar que al variar los factores de ponderación de las dimensiones manteniendo fijos los valores de los indicadores, se producen variaciones ligeras en la magnitud de los I.S.I., reduciéndose los rangos de variación. Sin embargo, el orden relativo de las alternativas se conserva inalterado ya que la alternativa uno

sigue siendo superior a la dos y tres; las cuales a su vez están sobre la situación actual. Esto significa que, por ejemplo, aunque la dimensión económica reciba una menor importancia en comparación con las demás dimensiones, siempre la alternativa uno tendería a ser mejor. Es importante considerar, sin embargo, que los rangos de variación considerados en los factores de ponderación fueron relativamente reducidos (p.e 0.20-0.30) en vista de que las opiniones de los expertos fueron en realidad similares. Cabe aclarar sin embargo que la mayoría de estos expertos se enfocan a las áreas técnico-económicas, lo que sin duda podría afectar estos resultados.

4. CONCLUSIONES

El modelo desarrollado permite evaluar el impacto potencial de las diferentes alternativas evaluadas, ya que permite considerar no solamente los rendimientos promedios esperados, sino también la posible variación. Esta herramienta permite además, destacar las ventajas y desventajas de cada alternativa en las distintas dimensiones que conforman una unidad de producción, y con la información suministrada determinar cuál de todas es la que ofrece mejores expectativas en las condiciones del sistema de producción.

Con la información generada por la simulación se logró establecer que la mejor alternativa es el Uso de Leguminosas, seguida por las alternativas de Uso de Fertilizante Orgánico y Uso de Fertilizante Nitrogenado, todas superiores a la situación actual.

Que aun realizando cambios en los factores de ponderación la mejor alternativa es el Uso de Leguminosas, seguida por las alternativas de Uso de Fertilizante Orgánico y Uso de Fertilizante Nitrogenado, todas superiores a la situación actual.

La superioridad de la alternativa de Uso de Leguminosas se debe a que presenta mejores índices de sostenibilidad de las dimensiones económica, ecológica y técnica, es decir, logra un desarrollo más equilibrado del sistema de producción. En consecuencia, esta sería la alternativa a seguir para mejorar el sistema de producción de leche de la ECAG.

La ECAG cuenta con todas las posibilidades (técnicas, económicas, ecológicas y humanas) para implementar esta alternativa (uso de leguminosas) en sus sistemas de producción de leche.

El aplicar esta metodología, es factible para cualquier sistema de producción y puede ser una herramienta de gran ayuda a la hora de desarrollar y tomar decisiones en cuanto a políticas de manejo.

BIBLIOGRAFIA

- Análisis de sensibilidad. Disponible en: http://pdf.rincondelvago.com/analisis-de-sensibilidad_1.html. Consultado el 01 de junio de 2005.
- Argel M., P. y Villarreal C., M. 1998. Nuevo maní forrajero perenne (*Arachis pintoi* Krapovickas y Gregory). Cultivar Porvenir (CIAT 18744): Leguminosa herbácea para alimentación animal, el mejoramiento y conservación del suelo y el embellecimiento del paisaje. Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica (MAG) Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Boletín Técnico. 32 p.
- Barreto, A.; Quiroga, D. 2002. Respuesta en rendimiento y calidad de una pradera de *Pennisetum clandestinum* degradada a tratamientos de mecanización y aplicación de compost en la Sabana de Bogota. Disponible en www.unal.edu.co/veterinaria/inv_proyectos__pastos_1.html . Consultado en 15 de mayo 2005.
- Cipagauta, M.; Velásquez, J.; y Pulido, J. I. 1998. Producción de leche en tres pasturas del piedemonte amazónico del Caquetá, Colombia. *Pasturas tropicales*. 20 (3). 2-9.
- Compost Fabricación, Propiedades, Tipos, Aplicaciones, Dosis. Disponible en: www.aborgase-edifesa.com/COMPOST.htm. Consultado el 22 de mayo 2005.
- Compost 2005. Disponible en: www.emison.com/5114.htm. Consultado el 22 de mayo 2005.
- Conceptos Generales. 2005. Disponible en: www.mailxmail.com/curso/empresa/matematicafinanciera/capitulo2.htm. Consultado el 15 de mayo 2005.
- Elzakker, Bo van, comp. 1995. Principios y prácticas de la agricultura orgánica en el trópico. 1er edición. Fundación Güilombe. San José, Costa Rica. 86p.
- Faulín J, Juan A A. sf. Simulación de Monte Carlo con Excel. Disponible en: www.lfp.uba.ar/moreno/TErrores2004/Simulacion_MC.pdf . Consultado 15 de Mayo 2005.
- Ferreira, L.; Fernández, G. 1997. Manual de forrajes tropicales. Brasil
- Flament, M. 1999. Glosario multicriterios. Disponible en www.unesco.org/edm/glosariom.htm. Consultado 15 Mayo de 2005.
- Garza, R. sf. Técnicas multicriteriales para la toma de decisiones empresariales. Disponible en www.gestiopolis.com/recursos/documentos/fulldocs/ger1/tecmulttomadec.htm. Consultado 15 Mayo de 2005.
- González, M. S. 1992. Selectividad y producción de leche en pasturas de Estrella Africana (*Cynodon nlemfuensis*) solo y asociado con las leguminosas *Arachis pintoi* CIAT 17434 y *Desmodium ovoidifolium* CIAT 350. Tesis de maestría. CATIE. Turrialba, Costa Rica.

- González, M. S.; Van Heurck, L. M.; Romero, F.; Pezo, D. A. ; y Argel, P. J. 1996. Producción de leche en pasturas de estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*) solo y asociado con *Arachis pintoii* y *Desmodium ovoidifolium*. *Pasturas tropicales*. 18 (1): 2-12.
- Gutiérrez, M. A. 1996. Pastos y forrajes en Guatemala, su manejo y utilización, base de la producción animal. Guatemala. Editorial EyG. 318 p.
- Lemus, A. A. 1977. Producción de carne bovina en praderas de pato estrella (*Cynodon nlemfuensis*, *Varderyst* var *nlemfuensis*) Bajo diferentes presiones de pastoreo y niveles de fertilización nitrogenada. Tesis de maestría. CATIE. Turrialba, Costa Rica.
- Looijen, JM. 1997. Environmental impact assessment: Lecture notes. International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences. 58 p.
- Pezo, D. Holmann, F. Arze-Borda, J.A. 1999. Evaluación bioeconómica de un sistema de producción de leche basado en el uso intensivo de gramíneas fertilizadas, en el trópico húmedo de Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. v. 23, no. 1. p. 105-117.
- Pezo, D. Holmann, F. Arze-Borda, J.A. 1999. Evaluación bioeconómica de un sistema de producción de leche basado en el uso intensivo de gramíneas fertilizadas, en el trópico húmedo de Costa Rica. Disponible en: http://iserver.ciat.cgiar.org/webciat/tropileche/articulos.pdf/pezo_et_al.pdf Consultado 12 setiembre 2005.
- Romero, F; Gonzalez, J. 1998. Produciendo más leche mediante pasturas asociadas con *Arachis Pintoii*. p. 1-2. En Hoja informativa Consorcio TROPILECHE. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia.
- Romero, F., González, J. 2001. Evaluación de *B. decumbens* asociada con *A. Pintoii* y en monocultivo sobre la producción de leche y sus componentes. Pg 3-7. En *Sistemas de alimentación con leguminosas para intensificar fincas lecheras: un proyecto ejecutado por el consorcio Tropileche*. Holmann, F y Lascano, C. (eds). Cali, Colombia. CIAT, SLP e ILRI.
- Romero, C., Rehman, T. 2003. *Multiple Criteria Analysis for Agricultural Decisions*. 2da edición. Ed Seuler. 186p.
- Sapag, N.; Sapag, R. 1990. *Preparación y evaluación de proyectos*. 2da edición. Mc Graw Hill. 390 p.
- Tomas, R. 1995. Requerimientos de *Rhizobium*, fijación de nitrógeno y reciclaje de nutrientes en *Arachis* Forrajero, in *Biología y Agronomía de especies forrajeras de Arachis*, editado por Peter C. Kerridge. CIAT. Cali. Colombia.
- Ugalde, G. 1992. *Administración de empresas agropecuarias*. 1er reimpresión de la 1ra ed. EUNED. San José, C.R. 286p.
- Valls J. F. M., y Simpson C.E. 1995. Taxonomía, distribución natural y atributos de *Arachis*. in *Biología y agronomía de especies forrajeras de Arachis*, editado por Peter C. Kerridge. CIAT. Cali. Colombia.

- Van Heurck, L. M. 1990. Evaluación del pasto Estrella (*Cynodon nlemfuensis*) solo y asociado con las leguminosas forrajeras *Arachis pintoi* CIAT 17434 y *Desmodium ovoidifolium* CIAT 350 en la producción de leche y sus componentes. Tesis de maestría. CATIE. Turrialba, Costa Rica.
- Venegas R. Siau G. 2005. Conceptos, Principios y Fundamentos para el Diseño de Sistemas Sustentables de Producción. Disponible en: www.clades.cl/revistas/7/rev7art3.htm. Consultado 15 de mayo 2005.
- Wehrhahn C. 2005. Compostaje como solución de manejo de residuos orgánicos. Disponible en: <http://cipres.cec.uchile.cl/~cwehrhah/index.htm>. Consultado el 22 de mayo 2005.
- Yoon, P.; Ching, H. 1995. Multiple Attribute Decision Making: An Introduction. Save University Paper Serie: Quantitative Applications in the Social Sciences; no 07-104. Thousand Oaks, CA. 75p.

CONCLUSIONES GENERALES

Es factible el desarrollo e implementación de un sistema de monitoreo utilizando indicadores que generen información, en forma de índices, para tener una visión completa y exacta de la sostenibilidad de un sistema de producción de leche, doble propósito o especializado, en diferentes épocas del año.

La información obtenida de estos indicadores puede ser utilizada como base para producir alternativas de mejora a los sistemas de producción.

Es posible evaluar distintas alternativas de producción tendientes a mejorar la sostenibilidad de un sistema de producción de leche, lechería especializada de la Escuela Centroamericana de Ganadería, mediante la combinación de la metodología de análisis de múltiples atributos (ADMA) por medio del método TOPSIS y los modelos estocásticos.

Las técnicas de simulación estocástica y Análisis de Decisiones de Múltiples Criterios (ADMC) son valiosas para el análisis ex-ante del impacto potencial de distintas alternativas de acción sobre los índices de sostenibilidad integral de ellas. Estas técnicas permiten realizar evaluaciones de tipo cualitativo de las distintas alternativas, por lo que no se requiere conocer con precisión las distintas relaciones insumo-insumo o insumo-producto. Así mismo, permiten evaluar el impacto agregado de mejoras en distintos componentes y dimensiones de un sistema de producción.

Anexos capítulo 1.

Anexo 1. Desarrollo de indicadores de sostenibilidad

Dimensión: Técnica

Componente: Suelo

Objetivo: Optimizar uso
Indicador: UA / ha
Fuente: Registros
Fórmula: $(N^{\circ} A \times Kg. PV) / U.A =$
N° A = Número de animales
Kg PV = Peso Vivo en Kilogramos
U.A = Animal de 450 Kg.

Componente: Forraje

Objetivo 1: Maximizar producción
Indicador: T MS / 6 meses.
Fuente: Análisis de Campo
Fórmula: Método doble muestreo

Objetivo 2: Optimizar uso de forraje
Indicador: Relación Forraje : Concentrado
Fuente: Registros
Fórmula: $Kg. MS [o] \div Kg. MS T.$
Kg. MS [o] = Kg. materia seca del concentrado
Kg. MS T. = Kg. MS total que puede consumir una UA.

Componente: Animal

Objetivo 1: Maximizar producción
Indicador: Kg. Leche / a / d.
Fuente: VAMPP
Formula: $(Kg L M. \div N^{\circ} V) \div D M.=$
Kg. L M.= Kg. leche mensual del hato
N° V = Total vacas en producción
D M = Días del mes

Objetivo 2: Minimizar incidencia de Mastitis
Indicador: % Incidencia Mastitis
Fuente: VAMPP
Formula: $V.E \div T V.=$
V.E = Vacas enfermas
T. V = Total vacas en ordeño

Objetivo 3: Maximizar peso
Indicador: Ganancia de peso diaria (GPD) Kg.
Fuente: Registros
Formula: $(P.AC - P.AN) / P. D. =$
P.AC. = Peso Actual (Kg.)
P.AN. = Peso Anterior (Kg.)
P. D. = Días transcurridos entre cada pesa

Objetivo 4: Maximizar eficiencia Reproductiva
Indicador: Intervalo Entre Partos (IEP) días
Fuente: VAMPP
Formula: $F. P. AC - F. P. AN =$
F. P. AC = Fecha parto actual.
F. P. AN = Fecha parto anterior.

Objetivo 5: Maximizar eficiencia Reproductiva
Indicador: Servicios por Concepción (S/C)
Fuente: VAMPP
Formula: $S. T. \div T. A. G =$
S. T.= Servicios (monta natural o inseminación artificial) totales
T. A. G = Total animales gestantes

Objetivo 6: Maximizar eficiencia Reproductiva
Indicador: Edad Primer Parto (EPP) meses
Fuente: VAMPP
Formula: $F. AC - F. NAC =$
F. AC = Fecha actual
F. NAC = Fecha nacimiento

Componente: **Humano**

Objetivo: Maximizar producción de la Mano de obra

Indicador: N° animales / Unidad Mano de Obra

Fuente: Registros

Formula: $N^{\circ} A. \div UMO =$

N° A. = Número de animales en el hato

UMO = Unidades de mano obra

Dimensión: Económica

Componente: **Suelo**

Objetivo: Maximizar ingreso netos / área

Indicador: ϕ / ha / Semestre

Fuente: Registros Contables

Formula: $I.N \div Ha =$

I.N = Ingreso neto semestral

Ha = Cantidad de has totales

Componente: **Forraje**

Objetivo: Minimizar costos Insumos

Indicador: ϕ / Kg. MS / semestre

Fuente: Registros Contables y producción

Formula: $C.T.I \div Kg. MS. =$

C.T.I = Costos totales de insumos para producir forraje

Kg MS Total = Kg materia seca total

Componente: **Animal**

Objetivo 1: Maximizar Rentabilidad

Indicador: Ingreso neto (ϕ) / animal

Fuente: Registros Contables y producción

Formula: $I.N \div N^{\circ} A =$

I.N = Ingreso neto (ϕ)

N° A = Número total de animales

Objetivo 2: Optimizar producción

Indicador: Costo totales (ϕ) / Kg. leche

Fuente: Registros Contables y producción

Formula: $C.T \div Kg. L =$

C. T = Costos totales (ϕ) por semestre

Kg. L = Kg. de leche producidos por semestre

Componente: **Humano**

Objetivo: Minimizar costo mano obra

Indicador: Costo (ϕ) M. O / Kg. De leche

Fuente: Registros contables y producción

Formula: $C.MO \div Kg. L =$

C.MO = Costo (ϕ) Mano de Obra por semestre

Kg. L = Kg. de leche producidos por semestre

Componente: **Infraestructura y equipo**

Objetivo: Minimizar consumo energía
Indicador: Kw. / Kg. leche / semestre
Fuente: Medición en instalaciones
Formula: $Kw. \div Kg L =$
Kw = Kilo watts consumidos por semestre
Kg L = Kg. de leche producidos por semestre

Dimensión: **Ecológica**

Componente: **Suelo**

Objetivo 1: Cobertura no pasto
Indicador: % de área en bosque / coberturas
Fuente: SIG
Formula:
I.N =
Ha =

Objetivo 2: Disminuir herbicidas
Indicador: Lts / ha / semestre
Fuente: Registros producción
Formula: $T Its \div Ha =$
 $T Its =$ Total litros aplicados
 $Ha =$ Total has donde se aplico

Objetivo 3: Disminuir uso de fertilizantes químicos
Indicador: Kg. / ha /semestre
Fuente: Registros producción
Formula: $T Kg. \div Ha =$
 $T Kg. =$ Total Kg. Aplicados
 $Ha =$ Total has donde se aplico

Objetivo 4: Aumentar uso de fertilizantes orgánicos
Indicador: Kg. / ha / año
Fuente: Registros producción
Formula: $T. Kg. \div Ha =$
 $T. Kg. =$ Total Kg. aplicados
 $Ha =$ Total has donde se aplico

Objetivo 5: Adecuado manejo de desechos
Indicador: Cuenta o no con manejo de desechos
Fuente:
Formula: 0 = NO, 1 = SI
NO = No cuenta con manejo de desechos
SI = Si cuenta con manejo de desechos

Componente: **Forraje**

Objetivo 1: Optimizar # árboles forrajeros
Indicador: # árboles por ha de potrero
Fuente: Muestreo campo
Formula: Cuenta individual
Número de árboles / ha

Objetivo 2: Maximizar uso de leguminosas
Indicador: Porcentaje de leguminosas por hectárea
Fuente: Muestreo campo
Formula: Composición Botánica
Método Doble muestreo

Componente: **Animal**

Objetivo: Minimizar uso de medicamentos
Indicador: Cantidad de medicamentos
Fuente: Registros

Componente: Humano

Objetivo: Calidad de leche
Indicador: Conteo microbiológico
Fuente: Análisis de leche

Componente: Infraestructura y equipo

Objetivo 1: Optimizar uso de cercas vivas
Indicador: Porcentaje cercas vivas
Fuente: Muestreo en campo
Formula: $M.C.V. \div TM.C$
M.C.V.= Metros lineales de cercas vivas
TM.C = Total de metros de cercas en los sistemas

Objetivo 2: Optimizar uso de agua para lavado
Indicador: $m^3 / m^2 / Semestre$
Fuente: Muestreo en campo
Formula: $M^3 A \div M^2 Ins.$
 $M^3 A =$ Metros cúbicos de agua gastados / semestre
 $M^2 Inst =$ Metros cuadrados de instalaciones

Dimensión: Ecológica

Componente: Humano

Objetivo 1: Maximizar Capacitación
Indicador: hrs. Capacitación / semestre
Fuente: Registro recursos humanos

Objetivo 3: Maximizar seguridad laboral
Indicador: Accidentes por semestre
Fuente: Registro recursos humanos

Objetivo 2: Seguro social
Indicador: Se cuenta con seguros (CCSS o INS)
Fuente: Registro recursos humanos

Componente: Infraestructura y equipo

Objetivo: Reducir riesgo laboral
Indicador: Cuanta protección usa al realizar sus labores (escala 1-5).
Fuente: Registro recursos humanos

Anexo 1 (b). Matriz de indicadores hato especializado.

Componente	Objetivo	Indicador (escala)	Entradas						Salidas											
			Valor subóptimo	Valor óptimo	Ponderación			Índices x alternativa				Rendimiento Relativo								
					VPI	VPC	VPD	Actual	alt1	alt2	alt3	Actual	alt1	alt2	alt3					
Dim Ecológica						0.26														
SUELO	Cobertura no pasto	% de área en bosque / coberturas	0.00	100.00	0.32	0.25														
	Disminuir herbicidas	Lts hrb/ ha /semestre.	6.00	0.00	0.23															
	Disminuir uso de fertilizantes químicos	Kg. F. Qu/ ha / semestre	400.00	0.00	0.24															
	Aumentar uso de fertilizantes orgánicos	Kg.F.Org / ha / semestre	0.00	18,500.00	0.21															
FORRAJE	Maximizar # árboles forrajeros	# árboles / ha de potrero	0.00	20.00	0.50	0.24														
	Maximizar uso de leguminosas	Porcentaje de leguminosas en potreros	0.00	40.00	0.50															
ANIMAL	Minimizar uso de medicamentos	cc antibióticos / semestre	550.00	0.00	1.00	0.18														
HUMANO	Calidad de leche	Conteo microbiológico	400,000.00	100,000.00	1.00	0.19														
INS. Y EQUIPO	Porcentaje cercas en cercas vivas	Porcentaje cercas vivas	0.00	100.00	0.47	0.14														
	Optimizar uso de agua para lavado	m ³ agua /m ² / semestre	1.50	0.19	0.53															
Dim Social						0.20														
HUMANO	Maximizar Capacitación	hr. Capacitación / semestre	0.00	40.00	0.43	0.62														
	Seguro social	CCSS o INS (escala 0 - 1)*	0.00	1.00	0.33															
	Maximizar seguridad laboral	Accidentes por semestre (escala 0 - 1)**	1.00	0.00	0.24															
INS. Y EQUIPO	Reducir riesgo laboral	Cuanta protección usa (escala 1-5)***	1.00	5.00	1.00	0.38														
										I.S.Ec										
										I.S.S										
										I.S.I										
										Ranqueo	1.00	4.00	3.00	2.00						

Anexo 2. Distribuciones de probabilidad y correlaciones entre indicadores para el modelo de simulación estocástica.

Indicadores	Rango
UA/ha / Actual	RiskNormal(actual!\$E\$257, V6, RiskCorrmat(ForrajeyCarga,2))
UA/ha / alt1	RiskNormal(alt1!\$E\$257, W6, RiskCorrmat(ForrajeyCarga,3))
UA/ha / alt2	RiskNormal(alt2!\$E\$257, X6, RiskCorrmat(ForrajeyCarga,4))
UA/ha / alt3	RiskNormal(alt3!\$E\$257, Y6, RiskCorrmat(ForrajeyCarga,5))
Ton MS Forr/ semestre / Actual	RiskNormal(actual!\$F\$251, V7, RiskCorrmat(ForrajeyCarga,1))
Ton MS Forr/ semestre / alt1	RiskNormal(alt1!\$F\$251, W7, RiskCorrmat(ForrajeyCarga,6))
Ton MS Forr/ semestre / alt2	RiskNormal(alt2!\$F\$251, X7, RiskCorrmat(ForrajeyCarga,7))
Ton MS Forr/ semestre / alt3	RiskNormal(alt3!\$F\$251, Y7, RiskCorrmat(ForrajeyCarga,8))
% Concentrado en la dieta / Actual	RiskNormal(actual!F352,V8)
% Concentrado en la dieta / alt1	RiskNormal(alt1!\$F\$271,W8)
% Concentrado en la dieta / alt2	RiskNormal(alt2!\$F\$271,X8)
% Concentrado en la dieta / alt3	RiskNormal(alt3!\$F\$271,Y8)
Kg. Leche / a / d. / Actual	RiskNormal(actual!\$C\$369, 1, RiskCorrmat(ProdlecheyIngreso,1))
Kg. Leche / a / d. / alt1	RiskTriang(5, alt1!\$C\$288, 15, RiskShift(0.1), RiskCorrmat(ProdlecheyIngreso,3))
Kg. Leche / a / d. / alt2	RiskTriang(5, alt2!\$C\$288, 15, RiskShift(0.1), RiskCorrmat(ProdlecheyIngreso,4))
Kg. Leche / a / d. / alt3	RiskTriang(5, alt3!\$C\$288, 15, RiskShift(0.1), RiskCorrmat(ProdlecheyIngreso,5))
¢ / ha / semestre / Actual	RiskNormal(actual!N163,V18)
¢ / ha / semestre / alt1	RiskNormal(alt1!N163,W18)
¢ / ha / semestre / alt2	RiskNormal(alt2!N163,X18)
¢ / ha / semestre / alt3	RiskNormal(alt3!N163,Y18)
¢ / Kg. MS Forr / semestre / Actual	RiskNormal(actual!\$E\$252,V19)
¢ / Kg. MS Forr / semestre / alt1	RiskNormal(alt1!\$E\$252, W19)
¢ / Kg. MS Forr / semestre / alt2	RiskNormal(alt2!\$E\$252, X19)
¢ / Kg. MS Forr / semestre / alt3	RiskNormal(alt3!\$E\$252, Y19)
Ingreso neto (¢) / animal / Actual	RiskNormal(actual!B183, V20, RiskCorrmat(ProdlecheyIngreso,2))
Ingreso neto (¢) / animal / alt1	RiskNormal(alt1!\$B\$183, W20, RiskCorrmat(ProdlecheyIngreso,6))
Ingreso neto (¢) / animal / alt2	RiskNormal(alt2!\$B\$183, X20, RiskCorrmat(ProdlecheyIngreso,7))
Ingreso neto (¢) / animal / alt3	RiskNormal(alt3!\$B\$183, Y20, RiskCorrmat(ProdlecheyIngreso,8))
Costo totales (¢) / Kg. leche / Actual	RiskNormal(actual!E37,V21)
Costo totales (¢) / Kg. leche / alt1	RiskNormal(alt1!\$E\$37,W21)
Costo totales (¢) / Kg. leche / alt2	RiskNormal(alt2!\$E\$37, X21)
Costo totales (¢) / Kg. leche / alt3	RiskNormal(alt3!\$E\$37,Y21)
Costo (¢) M. O / Kg. de leche ordeñada / Actual	RiskNormal(actual!P163, V22)
Costo (¢) M. O / Kg. de leche ordeñada / alt1	RiskNormal(alt1!\$P\$163, W22)
Costo (¢) M. O / Kg. de leche ordeñada / alt2	RiskNormal(alt2!\$P\$163, X22)
Costo (¢) M. O / Kg. de leche ordeñada / alt3	RiskNormal(alt3!\$P\$163, Y22)
Kw. / lt leche / semestre / Actual	RiskNormal(actual!G216,V23)
Kw. / lt leche / semestre / alt1	RiskNormal(alt1!\$G\$216,W23)
Kw. / lt leche / semestre / alt2	RiskNormal(alt2!\$G\$216, X23)
Kw. / lt leche / semestre / alt3	RiskNormal(alt3!\$G\$216,Y23)
Lts hrb/ ha /semestre. / Actual	RiskNormal(actual!\$B\$247,V27)
Lts hrb/ ha /semestre. / alt1	RiskNormal(alt1!\$B\$247,W27)
Lts hrb/ ha /semestre. / alt2	RiskNormal(alt2!\$B\$247,X27)
Lts hrb/ ha /semestre. / alt3	RiskNormal(alt3!\$B\$247,Y27)
Kg. F. Qu/ ha / semestre / Actual	RiskNormal(actual!\$G\$244, V28, RiskName("Kg. F. Qu/ ha / semestre / Actual"))
Kg. F. Qu/ ha / semestre / alt1	RiskNormal(alt1!\$G\$244, W28, RiskName("Kg. F. Qu/ ha / semestre / alt1"))
Kg. F. Qu/ ha / semestre / alt2	RiskNormal(alt2!\$G\$244, X28, RiskName("Kg. F. Qu/ ha / semestre / alt2"))
Kg. F. Qu/ ha / semestre / alt3	RiskNormal(alt3!\$G\$244, Y28, RiskName("Kg. F. Qu/ ha / semestre / alt3"))
Kg. F. Org/ ha / semestre / Actual	RiskNormal(actual!\$B\$246, V29, RiskName("Kg. F. Org/ ha / semestre / Actual"))
Kg. F. Org/ ha / semestre / alt1	RiskNormal(alt1!\$B\$246, W29, RiskName("Kg. F. Org/ ha / semestre / alt1"))
Kg. F. Org/ ha / semestre / alt2	RiskNormal(alt2!\$B\$246, X29, RiskName("Kg. F. Org/ ha / semestre / alt2"))
Kg. F. Org/ ha / semestre / alt3	RiskNormal(alt3!\$B\$246, Y29, RiskName("Kg. F. Org/ ha / semestre / alt3"))

Anexo 3 (A). Resumen de Simulación/ Variables de Entrada

Input		Statistics						
Name	Cell	Minimum	Mean	Maximum	x1	p1	x2	p2
UA/ha / Act.	L8	1.9375567	3.111102420	4.23298645	2.59872603	5%	3.62301660	95%
UA/ha / alt1	M8	2.1572823	3.70366479	5.08258247	3.07823491	5%	4.32831717	95%
UA/ha / alt2	N8	2.3425715	3.70369596	5.06352425	3.07831955	5%	4.32831192	95%
UA/ha / alt3	O8	2.3577711	3.70368561	5.04961205	3.07783055	5%	4.3285375	95%
Ton MS Forrr/ semestre / Act.	L9	7.3726134	12.5998871	17.2383213	10.5253897	5%	14.6723204	95%
Ton MS Forrr/ semestre / alt1	M9	9.4448118	15.0000087	20.7253571	12.5302982	5%	17.4647732	95%
Ton MS Forrr/ semestre / alt2	N9	8.7354240	14.99987551	20.4839058	12.5305090	5%	17.4659729	95%
Ton MS Forrr/ semestre / alt3	O9	9.6417102	15.0000405	20.3112468	12.53093719	5%	17.4665375	95%
% Concentrado en la dieta / Act.	L10	25.711528	40.00011250	54.5479317	33.4172249	5%	46.5728493	95%
Kg. Leche / a / d. / Act.	L11	6.5123076	10.15077931	14.4364405	8.50510979	5%	11.7944212	95%
Kg. Leche / a / d. / alt1	M11	5.1860613	10.44064783	15.0310154	6.83251619	5%	13.46593768	95%
Kg. Leche / a / d. / alt2	N11	5.1754403	9.89168215	15.0221347	6.57808590	5%	13.4208727	95%
Kg. Leche / a / d. / alt3	O11	5.1476264	9.89167517	15.0436535	6.57744551	5%	13.4197025	95%
¢ / ha / semestre / Act.	L20	104316.46	172543.843	236007.672	144146.781	5%	200920.078	95%
¢ / ha / semestre / alt1	M20	190751.43	300779.389	416270.469	251262.203	5%	350218.875	95%
¢ / ha / semestre / alt2	N20	168635.62	265316.180	364550.313	221640.297	5%	308954.375	95%
¢ / ha / semestre / alt3	O20	168873.78	271265.566	387470.781	226597.922	5%	315838.313	95%
¢ / Kg. MS Forr / semestre / Act.	L21	4.7355747	7.44981179	10.1241893	6.22315931	5%	8.6751747	95%
¢ / Kg. MS Forr / semestre / alt1	M21	1.3720418	2.19466432	3.00745511	1.83343303	5%	2.5554309	95%
¢ / Kg. MS Forr / semestre / alt2	N21	8.1613903	12.88816338	18.4110565	10.7679958	5%	15.0073977	95%
¢ / Kg. MS Forr / semestre / alt3	O21	7.0115041	11.09471467	15.3312387	9.26782036	5%	12.9183817	95%
Ingreso neto (¢) / animal / Act.	L22	24299.210	38734.4316	52930.0586	32358.7051	5%	45101.4688	95%
Ingreso neto (¢) / animal / alt1	M22	41476.726	67521.3200	93416.1953	55709.5039	5%	79320.2656	95%
Ingreso neto (¢) / animal / alt2	N22	34486.265	59560.8335	85599.0156	47962.0039	5%	71143.8750	95%
Ingreso neto (¢) / animal / alt3	O22	35493.531	60895.6086	86194.0313	49261.1250	5%	72519.2813	95%
Costo totales (¢) / Kg. Leche / Act.	L23	33.591285	56.2541470	77.4354248	46.9935188	5%	65.5002060	95%
Costo totales (¢) / Kg. Leche / alt1	M23	11.427022	16.7264685	22.1543522	14.2798290	5%	19.1688900	95%
Costo totales (¢) / Kg. Leche / alt2	N23	24.895834	31.0699001	37.1926537	28.2795677	5%	33.8581123	95%
Costo totales (¢) / Kg. Leche / alt3	O23	22.965341	29.1570972	35.7643127	26.4242687	5%	31.8866177	95%
Costo (¢) M. O / Kg. de leche ordeñada / Act.	L24	2.6387758	4.29781544	6.05284786	3.59050894	5%	5.0041742	95%
Costo (¢) M. O / Kg. de leche ordeñada / alt1	M24	2.0714409	3.95824222	5.81978178	3.11774063	5%	4.7980986	95%
Costo (¢) M. O / Kg. de leche ordeñada / alt2	N24	2.843230	4.65338203	6.52541304	3.81329942	5%	5.4926682	95%
Costo (¢) M. O / Kg. de leche ordeñada / alt3	O24	2.772113	4.65334560	6.47131681	3.81286240	5%	5.4924006	95%
Kw. / lt leche / semestre / Act.	L25	0.853205	1.41941490	1.94936550	1.20172882	5%	1.6369785	95%
Kw. / lt leche / semestre / alt1	M25	0.822969	1.30728072	1.78043103	1.08952260	5%	1.5248483	95%
Kw. / lt leche / semestre / alt2	N25	1.062129	1.53686050	2.07063293	1.31918728	5%	1.7544432	95%
Kw. / lt leche / semestre / alt3	O25	1.064550	1.53685465	2.00593185	1.31912279	5%	1.7543812	95%
Lts hrb/ ha /semestre. / Act.	L29	1.796837	2.99997142	4.10508299	2.50608087	5%	3.4931583	95%
Lts hrb/ ha /semestre. / alt1	M29	1.804520	2.99996510	4.06694174	2.50637817	5%	3.4930356	95%
Lts hrb/ ha /semestre. / alt2	N29	1.929997	3.00000083	4.08635616	2.50621057	5%	3.4931993	95%
Lts hrb/ ha /semestre. / alt3	O29	1.921678	3.00000202	4.08244324	2.50652528	5%	3.4932694	95%
Kg. F. Qu/ ha / semestre / Act.	L30	95.35897	148.11971002	200.714141	123.7514496	5%	172.4780731	95%
Kg. F. Qu/ ha / semestre / alt1	M30	0.000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5%	0.0000000	95%
Kg. F. Qu/ ha / semestre / alt2	N30	0.000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5%	0.0000000	95%
Kg. F. Qu/ ha / semestre / alt3	O30	144.4059	232.759852	321.034515	194.457230	5%	271.024384	95%
Kg. F. Org/ ha / semestre / Act.	L31	92.67928	159.998627	218.070480	133.676559	5%	186.294678	95%
Kg. F. Org/ ha / semestre / alt1	M31	0.000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5%	0.0000000	95%
Kg. F. Org/ ha / semestre / alt2	N31	9680.873	16699.8623	23075.9082	13952.7773	5%	19444.16016	95%
Kg. F. Org/ ha / semestre / alt3	O31	0.000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	5%	0.0000000	95%

Anexo 3 (B). Resumen de Simulación/ Variables de Salida

Summary Information	
Workbook Name	matrizvpfijos.xls
Number of Simulations	1
Number of Iterations	5000
Number of Inputs	49
Number of Outputs	24
Sampling Type	Latin Hypercube
Simulation start Time	22/07/2005 09:49
Simulation Stop Time	22/07/2005 09:49
Simulation Duration	00:00:15
Random Seed	1793819438

Output		Statistics						
Name	Cell	Minimum	Mean	Maximum	x1	p1	x2	p2
I.S.I / Actual	Q45	0.50	0.54	0.58	0.52	5%	0.56	95%
I.S.I / alt1	R45	0.62	0.67	0.72	0.64	5%	0.69	95%
I.S.I / alt2	S45	0.57	0.61	0.66	0.59	5%	0.63	95%
I.S.I / alt3	T45	0.55	0.60	0.64	0.57	5%	0.62	95%
I.S.Ec / Actual	Q38	0.41	0.43	0.44	0.42	5%	0.43	95%
I.S.Ec / alt1	R38	0.50	0.51	0.52	0.50	5%	0.51	95%
I.S.Ec / alt2	S38	0.47	0.49	0.51	0.49	5%	0.50	95%
I.S.Ec / alt3	T38	0.39	0.41	0.43	0.40	5%	0.42	95%
I.S.En / Actual	Q26	0.59	0.67	0.75	0.63	5%	0.71	95%
I.S.En / alt1	R26	0.79	0.89	0.98	0.84	5%	0.93	95%
I.S.En / alt2	S26	0.62	0.72	0.82	0.67	5%	0.76	95%
I.S.En / alt3	T26	0.64	0.74	0.84	0.69	5%	0.78	95%
I.S.S / Actual	Q44	0.50	0.50	0.50	0.50	5%	0.50	95%
I.S.S / alt1	R44	0.50	0.50	0.50	0.50	5%	0.50	95%
I.S.S / alt2	S44	0.50	0.50	0.50	0.50	5%	0.50	95%
I.S.S / alt3	T44	0.50	0.50	0.50	0.50	5%	0.50	95%
I.S.T / Actual	Q18	0.40	0.53	0.67	0.47	5%	0.59	95%
I.S.T / alt1	R18	0.56	0.71	0.87	0.63	5%	0.78	95%
I.S.T / alt2	S18	0.56	0.70	0.86	0.63	5%	0.78	95%
I.S.T / alt3	T18	0.54	0.70	0.86	0.63	5%	0.78	95%
Ranqueo / Actual	Q46	1.00	1.00	2.00	1.00	5%	1.00	95%
Ranqueo / alt1	R46	3.00	4.00	4.00	4.00	5%	4.00	95%
Ranqueo / alt2	S46	2.00	2.79	4.00	2.00	5%	3.00	95%
Ranqueo / alt3	T46	1.00	2.21	3.00	2.00	5%	3.00	95%