



Métodos bio-matemáticos para el análisis de sistemas agropecuarios en el Ecuador

Carlos U. León-Velarde
Víctor H. Barrera



Septiembre, 2003
Quito - Ecuador




El Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) es una institución ecuatoriana encargada de generar, validar y transferir tecnologías apropiadas, orientadas al incremento de la producción y la productividad de los sistemas de pequeños, medianos y grandes productores. Propicia el uso adecuado de los recursos de suelos, hídricos y agroforestales, así como la preservación de los recursos naturales y el medio ambiente, a fin de contribuir al desarrollo sostenible del sector agropecuario.



El Centro Internacional de la Papa (CIP) es una institución científica, sin fines de lucro. Dedicada a incrementar la producción sostenible de la papa, el camote y otras raíces y tubérculos en el mundo en procesos de desarrollo, y a mejorar el manejo de los recursos naturales en los Andes y en otras zonas de montaña. El CIP forma parte de la red global de investigación agrícola conocida como el Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional (CGIAR)

Métodos bio-matemáticos para el análisis de sistemas agropecuarios en el Ecuador

Métodos bio-matemáticos para el análisis de sistemas agropecuarios en el Ecuador

Métodos bio-matemáticos para el análisis de sistemas agropecuarios en el Ecuador 

Métodos bio-matemáticos para el análisis de sistemas agropecuarios en el Ecuador

Carlos U. León-Velarde

Víctor H. Barrera

Septiembre, 2003

Revisión de Texto
Comité de Publicaciones Estación Experimental Santa Catalina del INIAP

PRIMERA EDICION
Boletín Técnico No. 95

Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias
Estación Experimental Santa Catalina
Panamericana Sur Km. 17
Casilla: 17-10-340
Quito-Ecuador
Telf: 593-2-269-0692
E-mail: iniap@iniap-ecuador.gov.ec
Web: www.iniapecuador.gov.ec

Centro Internacional de la Papa
Apartado 1558
Lima 12, Perú
Telf: 51-1-349-6017
Fax: 51-1-317-5326
E-mail: cip@cgiar.org
Web: www.cipotato.org

Esta obra debe citarse así:
León-Velarde, C. y Barrera, V. 2003. Métodos bio-matemáticos para el análisis de sistemas agropecuarios en el Ecuador. INIAP y CIP. Quito, Ecuador. 187 pp.

Diseño, Diagramación e Impresión
TECNIGRAVA, Telef: 295-3786

Septiembre, 2003
Quito-Ecuador

INDICE

INTRODUCCION.....	1
-------------------	---

CAPITULO I ANALISIS DE SISTEMAS AGROPECUARIOS EN EL ENFOQUE DE INVESTIGACION DE SISTEMAS

Conceptos.....	2
----------------	---

CAPITULO II SELECCION DE AREA Y CARACTERIZACION

Ambito de estudio.....	8
Objetivos de la caracterización.....	8
Métodos usados en la caracterización.....	8
Información previa.....	8
<i>Investigación generada por los propios productores.....</i>	9
<i>Investigación agropecuaria.....</i>	9
<i>Información climática.....</i>	9
<i>Estudios socio-económicos.....</i>	10
Formas de obtener la información.....	10
<i>Sondeo.....</i>	10
<i>Encuesta Estática.....</i>	10
<i>Encuesta Dinámica.....</i>	11
Flujo y monitoreo de la información.....	11
Listados y cuadros de salida.....	13
Información y estructura de una base de datos agropecuaria.....	13
<i>Valor de la información.....</i>	13
<i>Recopilación de la información.....</i>	14
<i>Características de una base de datos agropecuarios.....</i>	15
Conceptos básicos de Muestreo.....	16
<i>Muestreo aleatorio simple.....</i>	17
<i>Muestreo aleatorio estratificado.....</i>	17
<i>Muestreo jerárquico.....</i>	18
<i>Multiplicador finito.....</i>	19
<i>Tamaño de muestra.....</i>	20
Análisis preliminares de datos.....	21
<i>Diagrama de Componentes.....</i>	21
<i>Algunos problemas en el análisis de datos y posibles soluciones.....</i>	24
Definición de alternativas tecnológicas y análisis ex-ante.....	26
<i>Definición de alternativas tecnológicas.....</i>	27
<i>Análisis ex-ante.....</i>	28

CAPITULO III ESTADISTICOS EN EL ANALISIS DE SISTEMAS

Parámetros poblacionales	33
<i>Características de la distribución normal</i>	35
<i>Distribución normal de una muestra</i>	36
<i>Media y variancia</i>	37
<i>Covariancia</i>	38
<i>Correlación</i>	38
<i>Regresión</i>	38
Experimentación y Validación	43
<i>Terminología utilizada en la experimentación y análisis de Sistemas Agropecuarios</i>	43
<i>Errores más comunes en el uso de la Estadística</i>	47
<i>Problemas en el planteamiento de experimentos</i>	47
<i>Problemas de experimentación en Sistemas Agropecuarios</i>	49
<i>Diseños estadísticos para la experimentación agropecuaria</i>	54
<i>Diseño de tratamientos</i>	58
<i>Consideraciones en el uso de diseños experimentales</i>	60
<i>Análisis de información no paramétrica</i>	62

CAPITULO IV ANALISIS DE LA INFORMACION DE SISTEMAS AGROPECUARIOS

Análisis multivariados	68
Modelos y Simulación	72
<i>Fundamentos de la modelación</i>	72
<i>Clasificación de los modelos</i>	73
<i>Modelación y teoría general de sistemas</i>	73
<i>Simulación</i>	74
Sistemas Expertos	81
Modelos matemáticos para describir procesos biológicos	83
<i>Modelos para describir crecimiento</i>	83
<i>Modelos para describir la curva de lactancia</i>	86
<i>Modelos de periodicidad</i>	90

CAPITULO V METODOS DE OPTIMIZACION

Superficie de Respuesta	93
<i>Metodología</i>	93
<i>Diseño de composición rotatable central</i>	94
Programación Lineal	99
<i>Introducción</i>	99
<i>Modelo matemático</i>	99

CAPITULO VI
SOSTENIBILIDAD Y ESTABILIDAD AGROPECUARIA

Definición de Sostenibilidad	107
Análisis de Sostenibilidad	108
<i>Enfoque no cuantitativo</i>	108
<i>Enfoque cuantitativo</i>	108
Uso de modelos bio-matemáticos	110
Adaptabilidad y estabilidad agrícola	115

CAPITULO VII
CONSIDERACIONES BIO-ECONOMICAS EN LA INVESTIGACION
DE LOS SISTEMAS AGROPECUARIOS

Conceptos de evaluación bio-económica	121
Evaluación biológica	122
<i>Índice del rendimiento de fincas agrícolas</i>	122
<i>Aceptación preliminar de una alternativa</i>	122
Evaluación económica	123
<i>Medidas de resultados físicos</i>	123
<i>Medidas de la producción</i>	124
<i>Medidas de mano de obra</i>	125
<i>Medidas de eficiencia</i>	125
<i>Índices de retribución a los factores productivos</i>	126
<i>Estructura y análisis de costos</i>	128
Presupuesto	129
Beneficio-Costo y Rentabilidad	132

CAPITULO VIII
TRANSFERENCIA DE TECNOLOGIA (Difusión e Impacto)

Encuestas	134
Difusión e Impacto	137
<i>Difusión</i>	137
<i>Impacto</i>	140
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	142
ANEXOS	147

Métodos bio-matemáticos para el análisis de sistemas agropecuarios en el Ecuador

PROLOGO

El presente documento es un resumen teórico práctico de las consideraciones técnicas y procedimientos bio-matemáticos utilizados en el Análisis de Sistemas Agropecuarios en la ecorregión andina del Ecuador. Fue elaborado con base al documento “*Análisis de Sistemas Agropecuarios: Uso de métodos bio-matemáticos*”, publicado por CIRNMA, 1994, y la información generada y analizada por el Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, **INIAP**, durante 12 años de investigación en sistemas. Los cuales se concretaron en las actividades programadas en el marco del Proyecto de Mejoramiento de la Productividad y Sostenibilidad de los Sistemas de Producción Mixtos: Cultivos-Ganadería en la Ecoregión Andina del Ecuador, ejecutado por el Núcleo de Apoyo Técnico y Capacitación, **NAT/C**, y las Unidades de Validación y Transferencia de Tecnología, **UVTTs**, de la Estación Experimental Santa Catalina del **INIAP**, en alianza estratégica con el Centro Internacional de la Papa, **CIP**. Aspecto que fue posible gracias al apoyo financiero del Programa de Modernización de los Servicios Agropecuarios, **PROMSA**. En el proyecto se utilizó la información técnica relevante y necesaria para completar los procesos y métodos descritos en diferentes publicaciones referentes a la investigación de sistemas, a fin de entender y plantear acciones específicas orientadas al desarrollo agropecuario. Así, en este documento se plantea el uso de diversos métodos y procedimientos con información específica de la ecoregión de la zona Andina del Ecuador. Los mismos pueden ser utilizados en diferentes áreas; sin embargo, dada la multiplicidad de técnicas y complejidad de análisis será necesario, en algunos casos específicos, recurrir a las fuentes originales.

El Núcleo de Apoyo Técnico y Capacitación, **NAT/C**, las Unidades de Validación y Transferencia de Tecnología, **UVTTs**, y los autores expresan su sincero agradecimiento al **INIAP**, al **CIP**, a la iniciativa mundial en producción animal (**SLP**) liderada por el International Livestock Research Institute, **ILRI**, y al **PROMSA**, por haber facilitado el tiempo y los recursos para preparar el presente documento. En forma similar agradece al personal técnico y de apoyo del **INIAP**, quienes mostraron el interés de disponer de un documento sencillo y fácil, que permita utilizar métodos y procedimientos necesarios para el entendimiento del Análisis de Sistemas Agropecuarios.

La Estación Experimental Santa Catalina del **INIAP** espera que el presente documento sea de utilidad para los diferentes actores involucrados en el desarrollo agropecuario del país, en la iniciativa de considerar el mejor uso y manejo sostenible de los recursos naturales de la ecoregión Andina del Ecuador.

Dr. Gustavo Enríquez Calderón
Director General del INIAP

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de producción agropecuarios juegan un rol preponderante en la economía del Ecuador. Su análisis, estudio y planteamiento de alternativas tecnológicas desde el punto de vista bio-económico y social debe ser considerado para contribuir en el desarrollo del país. Esta consideración fue el objetivo del proyecto Mejoramiento de la Productividad y Sostenibilidad de los Sistemas de Producción Mixtos: Cultivos-Ganadería, en la Ecoregión Andina del Ecuador (Sistemas Mixtos), el cual fue ejecutado en las provincias de Carchi, Chimborazo, Bolívar y Cañar, por el Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), en una Alianza Estratégica con el Centro Internacional de la Papa (CIP) y el apoyo financiero del Programa de Modernización de los Servicios Agropecuarios (PROMSA).

En el análisis de los sistemas de producción agropecuarios de la ecoregión andina se utilizó diversos métodos bio-matemáticos, los cuales se encuentran descritos en diversos textos y artículos científicos. Sin embargo, en esa área y ciertas regiones remotas de los países en desarrollo, el acceso a la información técnica es difícil; especialmente en forma de métodos integrados para el análisis de sistemas agropecuarios. En estas áreas se encuentran técnicos y profesionales que se dedican a actividades de investigación y difusión de la tecnología, los cuales, en su mayoría, no disponen de una información de métodos cuantitativos de análisis de los componentes o procesos biológicos y económicos de los sistemas de finca. No obstante, existe un esfuerzo y dedicación para encontrar alternativas tecnológicas aceptables por los productores de una región que disponen de un específico sistema de producción.

Actualmente, el enfoque de investigación de sistemas y su análisis incluye al productor en el proceso de encontrar las alternativas tecnológicas viables a sus necesidades. Este proceso, debido a la complejidad de los sistemas de producción agropecuarios, involucra un grado de dificultad que requiere de una serie de técnicas bio-matemáticas, las que son necesarias entenderlas, para ser usadas en la definición de alternativas tecnológicas.

Por lo tanto, el presente documento fue realizado tomando en consideración la información generada en el proyecto y su análisis con los métodos descritos en el manual "*Análisis de Sistemas Agropecuarios: Uso de métodos bio-matemáticos*", publicado por CIRNMA en 1994. Así, el documento presenta información resumida e integrada de las principales técnicas de análisis cuantitativo de los diversos procesos bio-económicos de los sistemas de finca en la ecoregión andina del Ecuador. En su preparación se utilizó las experiencias del grupo interdisciplinario y la información generada durante la ejecución técnica del proyecto sobre Sistemas Mixtos, así como la información disponible en la literatura científica. En algunos casos se presenta ejemplos adaptados de la realidad, así como simulados, a fin de explicar un método en particular. Este aspecto es debido a la dificultad de presentar la totalidad y complejidad de la información de ciertos fenómenos bio-económicos. Sin embargo, los ejemplos descritos pueden ser utilizados y modificados a situaciones específicas.

CAPITULO I

ANALISIS DE SISTEMAS AGROPECUARIOS EN EL ENFOQUE DE INVESTIGACION DE SISTEMAS

Conceptos

La función de la investigación y análisis de sistemas agropecuarios está orientada a la explicación de fenómenos biológicos, sociales y económicos encaminados a la generación de alternativas tecnológicas. Estas tienen un rol importante en el desarrollo rural de una zona agroecológica.

En general, un esquema de investigación se realiza a partir de la observación de un fenómeno biológico, el que se analiza para observar los factores que lo afectan. El análisis se realiza mediante el uso de diversos modelos o diseños experimentales. Este esquema de trabajo es considerado como "tradicional" y es explicado por el "método científico". El enfoque de la investigación de sistemas incluye un esquema "holístico", que no excluye el primer esquema, aún más lo complementa. La diferencia básica entre ambos está en incorporar el grado de relación entre las partes que componen un sistema agropecuario.

Un sistema es definido como la relación entre los componentes físicos (objetos) que tienen una función en relación con un objetivo común. Es decir se considera la función armónica de las partes en relación con el todo. Sobre esta definición se ha elaborado diversas metodologías, entre las cuales, la investigación de sistemas de fincas (Farming System Research "FSR") se encuentra difundida con variaciones, de acuerdo a las condiciones bio-socio-económicas en que se encuentran los productores que usan un sistema agropecuario.

Un Sistema Agropecuario, en un lugar geográfico específico, es un "Sistema Real" propio y único en esa zona. Presenta la influencia de factores endógenos y exógenos, que afectan en menor o mayor grado la eficiencia de producción. Los factores endógenos son generalmente controlados por el productor. Los factores exógenos están fuera de su control. Sin embargo, el análisis de ellos es necesario para la decisión final del productor en el arreglo de los componentes de su sistema y obtener un nivel rentable de producción.

Los niveles de producción, obtenidos en un sistema agropecuario, pueden ser comparados con otros que presenten características similares y que estén dentro de la misma zona agroecológica. Niveles de producción obtenidos en zonas diferentes también pueden ser comparados estadísticamente; pero, normalmente, sirven como base de referencia. En ambos casos la comparación de los niveles productivos demanda de un adecuado modelo o diseño estadístico.

El uso correcto de modelos o diseños experimentales contribuye a determinar el uso y aplicación de una alternativa tecnológica propuesta. La cual, normalmente es diseñada a partir del análisis de los componentes y factores relacionados al sistema real que presenta un nivel productivo (Q_a) frente a un arreglo de componentes (alternativa tecnológica) con un nivel productivo (Q_b). El análisis estadístico es realizado bajo la hipótesis nula ($H_0: Q_b = Q_a$) y alterna ($H_a: Q_b \neq Q_a$).

Para obtener el correcto planteamiento de la hipótesis es necesario seguir varios pasos metodológicos. La Figura 1.1 esquematiza la metodología de la investigación de sistemas orientada al desarrollo rural (Farming System Research and Development "FSR&D"). Esta orientación es importante y necesaria ya que presenta en forma explícita el rol de la investigación en el desarrollo. De ser sólo un esquema de desarrollo, con la investigación implícita, se corre el riesgo de que la función de investigación se pierda o se diluya en el tiempo, a sólo desarrollo "per se".

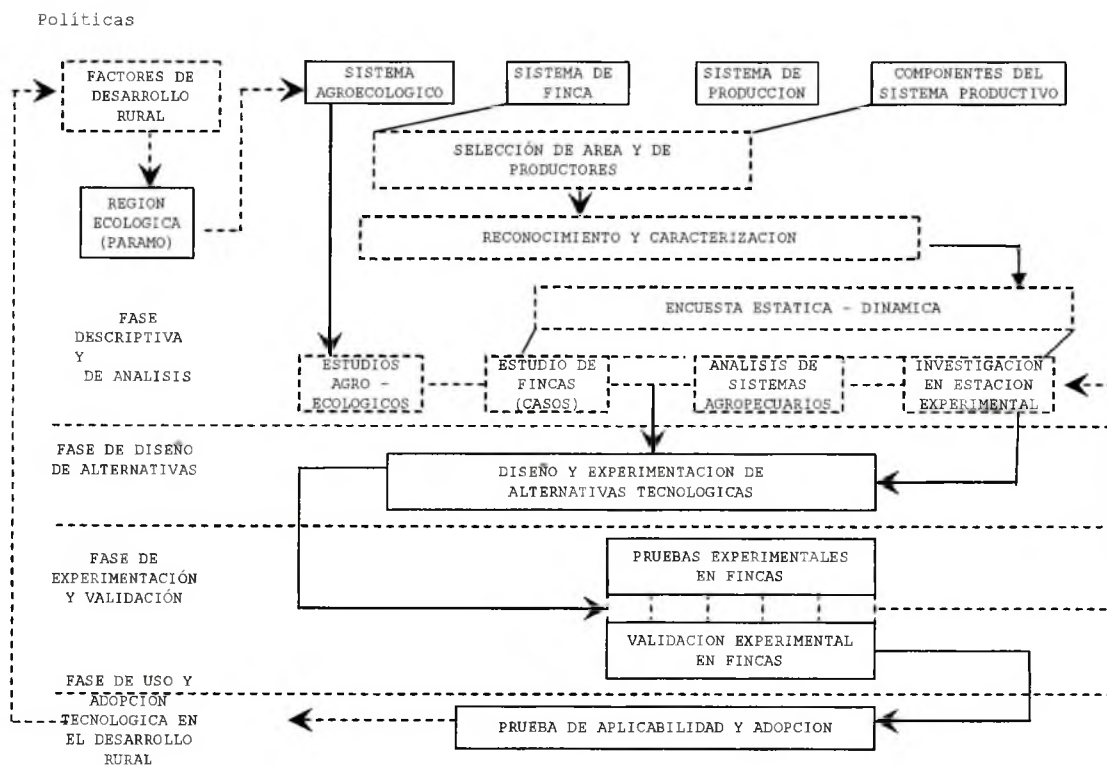


Figura 1.1. Representación esquemática de la investigación de sistemas agropecuarios en relación con el desarrollo rural.

Al considerar el marco descrito en la Figura 1.1, se identifica a la finca o Sistema Agropecuario (SA)¹ como unidad de trabajo. No obstante, en todo análisis de sistema es necesario identificar el nivel jerárquico y los límites del sistema (Hart, 1980). Estos deben ser analizados bajo los siguientes aspectos:

¹ El uso de Sistema Agropecuario incluye lo relativo a plantas, animales y árboles bajo el dominio de la toma de decisiones por parte del productor.

1. Clasificar los Sistemas Agropecuarios por su dedicación, comportamiento y adopción de tecnología.
2. Analizar la eficiencia en el uso de los recursos productivos.
3. Determinar los factores que contribuyen y afectan al Sistema Agropecuario en relación con el medio rural.
4. Realizar la caracterización y diagnóstico tecnológico de los Sistemas Agropecuarios.
5. Analizar las alternativas posibles que deriven a un incremento productivo del Sistema Agropecuario Real.
6. Determinar el diferencial del potencial de producción posible entre el Sistema Agropecuario Real (SAR) y el posible (SAP), (Hipótesis: $SAP-SAR > 0$).
7. Escoger la o las alternativas viables de incremento productivo en los Sistemas Agropecuarios.
8. Realizar la fase experimental y de validación con la participación de productores y agentes de desarrollo. La fase experimental incluye menos productores pero más rigurosidad científica. La fase de validación incluye más productores con control técnico-científico.
9. Propiciar el mayor uso de la alternativa técnica viable, probada y validada, mediante los mecanismos propios de los esquemas de desarrollo rural.
10. Considerar un mecanismo de retroalimentación entre los pasos de análisis y diseño de las alternativas tecnológicas. Entre los pasos cinco y ocho, así como entre el dos y cinco debe existir una retroalimentación constante para realizar los cambios necesarios en el planteamiento de una alternativa técnica y viable de ser adoptada por el productor.

En la fase de experimentación de alternativas tecnológicas en los Sistemas Agropecuarios es posible usar diferentes procedimientos matemáticos, que están descritos en detalle en diferentes textos estadísticos. En el presente documento se presenta, en forma resumida, con ejemplos de la ecoregión andina del Ecuador, los procedimientos más relevantes.

En algunos casos éstos son considerados como complejos y de difícil uso. Sin embargo el uso de ellos puede proporcionar una mayor información así como minimizar el tiempo y costo experimental en relación con las condiciones agro-ecológicas en que se encuentran los Sistemas Agropecuarios en un lugar específico, caso de la ecoregión andina ecuatoriana. Así mismo, se analiza los problemas que se pueden presentar al establecer la fase de experimentación y validación de alternativas tecnológicas usando el enfoque de investigación de sistemas.

Durante el proceso de investigación de sistemas agropecuarios, orientado al desarrollo rural, se considera la participación de los productores. Durante el desarrollo de acciones existe una serie de pasos que deben ser considerados para el logro del objetivo. La Figura 1.2 describe en forma esquemática los pasos a considerar en el análisis de una situación particular, la generación o presentación de una alternativa tecnológica para su posible adopción por parte de los productores.

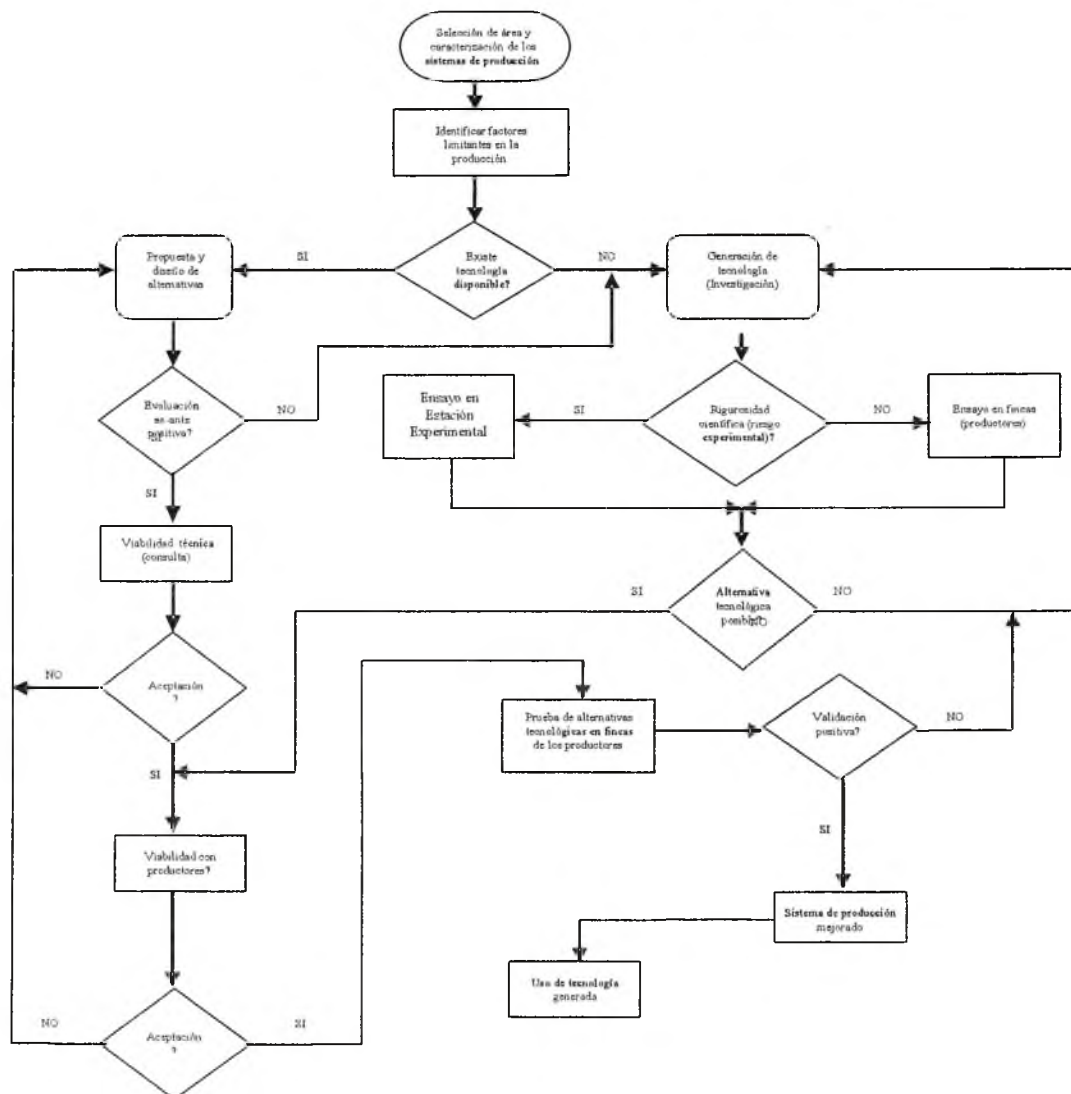


Figura 1.2. Esquema secuencial de los pasos a considerar durante el proceso de investigación y transferencia de las alternativas tecnológicas generadas mediante la investigación en sistemas agropecuarios.

Durante el análisis de los Sistemas Agropecuarios es necesario considerar, en el proceso de experimentación y validación de alternativas tecnológicas, la información sobre diferentes aspectos que existen en el área de acción. Las preguntas que se indican a continuación pueden ser combinadas según sea una alternativa en etapa experimental o en proceso de validación. En todo caso deben ser contestadas por el equipo técnico en forma objetiva y clara. Los puntos más relevantes son:

Prioridad: ¿Por qué la investigación o la alternativa tecnológica a plantear es importante?

Antecedentes y/o adelantos: ¿Qué se conoce de la investigación o alternativa a realizar?, ¿Dónde se encuentra la investigación o alternativa tecnológica a realizar?, ¿Dónde se está en relación con el trabajo realizado anteriormente?

Salidas y/o resultados: ¿Qué fue alcanzado con relación a lo realizado anteriormente?, ¿Qué resultados espero con relación a lo realizado?

Significancia: ¿Por qué el experimento o la alternativa a realizar es nuevo?, ¿Qué significado o relevancia tiene en el medio?, ¿Por qué se tiene que esperar para su difusión?

Impacto: ¿Qué significación o implicancia técnica, económica y/o social tiene el experimento o la alternativa tecnológica?, ¿Qué resultados han sido reconocidos?, ¿Qué se puede esperar en términos futuros?

Contexto: ¿Cómo el experimento o la alternativa tecnológica a plantear es relacionada a otras investigaciones del medio?, ¿Cómo la alternativa se relaciona a investigaciones fuera del medio?, ¿Cómo la alternativa está relacionada a temas actuales (ambiente, género, sostenibilidad, etc.)?.

CAPITULO II

SELECCION DE AREA Y CARACTERIZACION

La selección de área y su caracterización son el primer paso en la macrometodología del enfoque y análisis de Sistemas Agropecuarios. La caracterización permite clasificar la función que cumple cada componente de los sistemas con relación a la generación y difusión de alternativas tecnológicas. Es también considerada como un proceso que permite el desarrollo de la propia metodología de sistemas. Es decir que conforme se avanza en el entendimiento del sistema y se plantean alternativas tecnológicas es necesario conocer lo que está ocurriendo en el sistema cuando se actúa sobre él.

En un programa de investigación y desarrollo rural se debe plantear la caracterización del sistema de finca objetivo. El objetivo debe incluir la selección del área y la obtención de información básica, relevante y necesaria para diseñar y evaluar en el tiempo el sistema de producción agropecuario existente en una determinada área. Así mismo, es necesario reconocer la existencia de las tecnologías utilizadas por los productores, las cuales en su mayoría están adaptadas a las condiciones propias del lugar. Estas, cuantificadas y analizadas sirven de base para medir las nuevas alternativas o modificaciones al sistema.

El conocimiento y entendimiento de los sistemas agropecuarios de una región, vía la caracterización, presenta dos dimensiones distintas pero estrechamente vinculadas al mismo tiempo:

1. La caracterización como proceso de recolección u obtención de información (parte mecánica-operativa), y
2. La caracterización en su dimensión de análisis e integración de la información como insumo en la generación de alternativas bio-económicas y socialmente viables.

Ambos conceptos tienen repercusión en el producto que se planea obtener. Así, los objetivos de la recolección de información están relacionados a los objetivos del análisis. Para el proceso de recolección de la información se debe tener en cuenta al usuario de la información (investigadores) con el objeto de reducir la información que no será usada en su integridad. También es posible considerar que la constante de obtención de información posibilita que los técnicos puedan "intuir", con relativo éxito, las necesidades de tecnología.

Previo a la planificación sobre la forma de recolectar la información es conveniente que un equipo interdisciplinario, decida el requerimiento de información, la forma de obtenerla y el uso que tendrá. De esta manera es posible decidir la estructura de la información a recolectar por medio de sondeos, encuestas estáticas o dinámicas. La estructura de la información debe estar relacionada a una base de datos.

Ambito de estudio

Todo programa o proyecto de investigación de sistemas debe definir el nivel de estudio de acuerdo a niveles jerárquicos de los agroecosistemas existentes en una área. Generalmente se establece la región como nivel jerárquico mayor y los productores como nivel de estudio, y como los niveles jerárquicos menores los agroecosistemas (agrícola, pecuario y forestal). Esta estructura permite identificar, conocer y entender los subsistemas, así como las relaciones entre productores. El análisis de la dinámica de la unidad de estudio a través de los años permite definir los factores limitantes, así como las estrategias de los productores para la minimización del riesgo y las posibilidades biológicas, sociales y económicas viables dentro de su sistema de producción.

Objetivos de la caracterización

Los objetivos de la caracterización son:

- Conseguir información técnica de referencia sobre las prácticas productivas y la productividad en el lugar de estudio.
- Entender el proceso de toma de decisión de los productores en relación con el funcionamiento de sus sistemas de producción.
- Identificar los principales factores limitantes (físicos, biológicos, sociales y económicos) y las posibilidades de generar alternativas para los sistemas caracterizados.

Métodos usados en la caracterización

Caracterizar un sistema agropecuario en zonas agropecuarias marginales implica seguir un proceso ordenado, debido a que la obtención de la información requerida presenta una serie de dificultades que hace necesario usar diferentes estrategias para cumplir los objetivos propuestos.

Cada estrategia a seguir puede tener su propia metodología. Esta debe estar sujeta a los diferentes factores relacionados con el grado de facilidad o dificultad de acceso a los productores. En algunos casos se puede considerar la rotación de profesionales y técnicos durante el proceso de caracterización. Sin embargo, cada método a usar debe explicar la integración de los componentes del sistema región-productor-agroecosistema considerando la variabilidad ecológica, social y económica de la región.

Información previa

La obtención de la información previa o secundaria es orientada a caracterizar los sistemas de producción. La información generada por otras entidades o instituciones es valiosa. Aunque en algunos casos se encuentra diseminada y su obtención no es fácil; sin embargo, su recopilación y análisis deben seguir un proceso organizado que implica su ordenamiento y sistematización con base en los tres niveles jerárquicos mencionados anteriormente. En cada uno de ellos es posible constituir modelos (diagramas) preliminares para ubicar la información recopilada. Esta, de acuerdo a su fuente de origen puede ser clasificada en:

Información generada por los propios productores

Constituye la base de la información. De su análisis es posible observar el grado de aspiraciones y la organización del sistema para desarrollar y adoptar nuevas tecnologías. Las variables básicas a considerar están en relación con los recursos productivos y las limitaciones para producir. Generalmente se inicia con la información sobre estructura y tenencia de la tierra, la forma y clase de producción agrícola y, número de animales relacionado a la producción pecuaria. Esta información permite tipificar o agrupar a los productores en productores tipo. La definición del productor tipo permite establecer el productor objetivo así como establecer el potencial de producción en el área objetivo. La información de base sirve para plantear una Encuesta Dinámica, en la cual se puede asumir que cada tipo de productores tiene intereses y objetivos diferentes. Posteriormente, a partir del grupo de encuestas dinámicas y usando estadísticos descriptivos y técnicas multivariadas para formar grupos afines, se visualiza las estructuras de recursos de producción y productividad de los sistemas bajo estudio. Este proceso permite establecer una idea sobre la diversidad de productores, de tal modo que de su estudio y análisis se diseñarán las alternativas adecuadas a cada productor tipo.

La tipificación de productores sirve para considerar un tratamiento diferencial del proceso de investigación, generación y propuesta de alternativas tecnológicas orientadas a la adopción. Con el desarrollo del proyecto y mayor información de base es posible conocer la diferencia entre los tipos de productores, lo cual ayuda a dar solidez a las acciones.

Investigación agropecuaria

Se considera la información generada por los centros de investigación estatal, universidades y entidades privadas. Este tipo de información, aunque distinta al lugar de estudio, es útil al inicio y durante la investigación de los sistemas. Aporta resultados que orientan la investigación y las propuestas de alternativas tecnológicas.

Los resultados obtenidos en forma sistematizada sirven para orientar la investigación, evitar repeticiones y probar algunos resultados en el área de estudio. Es de mencionar que al tener grupos disciplinarios en las instituciones y centros de investigación se creó cierto rechazo a propuestas de cambio en la planificación de los ensayos por ejecutar, aspecto que es posible solucionar a través de seminarios y cursos sobre el enfoque de sistemas. El cual puede ser aplicado en cualquier disciplina y al mismo tiempo en el ámbito institucional permitiendo integrar diferentes acciones de sistemas de producción en relación con el objetivo institucional.

Información climática

La característica climática de una región debe ser analizada para conocer la variabilidad del clima entre y dentro de años. Esta información se convierte en, algunos casos, necesaria y útil en el análisis de los datos resultantes de la caracterización y el planteamiento real de una alternativa tecnológica.

Estudios socio-económicos

En este aspecto se utiliza los estudios poblacionales de ingreso, migración, nutrición y aquellos relacionados con la tecnología tradicional y estrategias productivas. Estos estudios son necesarios para entender los sistemas. Permite, en los casos necesarios, el orientar y no volver a repetir estudios relacionados a temas similares.

Formas de obtener la información

La información de campo puede ser obtenida mediante:

Sondeo

El sondeo ("Rapid Rural Appraisal") es un método utilizado para obtener información de campo que permita caracterizar los sistemas e identificar la situación de los productores. A partir de los resultados es posible identificar y plantear algunas alternativas primarias a problemas prioritarios planteados por los entrevistados. Sus objetivos específicos son:

- Identificar aspectos relevantes que caracterizan a la región.
- Identificar los problemas de la región y priorizar las alternativas de solución planteadas por los productores.
- Identificar dominios de recomendación así como los criterios que definen a éstos y a los tipos de agroecosistemas.

Durante un sondeo se debe contar con un equipo interdisciplinario en constante interacción (Runo, 1989). Esta acción tiende a disminuir en la medida en que cada especialista opte por dar mayor énfasis a su disciplina. Así mismo, se debe mantener reuniones de discusión al término de cada día de trabajo, incluyendo, en lo posible la presencia de productores interesados. Su inconveniente es el corto tiempo en la obtención de la información, la cual podría tener un sesgo. Este se minimiza si se incorpora personal que conoce el área de sondeo y a los productores.

Encuesta Estática

Con la información inicial se diseña y ejecuta una encuesta con el objeto de obtener información específica y relevante del sistema agropecuario a estudiar. Considera las variables más importantes que influyen en el manejo del sistema de producción, así como los rangos de producción. Metodológicamente, este tipo de encuesta permite obtener información dentro de un amplio espacio muestral aleatorio en cada región o área. Se le considera como punto de partida o Línea Base. Su inconveniente es el tiempo y costo.

Un aspecto importante a considerar en la encuesta estática es la veracidad en las respuestas. Una forma de incrementar veracidad es estructurar preguntas de control sobre la variable, que permita comparar y verificar.

Encuesta Dinámica

La Encuesta Dinámica tiene ventaja frente a los otros métodos. Este método es el seguimiento de las acciones que realiza un productor en su sistema. Constituye la fuente primaria para las diferentes propuestas y entendimiento del sistema de producción y la generación de alternativas tecnológicas.

El primer aspecto a definir, para la implementación de este método, es el tiempo mínimo requerido para obtener información sobre las variables dinámicas de mayor influencia dentro del sistema de producción, las cuales no pudieron ser medidas con la información previa, la Encuesta Estática o el Sondeo. Su mayor inconveniente es el tiempo y costo que se requiere para obtener la información.

Flujo y monitoreo de la información

La recopilación de información es fundamental en un proyecto de investigación de sistemas. La Figura 2.1 describe el proceso de la recopilación y tipo de la información agropecuaria para su análisis. Se observa varias etapas en secuencia en las cuales se registra o analiza información durante un período determinado. El registro de la información debe realizarse en formatos específicos, en especial aquellos que tienen relación con la asignación de mano de obra en actividades agropecuarias y extra agropecuarias; así como también los relacionados con alimentación y pastoreo del ganado o mercadeo. Durante este proceso es posible que existan errores de campo así como de digitación y de transformación y uso de unidades de medida diferentes; en el Anexo se presenta un resumen de medidas y sus equivalencias. Por lo tanto, se debe establecer la forma de encontrarlos y corregirlos. Una forma de solucionar es escribir un programa con los rangos de producción de cada variable. Los valores fuera del rango son revisados, corregidos e incorporados en la base de datos.

Listados y cuadros de salida

Cada cierto período (mensual u otro) es conveniente disponer de listados para los usuarios (investigadores/disciplinas) quienes aportan observaciones, relacionadas con la consistencia de la información, forma de registro o necesidad de información complementaria. Estos listados, con el tiempo, son la fuente primaria de los diferentes análisis, pudiendo recurrir también a los "archivos originales" y a las bases de datos en cómputo.

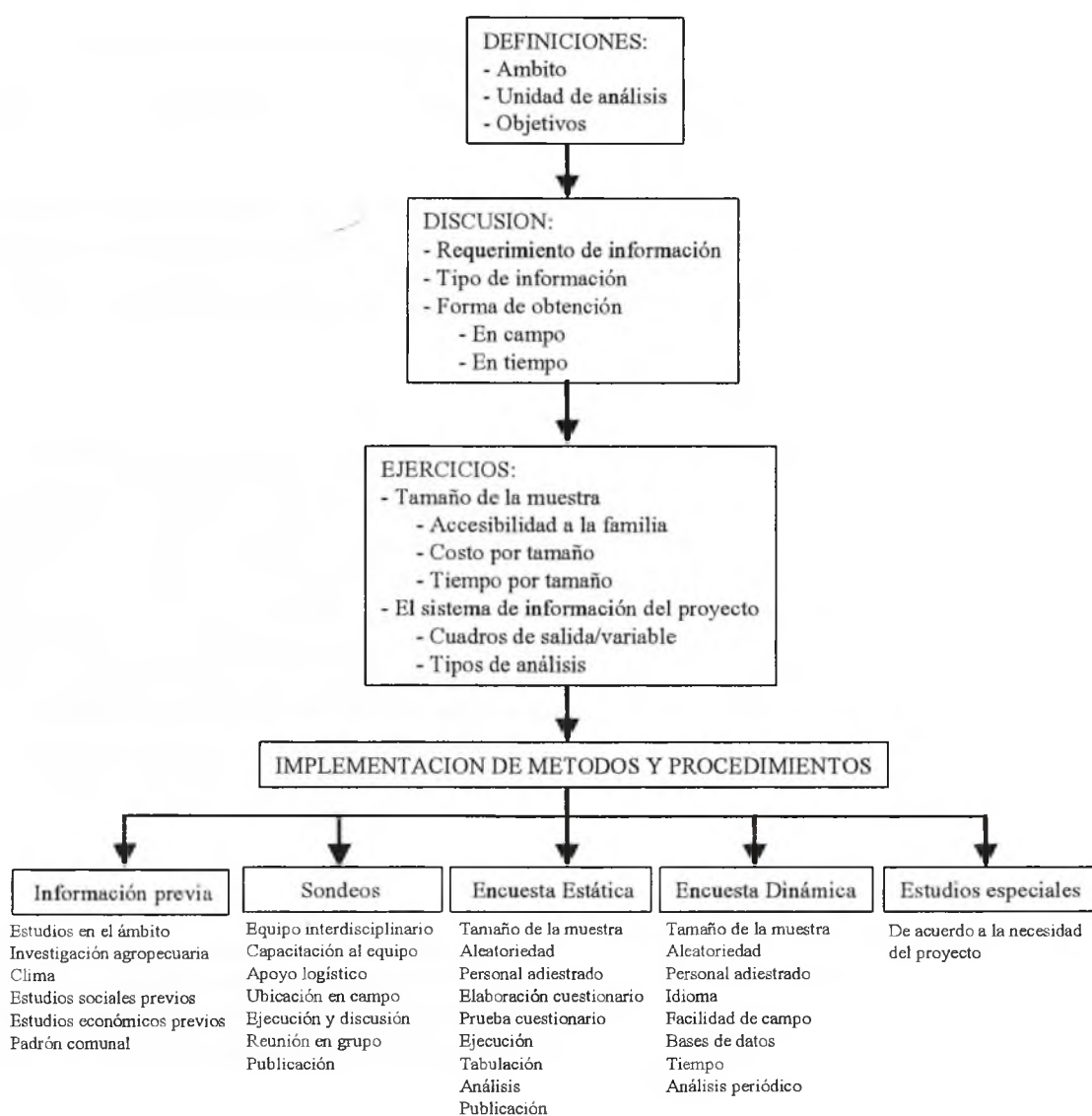


Figura 2.1. Diagrama de secuencia de recolección y tipo de información a considerar durante el análisis de sistemas agropecuarios.

Información y estructura de una base de datos agropecuaria

Debido a que las actividades agropecuarias se realizan en ambientes complejos y en forma dinámica, el investigador y los productores se enfrentan a un constante aumento de hechos e información. Estos son generalmente registrados y almacenados en diferentes formas de acuerdo al interés que exista sobre un hecho particular. De esta forma se establecen diferentes fuentes de información, las que de no estar definidas sobre una misma base pueden no ser de valor para uno u otro usuario. Consecuentemente, la información agropecuaria desde el punto de vista de la investigación de sistemas de fincas debe ser estructurada para ser utilizada por los diferentes técnicos que integran el equipo multidisciplinario, con el objetivo de analizar y diseñar alternativas tecnológicas válidas para el productor. La estructura de la base de datos debe estar en relación con el proceso de caracterización.

Para el análisis de sistemas agropecuarios se recomienda estructurar la información con relación a los factores productivos y socio-económicos. Sin embargo, estos factores son estudiados por investigadores que trabajan en diferentes disciplinas y con diferentes objetivos. Por lo tanto, la organización del análisis de sistemas agropecuarios depende de la correcta estructura de recopilación, almacenamiento, mantenimiento y uso de la información en forma conjunta. El primero de ellos es realizado mediante sondeos y encuestas (Dinámica y Estática); el segundo es registrado en fichas y formularios adecuados. Sin embargo, dada la capacidad actual de las computadoras, la información debe ser almacenada en forma computarizada. El mantenimiento de la información incluye la constante actualización con relación al tipo de encuesta realizada. El uso de la información depende de la forma en que los factores productivos con sus respectivas variables puedan ser combinados.

En esta sección se describe, en forma general, la recopilación, almacenamiento, mantenimiento y uso de información por diferentes usuarios. En cada caso particular se requieren los ajustes de acuerdo a las necesidades propias de cada área bajo estudio.

Valor de la información

El primer paso para iniciar la recopilación de la información es la definición del valor de la información con relación al nivel jerárquico del análisis: país, región, microregión (ecosistema), comunidad, finca, familia, agroecosistemas. Generalmente solo las cuatro últimas son realizadas al nivel de campo por medio de sondeos.

Los productores, para la toma de sus decisiones, requieren y usan la información que se genera en sus parcelas más aquella que proviene de otras fincas y productores. Los técnicos que trabajan en actividades de investigación o extensión tienen requerimientos similares, orientados a la búsqueda de una área o finca representativa para extrapolar los resultados. También, algunos investigadores, con relación al nivel de políticas están interesados en aspectos globales o macro decisiones. Por lo tanto las necesidades de información son de diferente uso y valor. Sin embargo, si parten de una misma base común su uso es factible en cada nivel. Consecuentemente, la información debe ser identificada y codificada para su uso común. La Figura 2.2 representa el flujo de la información agropecuaria con relación a la metodología de sistemas.

El proceso de análisis y experimentación proviene de dos fuentes de información: principal y complementaria. La información complementaria es recopilada de fuentes bibliográficas (censos, muestreos, anuarios estadísticos, etc.). Esta información es necesaria para iniciar o completar la información principal, que va desde la recopilación al nivel de productor, su finca y hasta el área de su región. Constituye la base de trabajo para el análisis, diseño, experimentación, validación y la difusión. La información complementaria permite relacionar la información primaria con el ecosistema.

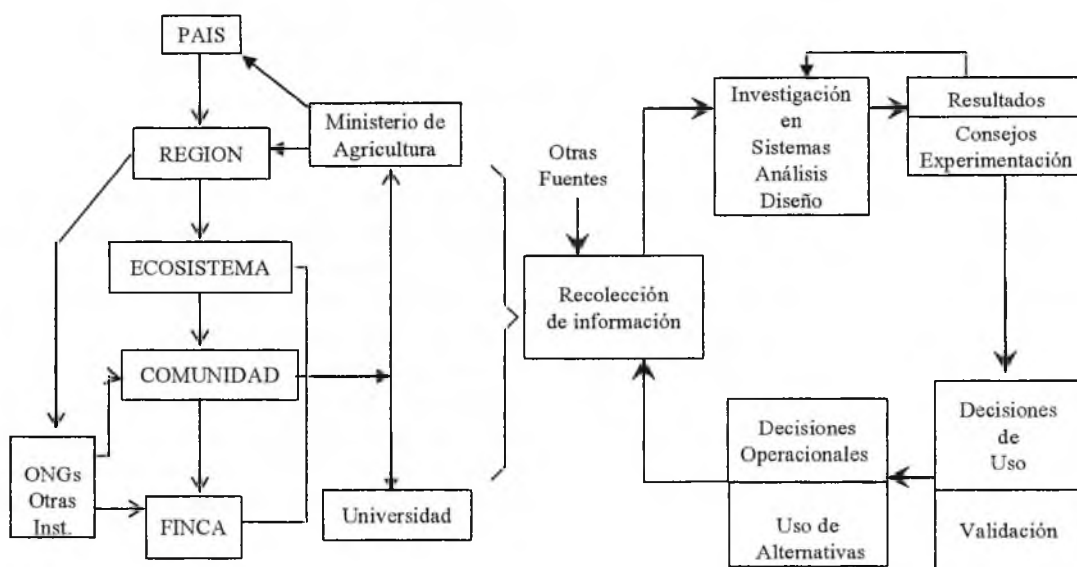


Figura 2.2. Representación esquemática del flujo de la información según diferentes unidades de uso institucional y de campo.

Recopilación de la información

Para el análisis de los sistemas agropecuarios, debido a la formación disciplinaria de cada técnico que integra el equipo de trabajo, existe una tendencia de dividir el sistema en componentes y dentro de ellos la explicación de los fenómenos biológicos, sociales y económicos en forma disciplinaria. Esta división permite la recopilación de datos experimentales y no experimentales, los que en algunos casos se consideran de propiedad del investigador lo cual dificulta el acceso a ellos y así se invalida el análisis en forma integrada.

En el análisis de sistemas, la estructura de recopilación de información debe ser compartida en forma disciplinaria para evitar duplicación de esfuerzos (tiempo y costo) y facilitar el uso e intercambio de información en forma permanente. Siempre debe tenerse en cuenta que la información es valiosa y lo será aún más con un correcto uso e interpretación de los resultados.

Antes del proceso de recopilación (generar información) se debe definir los factores de análisis con las respectivas variables. Los factores de producción (tierra, trabajo y capital), sociales (familia, educación, religión, raza, etc.) y los económicos deben ser definidos con las variables que los definen.

Las variables deben ser clasificadas en cualitativas y cuantitativas con sus respectivas unidades. Las variables cuantitativas deben ser divididas en variables primarias, secundarias y complementarias. Las variables primarias son las obtenidas mediante las encuestas en el campo. Las secundarias y complementarias son aquellas que son derivadas directamente de las primarias o mediante el uso de información secundaria, para explicar o definir procesos agropecuarios.

Cada variable, primaria, secundaria y complementaria debe ser identificada y codificada por el equipo del proyecto. Esta acción cumple el objetivo de conocer la clase y forma de información que se planea recopilar, así como la forma en que será usada por diferentes disciplinas. Las variables principales deben ser codificadas en tal forma que permita su almacenamiento en relación con el formulario o encuesta que se usará. Este debe ser confeccionado sobre la base de los objetivos planteados. La excesiva información primaria sin valor tiende a causar molestia al productor, quien puede dar información falsa o no coherente; así mismo su almacenamiento puede demandar excesivo espacio en las computadoras.

Debido a que la información es generada como observaciones de un evento o fenómeno particular, ella puede caer en error debido a la falta de conocimiento, interés, malentendido o distorsión deliberada por parte del observador o productor. Esta condición afecta los métodos y el período en que se realiza la colección. Por lo general, la información es derivada de muestras y son basadas en muestreos en función del tamaño de la población. Estos procedimientos pueden dar errores y desvíos debido a las inadecuadas técnicas de muestreo, marco de referencia muestral, cuestionarios no correctos y fallas en el propio muestreo, las cuales inducen a una baja credibilidad de la información.

Características de una base de datos agropecuarios

- La base de datos debe ser considerada como una colección de información interrelacionada.
- Los datos deben ser codificados y almacenados en forma ordenada y secuencial en tal forma que permita su recuperación.
- La base de datos debe tener flexibilidad para servir a uno o más programas aplicados de proceso y análisis computarizado.
- El almacenamiento de los datos y su organización es independiente a los mecanismos de aplicación y uso en campo.
- Información nueva puede ser almacenada y los datos existentes pueden ser modificados o complementados sin alterar la integridad y precisión de la base de datos.

La Figura 2.3 describe el proceso de la obtención de la información y su uso en el análisis de Sistemas Agropecuarios.

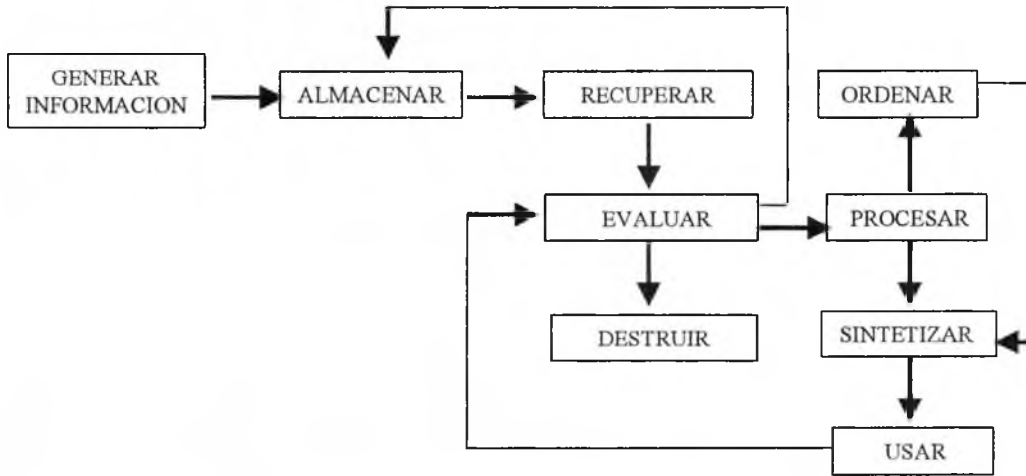


Figura 2.3. Ciclo de la información en el análisis de sistemas de producción agropecuaria.

Conceptos básicos de Muestreo

Una de las formas de conseguir información cuantitativa en la fase de caracterización es por medio de encuestas. En ellas se debe tener en consideración que sólo se obtendrá información de una parte de la población, por lo tanto se debe estar seguro en relación con el número de productores que se entrevistará. Los métodos cuantitativos son descritos por medio de las técnicas de muestreo. En algunos casos se tiende a usar diseños experimentales, lo cual es incorrecto. Algunas de las características importantes que diferencian el muestreo del diseño experimental se describen en el Cuadro 2.1.

Cuadro 2.1. Principales características que diferencian el muestreo del diseño experimental.

Característica	Diseño Experimental	Muestreo
Unidad básica	Unidad experimental	Unidad de muestreo
Tratamientos	Se aplica a las unidades experimentales	No se aplica a las unidades de muestreo
Control de fuentes de variación	Bloques	Estratificación
Variabilidad	Se mide la variabilidad inducida por los tratamientos	Se mide la variabilidad natural

El primer paso de un muestreo es la elección de un marco muestral. Básicamente, consiste en un listado de la población a ser considerada. Sin embargo, en algunos casos es difícil establecer un marco muestral. Por ejemplo, si se desean hacer un muestreo de las características de suelo de una

región ¿Cómo se definen unidades de suelos que presenten igual probabilidad de muestreo?. Este tipo de preguntas y otras deben ser formuladas para definir el marco muestral.

Existen varios tipos de muestreo. En este documento se describe los tres tipos que se considera los más comunes. Para mayor información se recomienda el uso de textos especializados en el tema (Kalton, 1983).

Muestreo aleatorio simple

En este tipo de muestreo se obtiene las observaciones muestrales de tal modo que todas las unidades del marco muestral tengan la misma probabilidad de ser seleccionadas. Una vez que el marco muestral ha sido definido se utiliza números aleatorios para seleccionar las unidades que serán consideradas en el estudio. El número de muestras que deben obtenerse es presentado posteriormente.

En este tipo de muestreo se estima la media para cada respuesta y la variancia asociada con ésta. La media muestral \bar{X} se estima como:

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^n X_i / n$$

Donde:

X_i = Respuesta del individuo i ; $i = 1, 2, 3, \dots, n$

La variancia de la muestra se estima:

$$S^2 = \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 / (n - 1)$$

El error estándar de la media se estima de la siguiente forma:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{S^2}{n}}$$

El intervalo de confianza a un nivel de probabilidad de 95% se construye como:

$$Pr \{ \bar{X} - S_{\bar{x}} t_{.05} < \mu < \bar{X} + S_{\bar{x}} t_{.05} \} = 95\%$$

Muestreo aleatorio estratificado

Este tipo de muestreo se utiliza cuando las unidades pueden ser naturalmente agrupadas dentro de un estrato. El muestreo aleatorio estratificado más simple es aquel donde los tamaños por estratos son iguales, de tal forma que la variancia por estrato se asume que es igual, así como el costo de toma de muestra por estrato.

Este tipo de muestreo permite realizar un análisis de variancia cuya estructura es la siguiente:

Fuente de variación	Grados de libertad
Estratos	s - 1
Dentro de Estratos	s (r - 1)
Total corregido	sr - 1

La media general es la media de los estratos. La variancia, en forma general, es el promedio de las variancias de los estratos:

$$S^2 = (S_1^2 + S_2^2 + \dots + S_n^2) / n$$

Antes de combinar la información de los estratos es recomendable realizar una prueba de homogeneidad de variancia. Si el número de muestras es igual, la prueba de Hartley es apropiada. Si el número es desigual, se recomienda la prueba de Bartlett (Snedecor y Cochran, 1980).

Muestreo jerárquico

En este tipo de muestreo existen jerarquías naturales en la población a ser muestreada. Por ejemplo, si en una población se tienen tres niveles jerárquicos:

- Nivel A aleatorio
- Nivel B aleatorio dentro de A
- Nivel C aleatorio dentro B, dentro de A

Si se denomina n_1 , a las observaciones en A; n_2 a las observaciones en B y n_3 a las observaciones en C, entonces:

$$Y = \frac{\sum Y_{ijk}}{n_1 n_2 n_3}$$

$$S_y^2 = \frac{S_a^2}{n_1} + \frac{S_b^2}{n_1 n_2} + \frac{S_c^2}{n_1 n_2 n_3}$$

Donde:

- i = Observaciones en n_1
- j = Observaciones en n_2
- k = Observaciones en n_3

El cuadro de análisis de variancia tiene la siguiente estructura:

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados Medios	Error Cuadrados Medios	Variancias a calcular
A	$n_1 - 1$	CM_1	$\sigma_{cba}^2 + n_3\sigma_{ba}^2 + n_2n_3\sigma_a^2$	S_1^2
B (A)	$n_1 (n_2 - 1)$	CM_2	$\sigma_{cba}^2 + n_3\sigma_{ba}^2$	S_2^2
C (B, A)	$n_1n_2 (n_3 - 1)$	CM_3	σ_{cba}^2	S_3^2
Total corregido	$n_1n_2n_3 - 1$			

Considerando que los estimados de los componentes de variancias son S_1^2 , S_2^2 y S_3^2 se obtiene las ecuaciones con base al error de los cuadrados medios:

$$CM_1 = S_3^2 + n_3 S_2^2 + n_2 n_3 S_1^2$$

$$CM_2 = S_3^2 + n_3 S_2^2$$

$$CM_3 = S_3^2$$

Las soluciones para las variancias, en este caso, son:

$$S_3^2 = CM_3$$

$$S_2^2 = \frac{CM_2 - CM_3}{n_3}$$

$$S_1^2 = \frac{CM_1 - CM_2}{n_2 n_3}$$

La forma correcta de probar si la variancia de A (S_1^2) es significativa es usando como denominador el CM_2 para obtener el valor de F calculado y ser comparado con F tabulado.

Multiplicador finito

Cuando la muestra constituye una proporción considerable de la población (generalmente mayor a un 10 %) se utiliza el multiplicador finito para corregir la variancia general considerando n = tamaño de la muestra y N = tamaño de la población:

$$S_y^2 = \frac{S^2}{n} \left(1 - \frac{n}{N}\right)$$

Tamaño de muestra

En esta sección se utiliza una notación para la estimación del tamaño de muestra basada en el uso de la amplitud de los límites de confianza (Graybill y Kneebone, 1959). El intervalo de confianza se expresa como:

$$Pr \{ \bar{X} - Z_{\alpha} * S/\sqrt{n} < \mu < \bar{X} + Z_{\alpha} * S/\sqrt{n} \} = (1 - \alpha)$$

El tamaño de la muestra requerida es inversamente proporcional a la amplitud del intervalo de confianza. Así, si se define d como la amplitud del intervalo de confianza deseado, la determinación del tamaño de muestra, de modo que el intervalo de confianza sea menor o igual a d unidades es:

$$d \geq (2 Z_{\alpha} S/\sqrt{n})$$

Para asegurar que se seleccione el tamaño de muestra mínimo, que cumpla con los requerimientos establecidos, se despeja n :

$$n = \frac{4 Z_{\alpha}^2 S^2}{d^2}$$

Se busca en la tabla de Z el valor de $\alpha/2$, debido a que el intervalo es de dos colas. Por ejemplo, si $\alpha=0.05$, entonces $\alpha/2=0.025$ y el valor de Z corresponde a 1.96. En algunos casos es deseable estimar la media "dentro de ciertos límites". En estos casos se asume que el significado de "dentro" es equivalente a la mitad de d , es decir $d/2$ y hay que multiplicar por 2 dicho valor para obtener d .

Ejemplo: Se desea estimar a través de encuestas, las diferencias en la producción de papa en una comunidad campesina del Carchi. El número total de productores es de 120, los que se dividen en 15 como el estrato alto, 68 en el medio y 37 en el bajo.

Estudios preliminares muestran que la media de producción de papa es 14.5 t.ha^{-1} con una desviación estándar de 1.8 t.ha^{-1} . Se desea estimar con una probabilidad de 95% y una diferencia deseable de detectar (d) de 10% (14.5×0.10). El tamaño de muestra n se estima como:

$$n = \frac{4 Z_{\alpha}^2 S^2}{d^2}$$

$$n = \frac{4(1.96)^2 1.8^2}{1.45^2}$$

$$n = 23$$

El número de encuestas que se deben tomar, si se utiliza un muestreo aleatorio simple es 23. La selección de los individuos a muestrear debe ser en forma aleatoria, donde cada individuo tenga la misma probabilidad de ser muestreado.

Si se toma en consideración los estratos, el número de encuestas en cada estrato sería:

$$n_h = \frac{N_h}{N} n$$

$$n_a = \frac{15}{120} \times 23 = 3$$

$$n_m = \frac{68}{120} \times 23 = 13$$

$$n_b = \frac{37}{120} \times 23 = 7$$

Estos números de muestras por estrato son correctos si la variabilidad entre estratos es homogénea. Si se tiene el dato de la variabilidad por estrato, se utiliza la fórmula descrita en el texto.

Análisis preliminares de datos

Un primer paso en el análisis de datos de caracterización, puede realizarse con descriptores estadísticos. Estos permiten visualizar las estructuras de recursos de producción y productividad de los sistemas bajo estudio. Además, permite tener una idea de la diferencia entre productores, para cada variable utilizada.

Uno de los problemas más comunes en el uso de estadígrafos descriptivos es la omisión de una medida de dispersión. En la mayoría de los informes sólo se reportan los valores promedios. Es imprescindible mostrar algún tipo de medida de dispersión, ya que sin éstas no se conoce la variabilidad que existe en la población estudiada. Cada valor promedio debe ser reportado con: un rango, una desviación típica, un coeficiente de variabilidad o un error estándar de la media. Además, se debe indicar el número de datos (n) en la muestra o población analizada.

Diagrama de Componentes

Un Sistema Agropecuario está definido como la relación funcional de los componentes que lo integran en un todo con un objetivo definido. Para su análisis se debe diagramar las partes que lo integran en función de sus límites, sus componentes, las entradas, la relación funcional entre componentes, y las salidas.

La diagramación tiene dos partes. La primera es cualitativa y la segunda cuantitativa. La diagramación cualitativa se realiza con base a la información obtenida en campo mediante el uso de

símbolos. La Figura 2.4 describe los símbolos utilizados en la diagramación cualitativa de los Sistemas Agropecuarios (Hart, 1980).

Figura 2.4. Símbolos utilizados en la diagramación cualitativa y cuantitativa de los Sistemas Agropecuarios.








La diagramación empieza por la determinación del límite; la identificación del subsistema socio-económico, el cual incluye el componente familiar y los recursos de producción. Luego se diagrama los agro-ecosistemas incluyendo la información del área dedicada a cada rubro productivo. Posteriormente se describe y diagrama las relaciones funcionales entre las entradas, el subsistema familiar y los agroecosistemas para indicar finalmente las salidas del sistema.

La diagramación cuantitativa tiene como base el diagrama cualitativo. Indica, en función de las relaciones funcionales de las entradas y salidas, las cantidades producidas, precio y costo por unidad que se tiene en cada agroecosistema, con los cuales

es posible calcular el ingreso total y por unidad del sistema. Sin embargo, en algunos casos, debido a la variabilidad de precios en el mercado se expresa la diagramación cuantitativa en términos de energía.

Al completar la diagramación de la finca se debe establecer el objetivo del análisis, el cual debe estar con relación al objetivo del productor. En la mayoría de los casos es la rentabilidad bio-económica del sistema. Mediante la observación y análisis es posible identificar los elementos que presentan desventajas y aquellos que tienen ventajas comparativas para producir y obtener un ingreso adecuado en un agro-ecosistema definido. El ingreso total puede ser aumentado por un incremento de la producción o por la reducción de costos. Ambos constituyen un problema bio-económico a solucionar mediante el planteamiento de alternativas tecnológicas. Estas se ubican dentro del análisis y diseño de sistemas, lo que conduce a tres situaciones:

1. El reordenamiento de las actividades que se realizan dentro de un agro-ecosistema.
2. La eliminación o la introducción de un agro-ecosistema.
3. El planteamiento de un nuevo sistema; este incluye el conocimiento bio-económico del sistema a proponer; el cual puede inducir, en el tiempo, un cambio total del sistema original del productor.

Símbolo	Significado
	Componente del sistema
	Grupo familiar / productor
	Indica elementos de producción externas fuera del control del sistema (luz solar)
	Almacén de productos (semillas, dinero, etc.)
	Intercambio de dinero (transacciones comerciales)
	Relaciones funcionales entre componentes
	Pérdida del sistema, energía

La Figura 2.5 describe la información cualitativa del sistema de producción mixto: cultivo-ganadería en La Libertad, cantón Espejo, provincia del Carchi. Se observa la forma de uso de los símbolos para la diagramación del sistema con sus respectivos componentes, donde la familia tiene un rol central con los subsistemas agrícola, pecuario y artesanía-transformación.

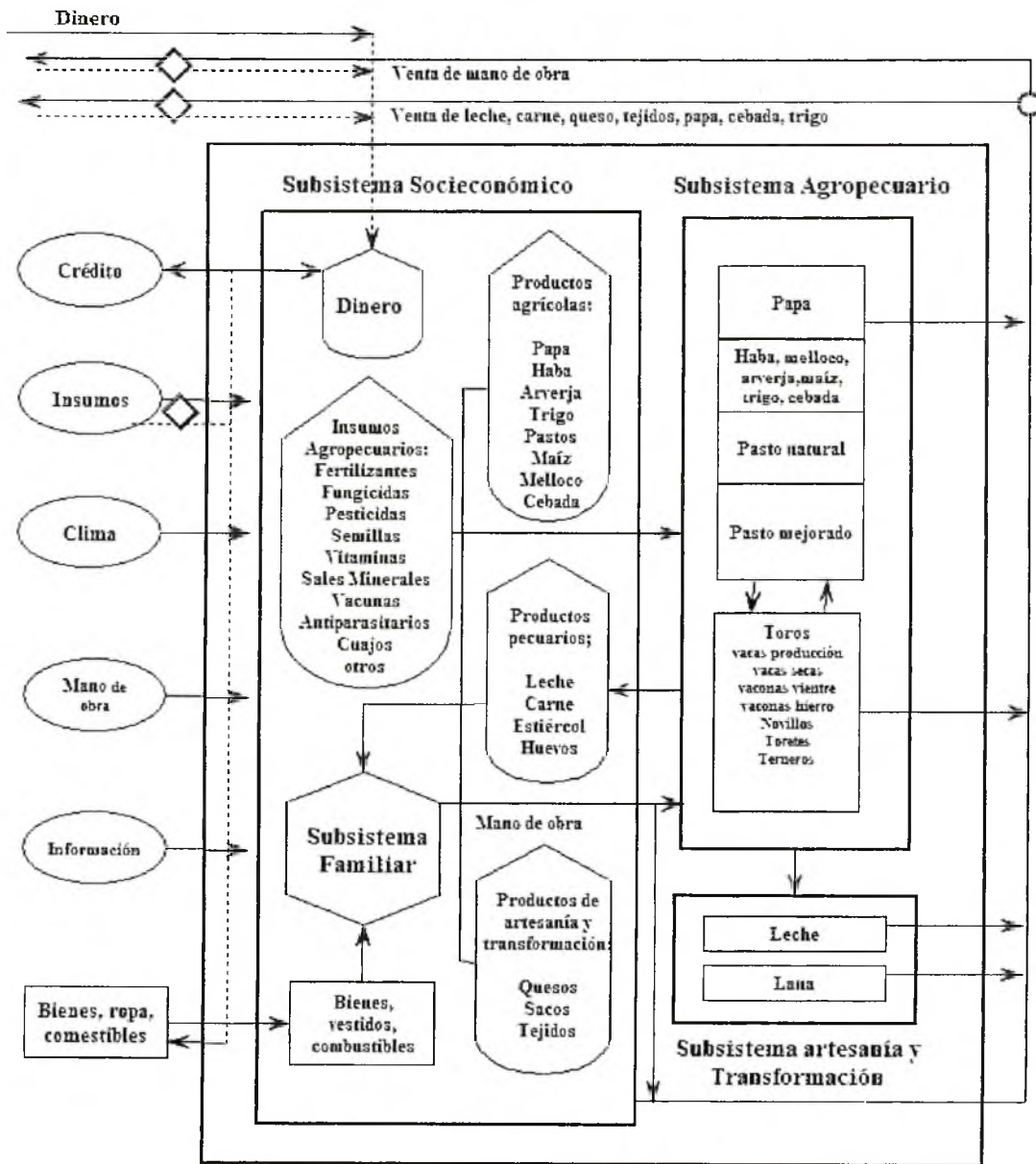


Figura 2.5. Diagrama cualitativo del sistema de producción prevaeciente en la comunidad San Francisco, provincia del Carchi, Ecuador, 2001.

Para el correcto planteamiento de las alternativas tecnológicas se hace necesario el uso de diversas técnicas de experimentación que la definan y expliquen en forma biológica y económica. Entre ellas se considera el uso de los diseños experimentales. Estos básicamente establecen la comparación entre la alternativa y la forma en que el productor realiza un proceso productivo. El uso de sistemas expertos y la simulación, permiten, si se dispone de una amplia información técnica, el estudio de diferentes situaciones o combinaciones difíciles o costosas de realizar en campo. Los modelos de simulación y el reordenamiento de los componentes productivos pueden derivarse a la construcción de los modelos físicos (ejemplo: módulo lechero).

Algunos problemas en el análisis de datos y posibles soluciones

Una de las técnicas estadísticas más utilizada en el análisis de datos es la estimación de parámetros por cuadrados mínimos. Existen problemas en los datos que pueden sesgar la estimación de parámetros o las pruebas de significancia de éstos. A continuación se describe, en forma resumida, cuatro de los aspectos más comunes a tener en consideración. Explicaciones detalladas se encuentran en la literatura (Draper y Smith, 1981; Rawlings, 1988).

1. *Falta de Normalidad en los datos.*- Indica que los valores residuales no están distribuidos normalmente. Este problema no tiene un efecto directo sobre la estimación de los parámetros. Sin embargo, el problema se presenta al momento de la prueba de significancia de los parámetros, o cuando se desea construir los intervalos de confianza de los parámetros estimados. En el caso de los intervalos de confianza, si la distribución no es normal, los valores en las colas de los intervalos pueden no tener la misma probabilidad.

Entre las pruebas para determinar la normalidad de una distribución se tiene: el coeficiente de sesgo, mide el grado de asimetría de la distribución, el valor para una distribución normal es cero. El coeficiente de Kurtosis mide la tendencia de la distribución a ser muy achatada o muy puntiaguda, el valor para una distribución normal es de tres. Otra forma de determinar el problema es con los gráficos normales o semi normales. Una línea recta implica normalidad.

Cuando existe falta de normalidad es posible una transformación de los datos para disminuir el impacto de ella. El tipo de transformación se debe hacer de acuerdo a la distribución presentada por los datos originales. Las transformaciones realizadas sin hacer un análisis de los residuales pueden no estar resolviendo el problema.

Para el análisis de información, generalmente por medio de variancias, se necesita que los datos estén distribuidos normalmente. Sin embargo, existen casos en que la información obtenida (Y) no está distribuida en forma normal; por ejemplo valores discretos (conteo), proporciones o porcentajes respecto de un total, por lo que es necesario transformar el valor original mediante un cambio de escala. La transformación se debe aplicar una sola vez.

En el análisis de la información se recomienda verificar la normalidad de los errores; luego, la no aditividad de los efectos del modelo y finalmente de no cumplirse los supuesto importantes del análisis de variancia, utilizar pruebas no paramétricas que le permitan evaluar los datos obtenidos.

Usualmente se considera las siguientes transformaciones:

a) *Logarítmica*.- Cuando los datos presentan variancias heterogéneas entre grupos de tratamientos. Cuando las variancias son proporcionales a sus promedios. $D = \log(Y)$. Cuando los datos presentan efectos multiplicativos se puede usar $D = \text{Log}(Y+k)$, donde $k=1$ o un número entero mayor.

b) *Raíz Cuadrada*.- Cuando los datos son discretos o porcentuales, por ejemplo número de manchas en una hoja, número de bacterias en una placa de petri: $D = \sqrt{Y}$ o también $D = \sqrt{Y + 0.5}$, este último caso se aplica cuando el intervalo esté entre 20 a 80%. En el caso que sea menor de 20% y mayor de 80% solo se aplica la raíz cuadrada de Y.

c) *Angular*.- Cuando la variable se expresa en porcentajes y está dispersa en una escala de 0 a 100. $D = \text{Arcseno}(\sqrt{Y/100})$; en el caso de que la función este en radianes, se debe multiplicar el resultado por $180/3.1415$, así se obtiene una respuesta en ángulos en la escala de 0 a 90

En todos los casos el coeficiente de variación se disminuye. Sin embargo, esto no implica que para reducir el coeficiente de variación se deba usar un cambio de escala. Usar solo el cambio de escala o transformación de datos cuando sea necesario y las condiciones se dan.

2. *Homogeneidad de variancia*.- La homogeneidad de variancia asume que todas las observaciones tienen una variancia común. Esto implica que todas las observaciones en las variables dependientes contienen la misma cantidad de información. Es por ello que en el análisis por cuadrados mínimos ordinarios se da el mismo peso a cada observación. Si la variancia es heterogénea, algunas observaciones contienen más información que otras; por lo tanto, requieren pesos diferentes en el análisis. Cuando este problema existe, los parámetros estimados por cuadrados mínimos ordinarios no tienen mínima variancia.

La heterogeneidad de variancia es común a los datos cuyos residuales no tienen una distribución normal. Es por ello que una transformación adecuada también corrige el problema de heterogeneidad de variancia. Otra forma de corregir este problema es asignando pesos ponderados, de acuerdo a la variancia, a través de cuadrados mínimos ponderados.

3. *Errores correlacionados*.- Estos se presentan cuando existe correlación entre los valores residuales. Este problema es común en datos recolectados en el tiempo. Se presenta cuando existe una aleatorización deficiente de las unidades de muestreo o unidades experimentales; y, cuando hay mal manejo de unidades experimentales (ejemplo: la agrupación de unidades para la aplicación de algún producto químico).

Los errores correlacionados disminuyen la precisión de los estimados y pueden invalidar las pruebas de significancia de los estimados. El problema de los errores correlacionados puede manejarse usando análisis de series de tiempo y cuadrados mínimos generalizados.

4. *Colinealidad*.- En el análisis de la información es común encontrar que se utilicen muchas variables explicatorias. A veces es útil tener muchas variables, pero también se corre el riesgo de tener duplicidad de información. Si la duplicidad es total; es decir, la segunda variable es una combinación lineal de la primera ($r = 1$), entonces la matriz de variables independientes es singular y no existe una solución única. Al ser detectada se puede corregir el problema, con una re-parametrización. Cuando existe duplicación de información, pero la correlación no es perfecta, existe una solución única de la inversión del producto de la matriz de variables explicatorias.

El efecto de la colinealidad en el análisis de datos incluye: incremento en la variancia de los parámetros estimados, cambio en la magnitud y hasta en el signo de los parámetros estimados y limitación de la predicción sólo al reducido espacio vectorial de las variables explicatorias.

Una forma de observar si existe correlación, es estimando la matriz de correlación de todas las variables explicatorias y observar las interrelaciones entre cada dos variables. Existen interrelaciones, entre más de dos variables, que no pueden ser detectadas por este método y se requiere del análisis de la estructura de los datos, utilizando técnicas como la descomposición vectorial ("Eigen analysis"). Para eliminar el efecto de la correlación de las variables, es necesario formar variables ortogonales (no correlacionadas), previo a cualquier tipo de análisis (regresión, cluster, etc.). Una forma útil de formar este tipo de combinaciones lineales ortogonales es la técnica de componentes principales.

Definición de alternativas tecnológicas y análisis ex-ante

El diseño y definición de alternativas tecnológicas se realiza bajo un proceso de análisis de la información del productor en una área agroecológica específica. El proceso conduce a tres posibilidades en función de obtener una optimización bio-económica:

1. "Statu quo", es decir dejar el sistema tal como está;
2. Modificación parcial, lo cual incluye el arreglo de la operacionalidad (función-estructura) de los componentes del sistema o la introducción o eliminación de un agro-ecosistema, y
3. Modificación total del sistema, implica la generación de un nuevo sistema con base a los conocimientos existentes del lugar, esta opción conduce generalmente al diseño de modelos físicos (ejemplo: el establecimiento de un módulo lechero).

Por lo tanto, en todo proyecto se debe analizar la información existente con el objetivo de plantear alternativas tecnológicas que tiendan a aumentar la producción y productividad de los sistemas, así como el ingreso. En forma general la mayoría de intervenciones técnicas (riego, uso de variedades, fertilización, etc.), son modificaciones parciales reconocidas como alternativas tecnológicas.

Definición de alternativas tecnológicas

En forma general, en la investigación tradicional el artículo científico es un producto técnico formal, reconocido y valioso. En él, generalmente los resultados se integran en función de un cultivo o crianza; por ejemplo, el resultado del fitomejoramiento es una variedad, sin embargo, no se presenta algunas veces con recomendaciones específicas como zonas de siembra, control de plagas, etc., lo cual casi siempre se reporta en forma desagregada, produciendo un mensaje distorsionado.

Con la metodología de sistemas, el resultado del trabajo de investigación es el planteamiento de alternativas tecnológicas en los sistemas estudiados dentro de un ámbito agro-ecológico definido. Esta acción conduce, a un equipo de investigación, a integrar estudios en forma sistemática, y permite proseguir el proceso de investigación en forma ordenada hacia el uso de la tecnología en las etapas de validación y difusión.

Las alternativas tecnológicas son los elementos o procedimientos técnicos que permiten la optimización de un componente o subsistema. En su definición se integra diferentes disciplinas que expliquen un proceso biológico. Se plantean en función de la realidad del medio donde se ubican los productores. Son también el producto que la investigación agropecuaria ofrece con base en la caracterización, y de las pruebas realizadas durante la investigación. Así, durante la caracterización se tiende a presentar un modelo cualitativo parcialmente cuantificado. El desarrollo de otros tipos de modelos cuantitativos, a partir de las relaciones funcionales entre los componentes, constituye parte del análisis cuantitativo del sistema. Se complementa con la modelación de las unidades productivas como base de la generación de alternativas tecnológicas posibles de usar en los sistemas caracterizados.

Este proceso requiere de dos acciones básicas:

1. Listado de las alternativas para cada condición, y
2. Descripción detallada de cada una.

Durante estas dos acciones es posible utilizar y analizar la información proveniente de fuentes externas al trabajo planificado. La descripción de una alternativa tecnológica requiere de un formato que cumpla con los principios del análisis de sistemas. Es de mencionar que el término "alternativa tecnológica" surge debido a que el término "paquete tecnológico" implica contradicciones con la forma real en que el productor adopta y adapta la información a su esquema de producción integrado. Ha sido experiencia frecuente de procesos de investigación y transferencia tecnológica, el observar que cada productor "desarma" el (los) paquete (s) e integra en su propio sistema de producción las partes que cree necesitar. Alternativa implica que se parte de un modelo ideal sobre el sistema actual y real del productor. Durante el proceso de desarrollo de la investigación de las alternativas se usa el modelo real como base, de tal forma que las variantes que se realizan por medio de la experimentación y validación contribuyan a definir al modelo ideal considerando variación de ambientes. Sirve también para estimar el comportamiento desde una perspectiva económica y social.

Un formato propuesto para una alternativa tecnológica incluye:

- Descripción del sistema actual con base a la descripción y producto de la fase de caracterización del sistema frecuente o tradicional en la región o área. Es el comparador que el equipo acepta y sobre el cual se plantean las alternativas.
- Cambio en el aspecto del proceso de producción del sistema en que se sugiere hacer modificación.
- Descripción de la alternativa tecnológica con los cambios a la alternativa del productor.
- Justificación con razones para hacer el cambio expuesto en la alternativa tecnológica.
- Meta a lograr indicando incrementos, reducción en recursos y productos del sistema. En la mayoría de ellas se debe cuantificar las metas.
- Planteamiento sobre investigaciones futuras con relación a los pasos metodológicos del proceso de investigación a seguir, especialmente en la validación.
- Definición del medio socio-económico con relación al comportamiento del productor sobre el rechazo o aceptación de la alternativa tecnológica propuesta.
- Estimación del tiempo mínimo para ver resultados; expresado en años o campañas agrícolas (válidas) que indique la confianza de éxito y el avance posible de lograr el desarrollo de la alternativa.
- Documentación técnica que fundamente cada componente de la alternativa tecnológica.

Análisis ex-ante

Previo a la experimentación o validación de una alternativa tecnológica es necesario realizar un análisis a priori, con el objetivo de estimar el comportamiento de ésta. En este análisis se utiliza diferentes formas de ordenar la información que da origen a la alternativa tecnológica. Entre las formas de ordenamiento y análisis se considera el uso de formatos y los modelos bio-matemáticos, así como la modelación y simulación. Todos ellos deben tener una relación con la cuantificación bio-económica.

Formatos Cuantitativos

Los formatos cuantitativos a utilizar se construyen básicamente en hojas de cálculo electrónico (Ejemplo: Acces² o Excel²). Como ejemplo del uso en estimaciones biológicas se presenta una

² Marca registrada por Microsoft Office, U.S.A.

evaluación parcial de la disponibilidad y calidad de los recursos locales, para alimentación de bovinos.

Para este ejemplo se considera la información publicada y disponible sobre la superficie sembrada en cultivos que se usan para la alimentación animal, incluyendo pastos cultivados, anuales y perennes (Grijalva, 2002). La información es colocada por hileras en la hoja de cálculo. Luego se introduce los valores calóricos para estimar el aporte energético. En términos de energía metabolizable (EM), de acuerdo a relaciones funcionales (NRC, 2001) se tiene que un kg de materia seca digestible (MSD) equivale a 4.4 Mcal de energía digestible (ED). Así mismo la energía metabolizable equivale a 0.82 de la energía digestible ($EM = 0.82 * ED$, en Mcal).

Los cálculos de energía metabolizable se realizan a partir de la producción de materia seca por hectárea considerando su respectiva digestibilidad. Un resumen de la información se presenta en el Cuadro 2.2. Para el análisis se efectuó el cálculo del requerimiento energético de manutención (REM) considerando un peso vivo (PV) promedio de 300 kg por UBA (Unidad Bovina Adulta). La ecuación utilizada para estimar este requerimiento en Mcal es: $REM, Mcal = 0.077 * PV^{0.75}$ (NRC, 1984).

Al observar la oferta de energía metabolizable de manutención (EMm) se encuentra que la mezcla forrajera es superior, sin tomar en cuenta su persistencia de 5 años. En todos los casos se evidencia que puede existir suficiente energía metabolizable para manutención, y por lo tanto puede quedar suficiente energía metabolizable para producción de leche o carne. Sin embargo, es de mencionar que las cifras representan un valor global promedio anual. Por lo tanto, se debe considerar un análisis específico para cada forraje con relación a su disponibilidad mensual. Pasturas específicas de trébol blanco *Trifolium repens* o rojo *Trifolium pratense* son casi inexistentes, encontrándose más en mezclas forrajeras con el objeto de aumentar la digestibilidad de la pradera.

El resultado que se visualiza considera que la mezcla forrajera tiende a ser beneficiosa como resultado de diversas investigaciones para combinar especies. Es de considerar que durante los últimos veinte años hubo un incremento en la superficie sembrada en pastos. Así, el incremento mayor se debe a la introducción de pastos como Rye grass anual (*Lolium multiflorum*), Rye grass perenne (*Lolium perenne*), pasto azul (*Dactylis glomerata*), trébol blanco (*Trifolium repens*) y trébol rojo (*Trifolium pratense*), así como a los cultivos temporales de avena forrajera, vicia y maíz forrajero. En forma global si se considera, durante los últimos 20 años, que también ha habido un incremento de la población bovina en la sierra Ecuatoriana, esta ha tenido suficiente disponibilidad de energía metabolizable para producir. Sin embargo, es necesario considerar un adecuado manejo de las pasturas a fin de uniformizar la oferta energética a través del año para cubrir la demanda existente.

Cuadro 2.2. Análisis de la disponibilidad de materia seca (MS) y digestibilidad de algunos forrajes perennes y temporales con relación a la carga animal y disponibilidad de energía metabolizable en la sierra del Ecuador.

Especie	Disponibilidad kg. MS. ha ⁻¹ año ⁻¹	Digestibilidad Materia Seca Porcentaje	Energía Metabolizable Disponibte		Diferencia energía** Mcal UBA día ⁻¹	Carga animal * UBA. ha ⁻¹ año ⁻¹
			Mcal kg ⁻¹ MS	Mcal. ha ⁻¹ año ⁻¹		
Mezcla forrajera***	17,500	0.76	2.74	47,950	17.48	5.71
Rye grass más trébol	14,780	0.78	2.81	41,532	18.09	0.84
Alfalfa	12,500	0.72	2.60	32,500	16.27	0.85
Rye grass Inglés	11,300	0.71	2.56	28,928	15.97	0.90
Rye grass Italiano	10,700	0.71	2.56	27,392	15.97	0.95
Pasto azul	6,300	0.74	2.67	16,821	16.88	0.59
Trébol rojo	5,500	0.80	2.87	15,785	18.70	0.87
Kikuyo	5,390	0.68	2.45	13,206	15.06	0.98
Holco	5,250	0.67	2.41	12,653	14.76	0.97
Trébol blanco	4,350	0.82	2.95	12,833	19.30	0.83
Maíz forrajero	18,444	0.70	2.53	46,663	15.67	5.71
Avena-vicia	12,540	0.71	2.56	32,102	15.97	0.84

* Basado en el consumo de materia seca diario. 2.8 kg MS/100kg peso vivo; 9.8 kg MS.día⁻¹.

** Diferencia de energía metabolizable total y de manutención (UBA de 350 kg peso vivo; 6.23 Mcal EM)

*** Rye grass anual (*Lolium multiflorum*) y perenne (*Lolium perenne*), trébol blanco, pasto azul (*Dactylis glomerata*).

Modelos matemáticos y de simulación

Un modelo matemático es una representación abstracta de una realidad. En términos generales, el modelo o sistema verdadero es desconocido. Sin embargo, por el conocimiento que se dispone de una realidad es posible representarla en un modelo o sistema ideal, pero debido a múltiples restricciones o limitaciones se deriva a un modelo o sistema operacional. Una forma de visualizar esta relación es la finca de un pequeño productor con múltiples limitaciones; él dispone de un conjunto de recursos, que ordenados en sus limitaciones deriva a su finca operacional, es decir su sistema. El ideal sería el arreglo de los componentes y la exclusión de las limitantes que él posee. En este caso se orienta hacia el modelo ideal. Sin embargo, el modelo verdadero permanece desconocido, debido a las múltiples condiciones y limitaciones existentes en relación con los factores que afectan, positiva o negativamente, el sistema. Por lo tanto, en todo análisis de sistemas se debe plantear el modelo ideal para luego de considerar las restricciones que existen obtener un modelo operacional lo más cerca posible del ideal y que explique el funcionamiento del sistema. La Figura 2.6 describe una representación esquemática de la relación entre modelo y sistema verdadero, ideal y operacional.

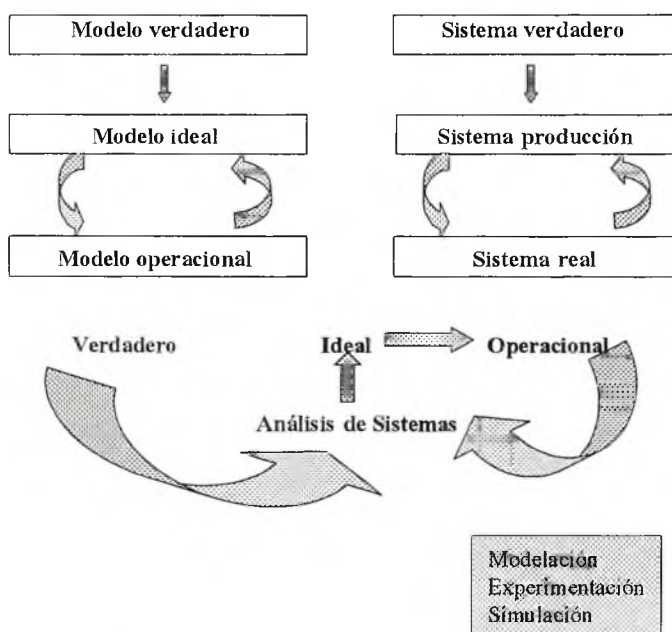


Figura 2.6. Representación esquemática de la relación entre modelo y sistema verdadero, ideal y operacional.

Los modelos matemáticos y de simulación, como una abstracción de la realidad son usados en la etapa de diseño de alternativas. Estos modelos son determinísticos y en algunos casos estocásticos. Es decir, las variables de mayor relevancia en un modelo de simulación son estimadas a través de una función probabilística. Esto permite, mediante varias corridas del modelo, obtener la variabilidad necesaria para verificar el modelo.

Una vez determinada la precisión de un modelo, con respecto al sistema de producción objetivo, este es utilizado en los análisis *ex-ante*. En el análisis es posible modificar los componentes incorporados en el modelo para verificar las propuestas de alternativas deseadas. Al final, se seleccionan aquellas cuya probabilidad de viabilidad bio-económica es mayor. Como ejemplo se presenta, en resumen, la evaluación *ex-ante* de un modelo de simulación de producción de leche de bovinos (Barrera *et. al.*, 1995), para la zona de La Libertad en la provincia del Carchi.

En los sistemas de producción de leche de los pequeños productores de la zona del Carchi se comparó cuatro alternativas de manejo. Se utilizó vacas Holstein Frisian mestizas, con un peso al parto de 470 kg en pastoreo, con una carga animal de 1.5 UBA. Las alternativas se relacionaron con el manejo del pastizal y suplementación en base de concentrado. En el Cuadro 2.3 se describe las alternativas tecnológicas planteadas.

Las variables evaluadas fueron: producción de leche y variación de peso durante 280 días de lactancia.

Las alternativas A2, A3 y A4 mostraron un incremento de la producción de leche de 18%, 45% y 49%, respectivamente en comparación con la alternativa del productor (A1). El incremento de la alternativa A2 se atribuye al manejo y fertilización de la pastura. Las alternativas A3 y A4 se explican por el uso del concentrado durante los primeros meses de la lactancia. Su efecto aparentemente aditivo se manifiesta a través de la lactancia completa. Es de indicar que la alternativa A4, que incluye fertilización y uso de concentrado, resultó la de menor rentabilidad. Así, el análisis del retorno marginal permite concluir que las mejores alternativas son las alternativas A2 y A3. Es decir con fertilización y sin uso de concentrado (18%) o sin fertilización pero con concentrado (45%). Sin embargo a partir de la alternativa A2 se requiere la inclusión de concentrado en forma balanceada a los requerimientos de los animales en producción; esto debido a

que debe incluirse niveles de fertilización adecuados a fin de mantener la pastura en forma sostenible. El análisis realizado permite visualizar que la incorporación de tecnología (A4) debe ser gradual con relación a lo tradicional a fin de lograr el paso de un sistema operacional hacia uno ideal, siempre y cuando los costos y beneficios sean adecuados.

Cuadro 2.3. Alternativas tecnológicas planteadas y evaluadas en la zona de la Libertad, cantón Espejo, provincia del Carchi, Ecuador, 1996.

Alternativa	Digestibilidad Por ciento	Disponibilidad Materia Seca $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$	Condiciones / observaciones
A1	58	1,800	Constituye el sistema tradicional (testigo o comparador)
A2	60	2,200	Fertilización: 180 kg de N y 20 kg de P
A3	58	1,800	120 kg de concentrado (EM=2.4 Mcal.kg ⁻¹ y 12% de proteína)
A4	60	2,200	Fertilización: 180 kg de N y 20 kg de P, 120 kg de concentrado (el mismo que el T3) ofrecidos durante los primeros 60 días de lactancia (2 kg de MS.animal ⁻¹ .día ⁻¹)

CAPITULO III

ESTADISTICOS EN EL ANALISIS DE SISTEMAS

Parámetros poblacionales

La mayoría de los eventos biológicos, cuando son graficados de acuerdo a su frecuencia de presencia con relación a su valor, tienden a definir una curva denominada curva de distribución normal. De hecho, esta es la base de la mayoría de los análisis estadísticos. Sin embargo, toda población debe ser evaluada para determinar el tipo de distribución a que responde, especialmente si se trabaja en el área de la modelación matemática y simulación. En este documento se resume la información sobre distribución normal con respecto a los parámetros poblacionales que son usados en las pruebas estadísticas. Un mayor detalle puede ser consultado en diferentes textos de estadística.

Una población (N) puede ser medida por una de las varias variables cuantitativas (Y). Las medidas que se obtienen tienden a describir generalmente una distribución normal. Los parámetros que definen la población son la media (μ) y la variancia (σ^2). En este documento se usa indistintamente σ^2 o V . La media (μ) es el punto central de la distribución y la variancia (σ^2) describe la distancia de las observaciones desde la media. Ambos son desconocidos y su estimación es a partir de una muestra poblacional en la cual se estima la media como promedio muestral (\bar{x}) y la variancia de la muestra (s^2). A mayor muestra poblacional existe una mejor estimación de la media (μ) y de la variancia (σ^2).

La media de la población es definida como:

$$\mu = \left(\sum_{i=1}^N X_i \right) / N = (x_1 + x_2 + \dots + x_N) / N$$

Debido a que el valor de μ no es conocido, es necesario una estimación a partir de una muestra poblacional (n). Su estimación como media de la muestra (\bar{x}) es definida por:

$$\bar{X} = \left(\sum_{i=1}^n X_i \right) / n = (x_1 + x_2 + \dots + x_n) / n$$

Una importante propiedad de la media es que la suma de las diferencias entre una observación (X) y la media \bar{X} es igual a cero ($\sum (X_i - \bar{X}) = 0$).

Entre las medidas de dispersión se tiene la variancia (σ^2), la cual es siempre mayor o igual a cero. Su rango es entre 0 y ∞ . Si es cero, todas las observaciones deben ser iguales. Es definida por la siguiente ecuación:

$$\sigma^2 = \left[\sum_{i=1}^N (x_i - \mu) \right] / N$$

La variancia (σ^2) es estimada como s^2 por medio de la ecuación:

$$s^2 = \left[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \right] / (n-1)$$

Si el valor de la media (μ) es conocido el mejor estimado de la σ^2 desde una muestra poblacional es definida como:

$$s^2 = \left[\sum_{i=1}^n (x_i - \mu) \right] / n$$

Sin embargo, el valor de la media al ser desconocido se reemplaza por su estimador \bar{x} . Así mismo se considera que \bar{x} es en promedio igual a μ ; sin embargo se presentan variaciones de muestra a muestra las que dan raramente un valor igual a μ . La $\sum (X_i - \bar{X})^2$ es menor que la suma de cuadrados de las desviaciones desde cualquier valor de \bar{x} . Por lo tanto, si \bar{x} no es exactamente igual a μ , la $\sum (X_i - \bar{X})^2$ es menor que $\sum (X_i - \mu)^2$. Esto significa que la $[\sum (X_i - \bar{X})^2] / n$ da un pequeño estimado de σ^2 , por lo que se hace la corrección usando $(n-1)$ en el denominador en vez de n . En otras palabras, sobre el promedio se tiene que ambas ecuaciones tienden a definir la σ^2 :

$$\left[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right] / (n-1) = \left[\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2 \right] / n \cong \sigma^2$$

Al calcular la suma de cuadrados de las desviaciones entre las observaciones y la media muestral para estimar s^2 se usa la siguiente ecuación de trabajo:

$$s^2 = \left[\sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 / n \right] / (n-1)$$

El término del lado derecho del denominador es conocido como término de corrección $[(\sum x)^2 / n]$ y la expresión $(n-1)$ se define como los grados de libertad.

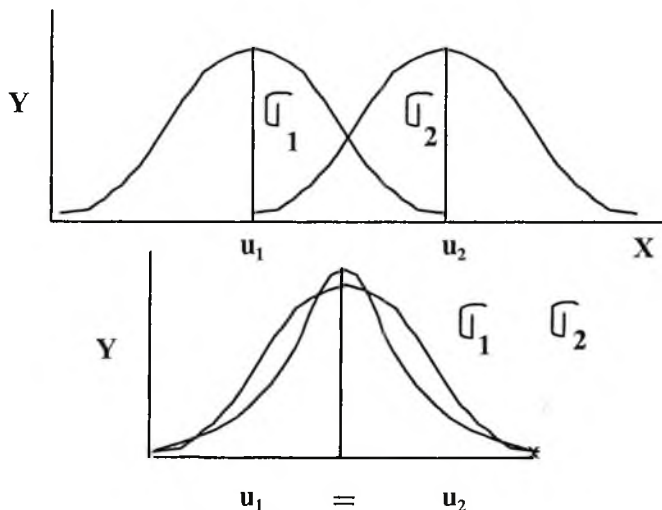
La desviación estándar (σ) de la población es igual a $\sqrt{\sigma^2}$ y la desviación estándar de la muestra es la $\sqrt{s^2}$. La desviación estándar (s) dividida entre la raíz cuadrada del número de muestras (s / \sqrt{n}) es conocida como el error estándar de la media ($s_{\bar{x}}$), la cual mide la desviación alrededor de la media muestral. Una medida útil de la variación de la muestra es el coeficiente de variación (CV). El cual es calculado como $CV = s / \bar{x}$ expresado en porcentaje.

Características de la distribución normal

La curva de distribución normal varía de población a población. La media determina la posición de una curva sobre el eje horizontal. La desviación estándar determina la cantidad de dispersión entre las observaciones.

La Figura 3.1 esquematiza la distribución normal en relación con la media, variancia y la desviación estándar de diferentes poblaciones. Observe que existen diferentes medias con igual desviación estándar, así como igual media con diferente desviación estándar.

Figura 3.1. Representación esquemática de la distribución normal y su relación con la media y las medidas de dispersión.



El área bajo la curva de distribución normal es 1. Para cualquier valor sobre el eje x corresponde una probabilidad de ocurrencia. Por ejemplo el rango de la $\mu \pm \sigma$ contiene el 68.27% de todas las observaciones de la población. Un intervalo de $\mu \pm 1.96\sigma$ contiene el 95% y $\mu \pm 2.58\sigma$ contiene el 99% de todas las observaciones en la población. Asuma que para la población [1] la

$\mu=10.5$ y $\sigma=1.5$. Si se toma una observación de esa población la probabilidad es del 95% de que el valor este entre $\mu \pm 1.96(1.5)$, o sea entre 7.56 y 13.44. En forma contraria, existe un 5% de que el valor de la observación obtenida al azar sea menor que 7.56 y mayor que 13.44.

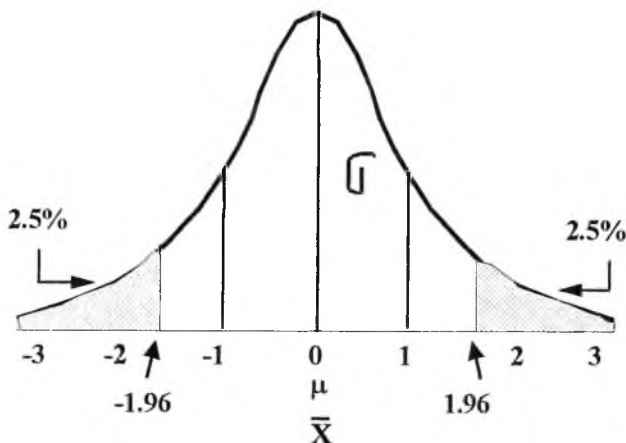


Figura 3.2. Curva de distribución normal y el área bajo la curva en relación a datos codificados.

Para determinar las probabilidades no es necesario construir la curva de frecuencia normal para cada muestra. Cambiando a probabilidades el eje Y , expresando la frecuencia de cada observación como fracción decimal del total de observaciones (N), y cambiando el eje de X de medidas reales a unidades de desviación estándar denominadas Z ,

se obtiene los valores codificados con base a : $Z = (x_i - \mu) / \sigma$. Cuando $\bar{x} = \mu$, $Z=0$ y cuando $x - \mu = \sigma$, $z=1$. Así, el eje de x de la curva normal se estandariza en términos de Z unidades con $\mu=0$ y $\sigma=1$.

Por lo tanto el área bajo la curva normal corresponde al porcentaje de la variable en la población que cae dentro de un rango específico de valores de X. El área total equivale a 1 y el área bajo la curva entre dos valores dados de Z es igual al porcentaje de la población dentro de los valores dados de Z. De esta manera, el rango de los valores desde la media más o menos una desviación estándar contiene 68.27% de todas las variables en la población. Un intervalo de $\mu \pm 1.96\sigma$ contiene 95% de las variables y $\mu \pm 2.58\sigma$ contiene el 99% (Figura 3.2). Los valores de Z se encuentran en la tabla de probabilidades de la curva normal, la que está incluida en los libros de estadística. En datos muestrales, con un menor número de observaciones se utiliza la tabla "t" o de "Student". La misma tiene una estrecha relación con "z".

Distribución normal de una muestra

El tipo de muestra que normalmente se trabaja en Sistemas Agropecuarios se obtiene desde una parcela, animal o grupo de animales bajo un determinado tratamiento. La media del tratamiento es igual a \bar{x} , obtenido en base a las repeticiones del tratamiento. La pregunta que surge es: ¿puede un solo valor de \bar{x} representar el valor verdadero de la μ de tratamiento?. La solución a este problema está en la estimación de los límites de confianza para el valor de \bar{x} .

Si fuera posible repetir el experimento varias veces se tiene varias medias de tratamiento: $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3, \dots, \bar{x}_m$, que tienden a una distribución normal. La media de ellas μ_x será igual a μ . De esta manera $\mu_x = \sum \bar{x}_m / m = \mu$. La desviación estándar de estas medias ($\sigma_{\bar{x}}$) es denominada error estándar de la media o error estándar: $\sigma_{\bar{x}} = \sqrt{[\sum (\bar{x}_m - \mu)^2] / m}$. Por lo tanto, si el tamaño de muestra se incrementa, la medida de dispersión ($\sigma_{\bar{x}}$) de ellas se reduce. La $\sigma_{\bar{x}}^2$ para las medias puede ser calculada como $\sigma_{\bar{x}}^2 = \sigma^2 / n$, donde n es el tamaño de muestra. De esta forma si se tiene un estimado de la variancia de la población (s^2) es posible obtener un estimado de la $s_{\bar{x}}^2 = s^2 / n$, donde n es el número de observaciones sobre cada media en la población de medias que se considere.

Si se tiene una serie de medias (m) es posible calcular $\sigma_{\bar{x}}^2$ por medio de: $\sigma_{\bar{x}}^2 = [\sum (\bar{x}_m - \mu)^2] / (m-1)$. Resolviendo $s_{\bar{x}}^2 = s^2 / n$, se tiene $s^2 = n s_{\bar{x}}^2$. Dado que n y $s_{\bar{x}}^2$ son conocidos es posible determinar s^2 . Las relaciones mencionadas son usadas ampliamente en el análisis de variancia. La diferencia de la estimación de μ y de σ^2 por medio de una muestra está en el número de observaciones que se tiene de la muestra. Por lo tanto su estimación es \bar{x} y $s_{\bar{x}}^2$ y depende del número de muestras, razón que en la mayoría de casos es necesario aumentar las repeticiones de un tratamiento a fin de tener una mejor estimación de μ . Los valores a reportar deben indicar siempre el número de observaciones con la \bar{x} y la $s_{\bar{x}}^2$.

La presente sección describe un ejemplo en forma resumida con relación a los principales parámetros poblacionales. Así mismo se presenta los conceptos de la regresión lineal, correlación y covariancia.

Media y variancia

Suponga que 10 vacas adultas en producción son tomadas al azar en la sierra ecuatoriana para medir dos de las posibles variables continuas y cuantificables: la producción de leche y la grasa expresada en porcentaje. Asuma y_i = la producción de leche de la i -ésima vaca, y w_i es el porcentaje de grasa de la i -ésima vaca. Los valores obtenidos son:

Número de Observaciones, vaca	Producción de leche kg.lactancia ⁻¹	Grasa %
1	2,500	3.5
2	4,780	3.2
3	3,500	4.1
4	5,300	3.6
5	6,700	3.8
6	5,300	3.0
7	4,500	3.1
8	3,390	4.1
9	2,250	3.9
10	2,350	3.5

Luego la suma de todas las observaciones referente a producción de leche (y) es:

$$y = \sum_{i=1}^{10} y_i = y_1 + \dots + y_{10} = 40,570$$

el promedio de la muestra es:

$$\bar{Y} = \Sigma y. / n = 4,057 \text{ kg.lactancia}^{-1}$$

la suma de cuadrados total es:

$$\sum_{i=1}^{10} y_i^2 = y_1^2 + \dots + y_{10}^2 = 184'745,500 \text{ kg}^2$$

La variancia siempre es mayor o igual a cero. Su rango es entre 0 a ∞ . Si es cero, luego todas las observaciones deben ser iguales. Es calculada mediante la siguiente ecuación:

$$V = \left[\sum_{i=1}^n y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n y \right)^2 / n \right] / (n - 1) = 2'239,223.3 \text{ kg}^2$$

La desviación estándar (σ) es igual a: $\sqrt{\sigma^2} = \sqrt{2'239,223.3 \text{ kg}^2} = 1,496.4 \text{ kg}$.

Con la información calculada en el ejemplo, si se asume una distribución normal ($\bar{X} = 4,057 \text{ kg}$ y $s = 1,496 \text{ kg}$), se podría esperar que los dos tercios de las vacas podrían estar entre $(4,057 - 1,496)$ a $(4,057 + 1,496)$ o entre 2,560 kg a 5,553 kg. En la muestra existen sólo 6 de 10 vacas que están

dentro de ese rango. Con una muestra de 90 o 180 vacas es de esperar que 60 y 120 vacas estén dentro del rango calculado. Es de mencionar que σ^2 es un estimado de la variancia de la producción de leche para la población de vacas de la sierra ecuatoriana ($\sigma^2 = n \sigma_x^2$). Desde que el estimado es a partir de 10 vacas, la precisión de este es cuestionada.

Covariancia

La covariancia es una medida de cómo varían dos variables juntas. Se representa por $\sigma_{x,y}$ o Cov. (x, y). Donde x e y son las variables. El rango es entre $-\infty$ a $+\infty$. Se calcula por medio de la ecuación:

$$Cov(x, y) = \left[\sum_{i=1}^n y_i w_i - \left(\sum_{i=1}^n y \sum_{i=1}^n w \right) / n \right] / (n - 1)$$

Siguiendo con el ejemplo de datos planteado anteriormente: y_i es la producción de leche (kg) y w_i es la grasa (%). La covariancia entre las dos variables es: -155.6 kg de leche por un punto de grasa producida.

Correlación

La correlación mide el grado de asociación entre dos variables. Es considerada como otra manera de observar cómo dos variables varían juntas. Su estimación es por la ecuación:

$$Correlación(y, w) = r_{x,y} = \sigma_{xy} / (\sigma_y \sigma_w)$$

El valor de la correlación es en el rango de -1 a +1. Si la correlación es cero luego la covariancia debe ser cero.

Con los datos del ejemplo el valor es de $r = -0.29$. Significa que ambas variables están asociadas en un 29% y al aumentar una la otra disminuye. Una correlación positiva significa que ambas aumentan a la vez. La mejor forma de observar la relación entre dos variables es construir un gráfico entre las dos variables. Si la correlación es cercana a 1 indica que existe una casi perfecta relación lineal entre ellas. En el ejemplo la correlación es baja. El valor de la correlación es generalmente más informativo que la covariancia y una correlación con una gráfica de las dos variables es de mayor uso (Figura 3.3). Sin embargo, antes de hacer una regresión debe observarse si las dos variables representan causa y efecto. Una correlación es correcta y lógica si es entre variables que expresan causa o efecto, pero no causa-efecto. En este caso la regresión es la más apropiada. El coeficiente de regresión lineal entre dos variables explica el grado de aumento de la variable dependiente (efecto) por una unidad de incremento en la variable independiente (causa).

Regresión

La regresión constituye un procedimiento estadístico para relacionar y medir el cambio de la variable dependiente Y por cada unidad de la variable independiente X. La ecuación de regresión lineal simple es la más fácil de obtener, sin embargo es considerada también como la de más difícil

de interpretación biológica, especialmente cuando no se considera los intervalos de confianza o rangos de análisis. Debido a que el procedimiento de obtención de coeficientes de regresión múltiple es un proceso similar para la solución de los modelos de diseños experimentales, se describe en esta sección la base del álgebra matricial para la regresión múltiple (Rawlings, 1988). Así mismo se presenta la notación matemática específica para la obtención de los coeficientes de la regresión lineal simple.

El modelo matemático

El modelo de regresión lineal aditivo para relacionar una variable dependiente a "P" variables independientes es:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_p X_{ip} + \varepsilon_i$$

El subíndice i denota la unidad observacional de la cual se obtienen las observaciones de Y y las P variables independientes. El segundo subíndice designa la variable independiente. Si se utiliza n para indicar el tamaño total de la muestra, $i = 1, 2, \dots, n$, y p para denotar el número de variables independientes consideradas, habrá $p + 1$ parámetros estimados como β_j , donde $j = 0, \dots, p$, cuando el modelo lineal incluye el intercepto β_0 .

El modelo lineal expresado en notación matricial define dos matrices y dos vectores:

Donde:

- Y = El vector en columna $n \times 1$ de las observaciones en la variable dependiente, Y_i
- X = La matriz $n \times p$; donde $p = p + 1$, que consiste en una columna de unos, seguido de p vectores en columnas de las variables independientes
- β = El vector $p \times 1$ de los parámetros a ser estimados
- ε = El vector $n \times 1$ de errores aleatorios

Con estas definiciones, el modelo lineal descrito arriba se puede escribir como:

$$\hat{Y} = X\beta + \varepsilon$$

Los vectores Y y ε son vectores aleatorios. Es decir, los elementos de los vectores son variables aleatorias. El modelo descrito en forma matricial es:

$$\begin{pmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ Y_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & X_{11} & X_{12} & X_{13} & X_{1p} \\ 1 & X_{21} & X_{22} & X_{23} & X_{2p} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 1 & X_{n1} & X_{n2} & X_{n3} & X_{np} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \beta_p \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \varepsilon_n \end{pmatrix}$$

(n x 1)
(n x p)
(p x 1)
(n x 1)

La matriz X es considerada como una matriz que describe las variables independientes. El vector β es un vector de constantes desconocidas a ser estimadas a partir de la información de la variable dependiente. El elemento β_i , es el coeficiente de regresión parcial que indica el cambio en la variable dependiente por unidad de cambio en la i ésima variable independiente, bajo el supuesto que todas las otras variables independientes se mantengan constantes. En general, el valor del coeficiente parcial de regresión es dependiente del grupo de variables independientes en el modelo.

El supuesto usual es que el error, ε_i , se expresa en términos del vector aleatorio ε . Se dice que ε tiene una distribución multivariada normal con un vector promedio 0 (de orden $n \times 1$) y una matriz de variancia-covariancia $I\sigma^2$. I es una matriz de identidad $n \times n$ y σ^2 es la variancia común de todos los ε_i .

Las ecuaciones normales y su solución

Las ecuaciones normales son:

$$X'X \beta = Y'Y$$

La solución a las ecuaciones normales, si ésta existe, es:

$$\hat{\beta} = (X'X)^{-1} X'Y$$

La multiplicación $X'X$ genera una matriz de orden $p \times p$, donde el primer elemento (1,1) es el número de observaciones, luego los elementos que siguen en la diagonal son la suma de cuadrados de cada una de las variables independientes y los elementos fuera de la diagonal son las sumas de productos entre las variables independientes. La forma general de $X'X$ es:

$$X'X = \begin{vmatrix} n & \sum X_1 & \sum X_2 & \dots & \sum X_p \\ \sum X_1 & \sum X_1^2 & \sum X_1 X_2 & \dots & \sum X_1 X_p \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sum X_p & \sum X_i X_1 & \sum X_n X_2 & \dots & \sum X_p^2 \end{vmatrix}$$

Si existe una sola variable independiente la matriz $X'X$ consiste sólo en la matriz 2×2 . Este es el caso de la regresión lineal simple.

Los elementos de la matriz, producto de $X'Y$ son las sumas de los productos de las variables independientes y las variables dependientes:

$$X'Y = \begin{vmatrix} \Sigma Y \\ \Sigma X_1 Y_2 \\ \vdots \\ \Sigma X_p Y_p \end{vmatrix}$$

El primer elemento, ΣY , es la suma de las observaciones que describen la variable dependiente; los demás elementos son la suma de productos entre la variable dependiente y la independiente.

La solución única de las ecuaciones normales es posible sólo si la inversa de $X'X$ existe. Esto, a su vez, requiere que la matriz X sea de rango completo y no singular, es decir que la determinante no sea cero. Así mismo no puede haber dependencias lineales entre las variables independientes. A continuación se presenta un ejemplo, en el cual se muestra el uso de la regresión mediante el álgebra de matrices. Los datos describen la variable dependiente (Y) como el rendimiento de materia seca de trébol blanco en $t.ha^{-1}.corte^{-1}$. La variable independiente (X) indica los niveles de Nitrógeno aplicados en $kg.ha^{-1}.año^{-1}$ (Grijalva, 1995):

Los valores expresados en forma matricial son:

$$X = \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 100 \\ 1 & 200 \\ 1 & 300 \\ 1 & 400 \end{vmatrix} \quad Y = \begin{vmatrix} 1.57 \\ 1.92 \\ 2.10 \\ 2.20 \\ 2.40 \end{vmatrix}$$

Donde el vector X contiene los valores de los niveles de fertilización (0, 100, 200, 300, 400) y el vector Y representa los rendimientos de materia seca ($t.ha^{-1}$), (1.57, 1.92, 2.10, 2.20, 2.40) respectivamente para cada nivel mencionado. El producto de $X'X$ y la de $X'Y$ son:

$$X'X = \begin{vmatrix} 5 & 1,000 \\ 1,000 & 300,000 \end{vmatrix}$$

$$X'Y = \begin{vmatrix} 10.19 \\ 2,232 \end{vmatrix}$$

La inversa de $X'X$:

$$(X'X)^{-1} = \begin{vmatrix} 0.6 & -0.002 \\ -0.002 & 0.00001 \end{vmatrix}$$

La solución se obtiene multiplicando la inversa de $X'X$ por $X'Y$. Los coeficientes de β_0 y β_1 se expresan en el siguiente vector:

$$\hat{\beta} = \begin{pmatrix} 1.65 \\ 0.002 \end{pmatrix}$$

Donde $\hat{\beta}$ incluye el valor calculado de los coeficientes de β_0 y β_1 . En este caso, 1.65 y 0.002. La interpretación biológica de los coeficientes es que β_0 indica que el rendimiento de materia seca del trébol sin fertilización es de 1.65 t.ha⁻¹.corte⁻¹ de materia seca. El coeficiente β_1 indica que por cada unidad de fertilizante el rendimiento de trébol en materia seca aumenta en 0.002 t.ha⁻¹.corte⁻¹ (Figura 3.3).

Generalmente, en muchos casos se puede encontrar programas de computadora que realizan los cálculos anteriores, tanto de manera matricial o utilizando ecuaciones estadísticas que son una simplificación del cálculo matricial. A continuación se presenta el mismo caso para observar la similitud del procedimiento.

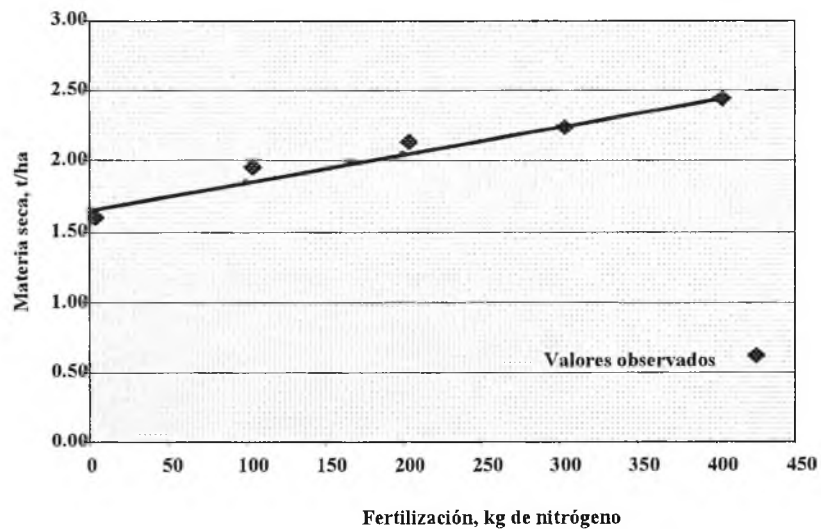


Figura 3.3. Regresión lineal entre niveles de fertilización nitrogenada y rendimiento de materia seca.

El modelo centrado de la regresión lineal es:

$$y = y_0 + \beta(x - \bar{x}) + \varepsilon$$

Donde:

- y = Variable dependiente
- x = Variable independiente
- \bar{x} = Promedio de x valores
- ε = Error
- y_0 = Promedio de y valores
- β = Coeficiente de regresión

El cálculo del coeficiente de regresión es dado por la ecuación:

$$\beta = \left[\left(\sum_{i=1}^n y_i x_i - \left(\sum_{i=1}^n y_i \right) \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) / n \right) / n \right] / \left[\left(\sum_{i=1}^n x_i - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 / n \right) / n \right]$$

La forma simplificada, previa corrección de la suma de cuadrados es $\beta = \Sigma xy / \Sigma x^2$ o también es posible calcularlo como: $\beta = \sigma_{xy} / \sigma_x^2$. En el ejemplo, asumiendo causa-efecto, $\beta = 0.002$ que indica que por cada unidad de fertilizante incrementa en 0.002 toneladas la producción de materia seca. El valor medio de la producción de materia seca corresponde a 2.04 t/ha de materia seca. El intercepto de la ecuación es de 1.65 t/ha de materia seca ($\beta_0 = y - \beta x$). Observe en la gráfica que los valores describen una regresión lineal adecuada. Sin embargo, el uso de la ecuación con niveles de fertilización mayores de 400 sería inadecuado debido a que a esos niveles los rendimientos podrían ser decrecientes. Por lo tanto, toda regresión lineal debe incluir los límites de confianza o el rango de X . En este caso se tiene $0 \leq X \leq 400$. Para tener una mayor precisión sería necesario experimentar niveles mayores de fertilización; sin embargo, el costo del insumo y el rendimiento a obtener condicionarían el llevar a cabo el mencionado experimento.

Experimentación y Validación

Terminología utilizada en la experimentación y análisis de Sistemas Agropecuarios

En esta sección se presenta la terminología y la descripción de los principales diseños experimentales utilizados durante la fase de experimentación en la metodología de sistemas. La información que se describe es resumida, con ciertos ejemplos, con el objeto de facilitar su comprensión. Además se orienta en el uso de algunos diseños más complejos. Los mismos pueden contribuir a proporcionar una mayor información así como ahorrar tiempo y costo experimental.

Experimento

Se refiere a una parte del proceso de investigación para explicar o comparar un fenómeno biológico mediante una hipótesis nula ($H_0: t_a = t_b = \dots t_n$) con su alterna ($H_a =$ al menos un tratamiento es diferente). Un experimento consta de al menos dos tratamientos.

Unidad experimental

Se refiere a la unidad mínima en la cual se aplica un tratamiento. Puede ser un animal, planta, grupo de ellos como hato o cultivo en general. La información que se obtenga en la unidad experimental constituye una variable, la cual es continua o discreta. Las variables continuas describen cualquier valor dentro de un rango (por ejemplo, producción de materia seca por unidad de área). Las variables discretas asumen un valor específico (por ejemplo, número de plantas enfermas en relación al total).

Arreglo de tratamientos

Los tratamientos de un experimento pueden ser replicados o repetidos. Los tratamientos son distribuidos en una unidad experimental (parcela, animal, etc.) al azar. Los mismos pueden ser organizados en bloques, con el objeto de controlar una fuente de variación existente en el lugar donde se establece el tratamiento. Por ejemplo, si el suelo tiene pendiente, los bloques están destinados a controlar esa fuente de variación; en forma similar, se puede considerar la edad de animales, si sólo hay dos grupos de edades. La información a obtener en una unidad experimental es única. Sin embargo, es posible obtener muestras y sub muestras, las que pueden ser consideradas como repeticiones. El único diseño que no tiene bloques, pero tiene repeticiones de los tratamientos es el diseño irrestrictamente al azar, en el que además se puede tener muestras y sub muestras. Este diseño solo se usa en condiciones controladas, caso de invernaderos, laboratorios, etc.

Cuando un bloque contiene el grupo total de tratamientos es considerado como bloque completo. Un bloque incompleto incluye a un grupo parcial (subgrupo) de tratamientos. Por lo tanto será necesario más de un bloque para constituir un bloque completo.

Observaciones

Una observación es el resultado al azar de la medición objetiva o subjetiva de la unidad experimental bajo estudio. Usualmente las medidas objetivas y observables tienen una distribución continua y describen la curva de distribución normal. La mayoría de textos e información estadística trata sobre el supuesto de que los elementos observados tienen una distribución normal multivariada. En la vida real se debe probar este supuesto, ya que en la práctica algunos eventos no están normalmente distribuidos. Las características medidas subjetivamente caen dentro de categorías y son conocidos como datos categóricos. La teoría sobre datos de distribución continua no se aplica a datos categóricos.

Factores y variables

Un factor se refiere a las variables continuas o discretas que pueden influir o estar relacionadas al valor observado. Si la información que afecta una observación es continua, se puede usar como covariable. Una variable discreta categoriza las clases o niveles dentro del cual se tienen las observaciones. Por lo tanto es posible observar las diferencias entre clases. Sobre un valor observado existen una serie de variables que tienen un especial interés para el investigador, otros son considerados como factores de interferencia. Estos no son de importancia pero afectan el

resultado del análisis, por lo que no deben ser ignorados u omitidos del modelo.

Factores fijos y al azar

La decisión de considerar un factor fijo o al azar es una decisión del investigador. No existe una regla fija para esta decisión, la cual puede basarse en la experiencia. Sin embargo, en forma general, los factores fijos son aquellos que están dentro de categorías fijas, posibles de observar y controlar en el análisis (ejemplo: sexo, número de lactación, variedades); no obstante se debe tener cuidado en definir factores fijos como las zonas, fincas y productores, entre otros. En el proceso de definición existen varias preguntas que necesitan ser contestadas antes de definir un factor como fijo o al azar:

- a) ¿Cuántos niveles del factor hay en el modelo?
- b) ¿Es el número de niveles tan grande que puede ser considerado infinito?
- c) ¿Podrían los mismos niveles ser considerados si el muestreo es repetido?
- d) ¿Existen interferencias por los niveles no considerados en el modelo?
- e) ¿Es el número de niveles de un factor considerados al azar?

Estas preguntas ayudan a definir si un factor es fijo o al azar. Sin embargo, la decisión es responsabilidad del investigador, quien debe tener los elementos de juicio para sustentar su decisión. Por lo tanto se recomienda un estudio de la información existente en la literatura científica, la cual será útil para la decisión apropiada al caso de experimentación.

Modelo matemático

La calidad de un análisis estadístico es evaluada por el modelo matemático que describe los datos que representan un evento biológico. Un modelo que describe perfectamente los datos es un modelo "verdadero"; sin embargo, un modelo verdadero no es conocido totalmente. Por lo tanto se describe un modelo "ideal", el cual es formulado lo más cerca al modelo verdadero, basado en el entendimiento de una situación biológica y el proceso estadístico a seguir. El modelo "ideal" debe ser usado en el análisis, pero es generalmente simplificado en un modelo "operacional" debido a la posible pérdida de información en el control de las posibles fuentes de variación o por limitaciones de cómputo. El modelo ideal debe ser delineado antes de definir el modelo operacional. De esta manera, los supuestos que se planteen permiten ir del modelo ideal al operacional y se puede evaluar la calidad del modelo que se plantee (France y Thornley, 1984).

Un modelo puede ser determinístico o probabilístico. Un modelo determinístico describe una relación funcional entre eventos sin error. Los modelos probabilísticos son encontrados con mayor frecuencia en biología y agricultura, pero no describen exactamente las relaciones entre eventos. Por ejemplo, el peso de una novilla puede ser estimada a partir de su edad, pero el peso depende de varios factores además de la edad. En este documento se presenta algunos modelos que describen funciones biológicas factibles de ser usadas en términos probabilísticos, en especial en los casos de

simulación. Así mismo, se presenta la información de modelos lineales, los que son de amplio uso en la estadística paramétrica, especialmente en lo referente a diseños experimentales. Para el uso de la estadística no paramétrica se recomienda revisar textos específicos.

Un modelo lineal está compuesto de tres partes: 1) la ecuación, 2) el valor esperado con las matrices de variancia-covariancia para las variables al azar y, 3) los supuestos, restricciones y limitaciones del modelo. Con la descripción de estas partes es posible hacer el análisis correspondiente y la prueba de hipótesis necesaria para interpretar los resultados. En este documento se describen modelos mixtos que incluyen factores fijos, a excepción de la media y del error, los cuales se asume que están normalmente distribuidos. El modelo básico es:

$$y = Zu + Xb + e$$

Donde:

- y = Vector de observaciones
- u = Vector de efectos al azar que influye sobre y
- b = Vector de factores fijos que influyen sobre y
- Z y X = Matrices de incidencia que describe las relaciones entre los elementos de b y u con y
- e = Vector de error residual asociado con el modelo

La ecuación descrita es un modelo que contiene factores fijos y al azar. Debido a que el vector e es un vector al azar y la mayoría de los modelos incluyen la media general, por lo tanto los modelos son técnicamente mixtos. Sin embargo, un modelo de efectos al azar es aquel en que $Xb = I\mu$. Así mismo, se considera un modelo fijo a aquellos en que el término Zu no aparece:

$$y = \mu + Xb + e$$

El valor esperado de μ y e es cero y de y es Xb . La variancia del error es $I\sigma_e^2$, descrita, en algunos casos como R y expresa la matriz de variancia y covariancia de y . A continuación se define los supuestos, tales como todo el experimento se siembra en una fecha, los cortes son uniformes a una altura o fecha determinada, etc. Un modelo no está completo si no se incluye las tres partes mencionadas. Normalmente en las publicaciones se excluye las dos últimas, sin embargo esto no excluye al investigador a no considerarlas como parte del diseño experimental. Los procedimientos de análisis pueden ser encontrados en textos de estadística. Sin embargo, el planteamiento del modelo es fundamental para describir el análisis a realizar, sea este manual o por medio de paquetes de estadística computarizados, los cuales simplifican y ayudan en el análisis pero no en la interpretación. Por lo tanto es necesario el conocimiento de los métodos de análisis estadístico.

En el análisis de la información, obtenida durante el proceso de caracterización, así como de diversos muestreos y experimentos orientados al planteamiento de las alternativas tecnológicas es necesario utilizar diversos métodos estadísticos. A continuación se presenta el modelo de regresión múltiple. Se plantea las ecuaciones básicas que lo describen a fin de mostrar la forma en que es considerada para su programación en programas computarizados.

Errores más comunes en el uso de la Estadística

Durante los últimos años la estadística ha sido utilizada extensivamente por investigadores agropecuarios. Sin embargo, es de mencionar que algunos conceptos y métodos han sufrido cambios, los cuales no han sido totalmente adoptados. Por ejemplo, actualmente se hace menos énfasis en la prueba de las diferencias. Así mismo se recomendaba utilizar parcelas grandes en el campo, ya que éstas tienden a una menor variancia. Ahora se recomienda el uso de parcelas pequeñas y compensar incrementando el número de repeticiones.

Actualmente, el uso de computadoras ha tenido efectos tanto positivos como negativos. En el lado positivo, se puede procesar datos en forma rápida, eficiente y a bajo costo con procesos cuya aplicación era difícil o imposible antes del uso de las computadoras. Sin embargo, la disponibilidad y uso de programas computarizados a personal con poco entrenamiento en estadística, tiende a incrementar el uso indebido de los procedimientos estadísticos.

Problemas en el planteamiento de experimentos

La ausencia de inclusión de consideraciones estadísticas

Las consideraciones estadísticas se deben incluir cuando el experimento está en su estado conceptual, debe ser después de tener una idea clara de qué investigar. La razón por la cual se deben incluir a tiempo los principios estadísticos es para asegurar la obtención de datos que garanticen la precisión que pueda dar evidencias sobre el problema a estudiar. Hay consideraciones sobre muestreo, sobre la población a la cual los resultados del experimento serán extrapolados, a las condiciones ambientales del material experimental, y de los tratamientos. Hay consideraciones sobre diseños experimentales tales como: qué utilizar?, qué tratamientos estudiar?, cuántas repeticiones se requieren?, y existen otras consideraciones prácticas relacionadas con la orientación, el tamaño y la forma de parcelas y bloques.

Incluir a un estadístico en un estado temprano en el planeamiento del experimento es útil para enfocar las preguntas específicas a ser contestadas y los métodos estadísticos relevantes para la estimación y/o pruebas de hipótesis. También se puede proveer asistencia en la selección de tratamientos, de tal modo que las comparaciones entre tratamientos se realicen con la mayor eficiencia en la etapa de análisis.

Uso inapropiado o inadecuado de un diseño experimental

El diseño más popular en investigación agropecuaria es el de bloques completamente aleatorizados. Es un diseño sencillo y es razonablemente eficiente, si los bloques han sido construidos apropiadamente. El segundo diseño más popular es el irrestrictamente al azar.

Existen muchas situaciones en las cuales se utiliza un arreglo de parcelas divididas, donde claramente un diseño de bloques completamente aleatorizados sería preferido. En el análisis de variancia en parcelas divididas donde sólo hay pocos niveles del factor en la parcela principal, o hay pocas repeticiones, el término de error de la parcela principal, se estima con poca precisión, y

no habrá una buena prueba del factor en la parcela principal. Un arreglo factorial de tratamientos, dentro del marco de un diseño de bloques completamente aleatorizados provee igual y adecuada precisión para todos los efectos, i.e., para ambos, efectos principales e interacciones.

Un diseño experimental apropiado puede ser destruido por confundir lo que constituye la unidad experimental; por ejemplo: la subdivisión de una parcela grande, a la cual se ha aplicado un tratamiento en subparcelas más pequeñas y considerarlas como repeticiones. Otro ejemplo común en experimentos de engorde es cuando un tratamiento (ejemplo: ración) se aplica en forma general, asumiendo que no existen condiciones para evaluar el consumo por animal y se toma el consumo del grupo. En este caso la unidad experimental es el grupo de animales y no cada animal. Esto debe ser considerado al hacer el análisis de los datos.

Otro problema común es la asignación de factores a la parcela principal y la subparcela en un arreglo de parcelas divididas. Existen dos criterios básicos para asignar factores a los diferentes tipos de parcelas. El primero es cuando existen diferencias naturales de tamaños de parcelas; por ejemplo: métodos de secado entre hornos de aire forzado, hornos de microondas y liofilización con el tiempo de secado de diferentes tipos de forrajes y sus interacciones con el tipo de secado. Las muestras de forraje deben ser secadas dentro de los aparatos por lo tanto, los aparatos para secar constituyen las parcelas principales y el tiempo deseado constituiría la subparcela. Un segundo caso es si todos los tamaños de parcela son iguales, pero se desea estimar un tipo de factor con mayor precisión que otro, el factor que constituye la subparcela sería el que se estima con mayor precisión.

Uso de procedimientos no apropiados de aleatorización

La aleatorización se utiliza para asegurar que se obtendrán estimados no sesgados de los efectos de los tratamientos y el error experimental. El error de no usar técnicas apropiadas de aleatorización puede causar que ciertos tratamientos sean favorecidos o desfavorecidos, debido a la posición donde se ubiquen en el área experimental y causar diferencias en los grados de precisión para las diferentes comparaciones. Los métodos apropiados son ampliamente discutidos, en cualquier texto de diseño experimental.

Es común que el concepto de aleatorización sólo se considere durante la asignación de los tratamientos a las unidades experimentales. Sin embargo, es importante que el investigador tenga cuidado en todas las fases del experimento para evitar la introducción de correlaciones entre las unidades experimentales o cualquier otra correlación, no tomada en consideración en el diseño experimental. Esto puede ocurrir, por ejemplo, si unidades experimentales de diferentes repeticiones se agrupan para aplicar un tratamiento.

Cuando los experimentos se conducen en series (localidades y/o años) es necesario realizar una aleatorización diferente para cada experimento. Esto reduce el sesgo que puede resultar de dos tratamientos adyacentes que interaccionan y se tiende a igualar la precisión de todas las comparaciones.

Experimentos de tamaños inadecuados

Es importante utilizar un número apropiado de repeticiones en un experimento para obtener variabilidad. Si el número de repeticiones es inferior al requerido, puede resultar en estimados muy imprecisos, mientras que el exceso de repeticiones puede ser costoso. El primer caso es el más común en los experimentos agropecuarios. Cochran y Cox (1957) proveen una excelente discusión sobre el tema y la forma cómo determinar el tamaño del experimento, dentro de la variabilidad existente y el nivel de inferencia deseado.

De igual importancia es muestrear las condiciones ambientales de las poblaciones objetivas. Esto se logra replicando los experimentos en diversas localidades, dentro del área geográfica de interés. Es muy poco probable que un experimento en una localidad y por un año, sea suficiente para hacer inferencia confiable a otras áreas diferentes.

Uso inapropiado de la técnica experimental

La precisión de un experimento depende, en gran medida, de la técnica experimental utilizada. Es frecuente encontrar confusión sobre el significado de bloques. En algunos casos se tiende a usar bloques sólo para proporcionar una repetición, no para controlar el error. Otros realizan experimentos sin tener suficiente familiaridad con el proceso experimental, lo que conduce a no usar la mejor técnica. Así mismo se tiende a no controlar la variación, no supervisar el proceso experimental, o no registrar eventos no normales que tienen lugar en el sitio experimental. Por lo tanto si estos eventos generan datos extraños no hay bases para explicar los resultados logrados. La precisión global puede incrementarse utilizando una técnica experimental uniforme en todos los experimentos. Para estandarizar una técnica experimental se recomienda:

- Aplicar los tratamientos uniformemente.
- Escribir los procedimientos para la conducción de las fases y el cronograma de tiempo correspondiente para su ejecución.
- Entrenar el personal que tendrá responsabilidad durante el proceso y análisis del experimento.
- Ejercer suficiente control sobre las influencias externas, de tal modo que todos los tratamientos produzcan sus efectos bajo condiciones comparables y controladas.
- Diseñar medidas no sesgadas de los efectos de los tratamientos.
- Prever errores involuntarios.

Problemas de experimentación en Sistemas Agropecuarios

La experimentación en Sistemas Agropecuarios representa la base de la investigación. La observación de fenómenos biológicos a nivel de finca deriva, generalmente, al planteamiento de una

hipótesis que conduce a un diseño experimental para su prueba, aceptación o rechazo. Es de mencionar que durante el proceso de experimentación se incluye la participación del productor, el cual juega un rol importante en el planteamiento de alternativas.

El correcto planteamiento del diseño experimental da la oportunidad de observar y medir las diferencias existentes entre dos o más tratamientos. Este esquema es realista, sin embargo, durante el proceso de experimentación se presentan una serie de dificultades que deben ser observadas y analizadas antes de colocar un experimento en una finca en particular. Los problemas que se presentan pueden agruparse en: físicos, biológicos, técnicos, productores, de planeamiento y diseño, y de conducción experimental.

Problemas físicos

En una región existen diferentes zonas agro-ecológicas que incluyen diferentes Sistemas Agropecuarios. Por ejemplo, los productores, en la zona andina del Ecuador, se dedican a los cultivos agrícolas nativos (papa, quinua, oca, melloco, habas, maíz, etc.), y a la ganadería (vacunos y ovinos). Las fincas en que se encuentran localizados los sistemas presentan las características siguientes:

- Pendientes inclinadas e irregulares. Una parcela puede tener una superficie irregular.
- Áreas con diferencias en la profundidad del suelo, en algunos casos con erosión eólica o por escorrentía.
- Presencia de zanjas como producto de la erosión o de protección de heladas.
- En algunos casos se observa la presencia de arbustos y árboles, que pueden influir con su sombra o competencia radicular con los cultivos.
- En algunas zonas existen áreas planas, las cuales presentan una cierta uniformidad en superficie, pero son angostas y con área limitada.

Ante las características mencionadas, la selección de áreas para establecer una parcela experimental no es fácil, aún cuando la superficie es plana o uniforme, el grado de erosión y la forma de manejo de la parcela puede afectar los resultados. Como consecuencia, los tamaños de bloques pueden ser reducidos, lo cual acorta el tamaño de parcela (tratamiento) y disminuye el grado de información que se desea obtener. Lo ideal es escoger aquellos productores que disponen de superficies más homogéneas. Sin embargo, esta decisión no se ajusta a la realidad. Por lo tanto la inclusión del tipo de terreno, como variable en el diseño experimental, debe ser contemplada. Sin embargo, debe considerarse que no existe una solución directa a las características mencionadas. El investigador debe observar las diferencias existentes y ser capaz de plantear soluciones a los problemas que enfrenta.

Es recomendable, antes de iniciar un experimento, observar el terreno y decidir la instalación de los bloques y parcelas experimentales. Las parcelas experimentales dentro de los bloques deben ser lo

más homogéneas y uniformes en profundidad de suelo y pendiente. En algunos casos es posible permitir una diferencia de tamaño de parcela dentro de bloque, pero el área destinada a obtener la información (eliminación de bordes) debe ser la misma. La ubicación de parcelas puede no estar contigua a otra, siempre y cuando se cumpla con el criterio de bloque.

Si la observación del terreno indica que varias de las fincas no pueden cumplir con los requisitos de bloque será necesario: a) revisar el número de tratamientos y determinar si pueden ser reducidos, caso contrario la partición de tratamientos (subgrupo "subset") podría ser lo indicado; b) separar las fincas donde se puede colocar los bloques completos con el tamaño deseado de parcelas, y c) considerar un diseño de bloque incompleto.

Biológicos

Los Sistemas Agropecuarios son complejos y presentan una amplia variedad de cultivos nativos y cultivados como monocultivo, asociados y/o intercalados en tiempo y espacio. En algunos cultivos el uso de fertilizante químico u orgánico está presente, en otros es casi nulo o inexistente. En forma similar existen áreas que son dejadas en descanso (barbecho) o áreas adyacentes que presentan diferentes cultivos a la del experimento que pueden diferir, además de suelo, pendiente y fertilidad, en calidad y cantidad de malezas. Así mismo, pueden estar no limitadas por cercos y tener animales en pastoreo. Ambos casos pueden afectar las parcelas experimentales.

En el reconocimiento del terreno, el productor debe ser consultado sobre el uso anterior, no sólo del lugar donde se planea poner el experimento, sino también de las zonas adyacentes. La respuesta a obtener dará las pautas a considerar en el establecimiento de las parcelas experimentales.

Técnicos

El establecimiento de parcelas en una estación experimental generalmente no presenta dificultades. Se prefiere bloques rectangulares o cuadrados con parcelas contiguas. En el caso de establecer experimentos en fincas, donde se presentan las características mencionadas anteriormente, se encuentra la dificultad, entre técnicos, con respecto a la idea mental del diseño experimental en la estación. Un diseño experimental puede no tener parcelas contiguas, tamaño o forma regular (extremos deben ser evitados). La condición básica es que el objetivo de bloque no debe ser comprometido y la información obtenida debe ser ajustada a una área estándar antes del análisis estadístico. El uso de un mapa del terreno con la disposición de cultivos ayuda a determinar el tamaño de bloque y parcelas dentro de él.

Productores

El productor es la clave de la investigación de Sistemas Agropecuarios. El debe estar consciente de los objetivos del experimento, debe conocer su responsabilidad y la contribución que de él se espera durante la conducción del experimento. Así mismo debe saber los posibles beneficios o la posibilidad del fracaso. En este caso, el investigador debe incluir un posible costo de compensación que disminuya la pérdida originada por el tratamiento no adecuado en comparación con el tradicional que el productor realiza. Este esquema, permite seguir trabajando con el productor en

otros experimentos. Los problemas más comunes que se presentan a nivel de productor son:

- Existe un rechazo, por razones de creencia, a usar un tratamiento en particular o a llevar a cabo ciertas operaciones propias de un cultivo que él no está "acostumbrado" a hacer.
- Hay conflictos entre las necesidades comerciales y domésticas en relación a la cantidad y tiempo de cosecha con la oportunidad de mercado y necesidades propias de la familia del productor (fines de venta, autoconsumo y semilla).
- Una excesiva ayuda, con buena intención, puede causar la pérdida o una mala interpretación de resultados.
- Un prematuro uso de la alternativa tecnológica (tratamiento) en relación al testigo; así como la preferencia a uno de los tratamientos, lo cual origina un desvío de los resultados a obtener.
- Abandono por parte del productor debido a desacuerdos con el exceso de prácticas a realizar en relación a su tiempo disponible o no observar ningún beneficio.

La mayoría de los problemas planteados pueden ser solucionados. En la metodología de sistemas es necesario determinar el diseño experimental con pocos tratamientos y se requiere planear la fase de experimentación, con la participación del productor y constante supervisión, de un grupo técnico en estrecha relación con el extensionista. Los extensionistas, al igual que el productor, deben ser incorporados desde el inicio del diseño experimental. El investigador debe planear constantes visitas a cada sitio experimental y en especial durante la recolección de la información. La fase de validación, previo análisis de la información y decisión sobre el uso de una alternativa tecnológica, requiere una mayor participación del productor y de los técnicos de campo, con un seguimiento por parte del investigador. La fase de adopción estará bajo la responsabilidad de técnicos que tienen mayor relación con los productores.

Planeamiento y diseño experimental

El planeamiento y diseño experimental es una fase interactiva entre investigador, técnicos de campo y productores. El escoger un diseño experimental depende del interés del investigador en relación a las necesidades de los productores. Existen varios puntos que se deben considerar en este problema:

- Número de tratamientos

Depende de la naturaleza del experimento vinculado a los factores y niveles involucrados en relación con las fuentes de variación a controlar. Un experimento que incluya dos factores con dos niveles en cada uno de ellos (factorial de 2^2) da cuatro combinaciones y es posible de plantear en el ámbito del productor. Factoriales más complejos (2^3) puede dificultar su instalación en fincas de productores. Una posible solución es separar a los productores en dos grupos: 1) ampliamente cooperadores y con superficie disponible y, 2) cooperadores con poca disponibilidad de tierra. En

experimentos sencillos se puede involucrar a los productores de ambos grupos. En experimentos relativamente complejos, que pueden presentarse en la fase de definición de alternativas, se puede considerar a los primeros conjuntamente con una área dentro de una estación experimental (a manera de asegurar la información). Otra alternativa es la de separar grupos de tratamientos (subset) y plantear un diseño de replicación fraccionada. En todo caso debe haber un compromiso entre el modelo estadístico ideal y el modelo operacional, es decir lo mejor posible y correcto que se puedan hacer dado los recursos disponibles.

- Número de fincas y bloques por finca

El número de fincas a ser involucradas en un experimento depende de los aspectos logísticos, como la homogeneidad o heterogeneidad agro-ecológica de las fincas. Dependiendo de la fase de experimentación se podrá incluir zonas. En este caso, en los diseños, se debe considerar como factor de análisis la interacción zona \times tratamiento. En fincas donde existe heterogeneidad es necesario considerar al menos dos bloques por finca, de esta manera se incrementa las réplicas de los tratamientos considerados para obtener una base más precisa de comparación. En todo experimento debe analizarse la comparación relativa entre dos diseños posibles considerando los grados de libertad del error necesarios para probar la hipótesis que se considere. Así mismo, en sitios donde el coeficiente de variación es alto será necesario considerar más bloques o repeticiones. El diseño básico para colocar un arreglo de tratamientos es el diseño de bloques completamente randomizados que incluye: fincas (f), bloques por finca (b) y tratamientos (t). Este diseño considera las siguientes fuentes de variación: Fincas (f-1); Bloque/Finca (f(b-1)); Tratamientos (t-1); Finca \times Tratamiento (f-1)(t-1); Error (por diferencia) y Total (fbt-1). En este diseño debe analizarse los grados de libertad del error al incluir más tratamientos teniendo constante el número de fincas y bloques dentro de finca. En forma similar es posible realizar las combinaciones necesarias para obtener un aceptable número de grados de libertad. En experimentos que se incluya zonas se debe analizar si los factores involucrados son fijos o al azar; si se decide que finca es al azar, se tendrá que analizar los cuadrados medios esperados a fin de hacer la correcta prueba de hipótesis.

- Tratamientos de control y tamaño de parcelas

Los tratamientos a considerar se deben relacionar con: a) el control del investigador, b) con la forma tradicional y típica con que los productores usan una práctica o cultivo. Un tratamiento puede ser irreal y causar problemas con otros, pero da la base de comparación que el investigador requiere. El tratamiento del productor requiere del conocimiento de la práctica del agricultor y sus variaciones; es, en la mayoría de los casos, el control del experimento. Así mismo los tratamientos varían con la forma individual que un productor tiene para producir; este aspecto tiene fines demostrativos a nivel de finca. Su inclusión aumenta variabilidad y se requiere calcular las variancias de los tratamientos individuales, lo cual puede dificultar el diseño. Si el número de tratamientos es grande y se dificulta encontrar área disponible, será necesario el reducir el número de tratamientos o realizar el experimento en una estación experimental para eliminar los no recomendables. Otra alternativa puede ser el uso de bloques incompletos o confundidos, lo cual reducen el tamaño de bloque, pero aumentan el número de ellos. La forma y tamaño de bloques pueden inducir cierta variación entre bloques, en todo caso se requiere de una estandarización de los

datos a una base común.

Conducción del experimento

Las personas a cargo del experimento, incluyendo al productor, deben conocer y tener la información necesaria al nivel de responsabilidad de cada uno de ellos. El seguimiento experimental debe ser continuo a fin de evitar errores con prácticas no consideradas en los tratamientos, especialmente durante las prácticas culturales y la colección de la información de campo. Una libreta, que resuma las actividades y problemas que surjan, ayuda en el análisis e interpretación de los resultados.

La obtención de la información, al nivel de fase de experimentación es de responsabilidad del investigador. El debe decidir, en lo posible, cuándo y cómo obtener la información con ayuda de los técnicos de campo y/o productores involucrados. La obtención de información es una actividad que demanda tiempo y dinero, por lo tanto se debe estructurar el tipo y calidad de información a obtener. La información puede agruparse en: 1) primaria: corresponde a la información necesaria para analizar y evaluar el experimento; 2) secundaria: es la información que contribuye a la interpretación de resultados; y 3) adicional: información de la secuencia del experimento en el tiempo.

Los tipos de información a obtenerse pueden ser programados durante la fase de diseño y al establecer el experimento. El uso de un banco de datos, previamente codificado para cada tratamiento contribuye al archivo y recuperación de la información en el momento necesario. Así mismo, en grupos de trabajo que están acumulando experiencia, el líder debe propiciar una simulación de la información a obtener. Este proceso generalmente no se realiza, pero de hacerse se podrá aprender y observar las dificultades de análisis estadístico así como la interpretación de los resultados. Al obtener la información real el proceso de análisis será rápido y eficiente.

Diseños estadísticos para la experimentación agropecuaria

Durante el proceso de investigación y experimentación se hace uso de diversos diseños experimentales. Sobre el particular, existen textos específicos (Cochran y Cox, 1957; Montgomery, 1984; Snedecor y Cochran, 1980; Steel *et. al.*, 1997; Quiroga, 1976) que describen en detalle los procedimientos, ventajas y desventajas de cada uno de ellos, por lo que se recomienda su revisión. Así mismo, se recomienda consultar a un especialista en estadística; el cual puede ayudar a definir la utilización correcta de un diseño específico a una situación particular. Sin embargo, en la práctica, se debe tener un conocimiento claro de los objetivos y de las restricciones que existen, a fin de plantear el análisis correcto y evitar confusión y dificultades en el análisis e interpretación de un diseño en particular. Con el objeto de ayudar en este aspecto se describe, en forma resumida, los principales diseños utilizados en el análisis de sistemas agropecuarios. En cada caso se presenta el modelo matemático que lo define, de tal forma que las fuentes de variación y los grados de libertad pueden ser calculados a partir del modelo.

Diseño irrestrictamente al azar

Su uso está reservado a situaciones en que todas las fuentes de variación están controladas (caso de situaciones de laboratorio o de invernadero), es decir donde las condiciones ambientales son relativamente homogéneas. También se utiliza en el campo en parcelas experimentales de observación preliminar manteniendo las características agro-ecológicas lo más similar.

Las ventajas de este diseño se basan en que es fácil de analizar, debido a que extrae únicamente del error experimental la variación debida a tratamientos. Permite el uso de un elevado número de tratamientos y de repeticiones. Sin embargo, presenta una desventaja relacionada con un número elevado de tratamientos cuando el ensayo se realiza en campo, ya que se afronta un problema de heterogeneidad causado por el ambiente. Por lo tanto, no se recomienda más de seis u ocho tratamientos en campo. Los grados de libertad del error experimental, son generalmente suficientes para garantizar la precisión del experimento, de hecho este tipo de diseño asegura un número máximo de grados de libertad para el error.

El modelo matemático de este diseño es:

$$y_{ij} = \mu + T_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

- y_{ij} = Observación del tratamiento i y de la repetición j
- μ = Media general
- T_i = Efecto del tratamiento i
- ε_{ij} = Error experimental del tratamiento i y de la repetición j

Las fuentes de variación de este diseño son las siguientes:

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F calculado
Tratamientos (a)	a - 1	SC _a	CM _a	CM _a /CM _e
Error experimental (e)	a (r - 1)	SC _e	CM _e	
Total (t)	ra - 1	SC _t		

r = Repeticiones

Diseño de bloques completamente al azar

En muchas situaciones, se conoce de antemano que algunas parcelas experimentales aunque lleven el mismo tratamiento tendrán un comportamiento diferente, como ocurre en campos experimentales con marcado desnivel o próximos a una fuente de agua; bajo estas condiciones 2 parcelas contiguas serán mucho más consistentes entre sí que 2 parcelas alejadas. Este diseño se usa donde las unidades experimentales pueden agruparse en bloques relativamente homogéneos, de tal modo que las diferencias observadas, entre unidades, sean primordialmente debidas a los tratamientos.

Las principales ventajas de este diseño son: fácil de analizar; extrae del error experimental la variación debida a los bloques, además de la variación debida a tratamientos.

Con relación a las desventajas, este diseño posee un menor número de grados de libertad para el error experimental, y si el número de tratamientos es muy elevado, por ejemplo 10, es difícil conseguir un buen agrupamiento de las parcelas experimentales. Por lo que se debe estructurar adecuadamente los tratamientos a fin de reducirlos adecuadamente para un mejor control de las fuentes de variación. Una restricción de este diseño es que cada bloque debe contener los tratamientos asignados al azar.

Este diseño es usado para la mayoría de los experimentos con arreglo factorial. El modelo se expresa como:

$$y_{ijk} = \mu + \beta_j + T_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

- y_{ij} = Observación del tratamiento i en el bloque j
- μ = Media general
- β_j = Efecto del bloque j
- T_i = Efecto del tratamiento i
- ε_{ij} = Error residual del tratamiento i y del bloque j

Las fuentes de variación de este diseño son las siguientes:

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F calculado
Bloques (b)	b - 1	SC _b	CM _b	CM _b /CM _e
Tratamientos (a)	a - 1	SC _a	CM _a	CM _a /CM _e
Error experimental (e)	(a - 1) (b - 1)	SC _e	CM _e	
Total (t)	ab - 1	SC _t		

Diseño de cuadrado latino

Este diseño se utiliza para conducir experimentos en condiciones heterogéneas donde las propiedades cambian en dos direcciones. Controla dos fuentes de variación expresadas como hilera y columna. Lo que permite extraer del error experimental la variación debido a tratamientos, hileras y columnas. Por ejemplo: en experimentos de alimentación animal, donde un grupo o animal recibe los mismos tratamientos en períodos diferentes.

La desventaja tiene relación con la pérdida de grados de libertad en el error experimental, sacrificando su precisión, y con el número limitado de tratamientos, ya que el número de hileras y columnas deben ser iguales a los de los tratamientos, propiciando un diseño que resulta difícil de manejar.

El modelo se expresa como:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + T_k + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

- y_{ijk} = Observación del tratamiento k en la columna j y la hilera i
- μ = Media general
- α_i = Efecto de la hilera i
- β_j = Efecto de la columna j
- T_k = Efecto del tratamiento k
- ε_{ijk} = Error residual del tratamiento k en la hilera i y la columna j

Este modelo es la base para el diseño de reversión o "cross over".

Las fuentes de variación de este diseño son las siguientes:

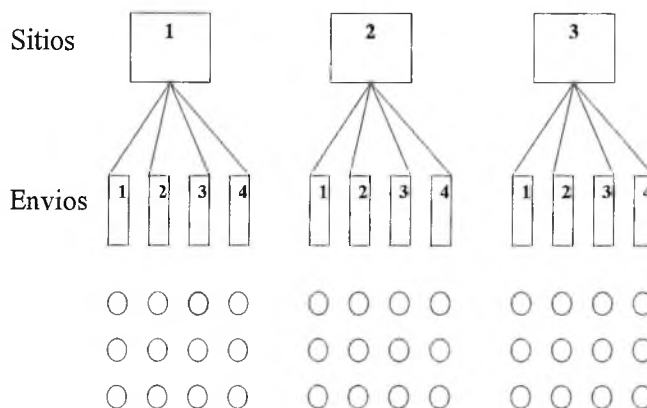
Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F calculado
Hileras (h)	$h - 1$	SC_h	CM_h	CM_h/CM_e
Columnas (c)	$c - 1$	SC_c	CM_c	CM_c/CM_e
Tratamientos (a)	$a - 1$	SC_a	CM_a	CM_a/CM_e
Error experimental (e)	$(h - 1)(c - 1)$	SC_e	CM_e	
Total (t)	$hc - 1$	SC_t		

Modelos jerárquicos o anidados

En ciertos experimentos o información recopilada de diferentes sitios o campos (vía encuestas o experimentos específicos) se encuentra que un factor, por ejemplo B, es similar pero no idéntico para los niveles de un factor A. En estos casos, el arreglo matemático es llamado anidado o jerárquico; es decir los niveles del factor B están dentro (anidados) de los niveles de A. Por ejemplo, un nutricionista recibe de tres sitios diferentes un ingrediente del concentrado que él prepara. Se recibe cuatro envíos diferentes de cada sitio y se realiza tres análisis de cada envío. El esquema de este arreglo es descrito en las Figura 3.4.

Figura 3.4. Representación esquemática de un arreglo anidado con posibilidad de interacción.

El ejemplo descrito corresponde a un arreglo anidado de dos etapas. Los envíos están anidados en sitios. Si uno pregunta por qué envíos y sitios no son cruzados (interacción), la respuesta es que si fueran cruzados el envío uno se referiría siempre al envío



uno. Este no es el caso, ya que cada envío es único para cada sitio. Es decir el envío uno del sitio uno no tiene conexión con el envío uno de los otros sitios y así sucesivamente. Este aspecto se visualiza con mayor claridad (Figura 3.5) si se reenumera los envíos y se observa que se puede numerar desde el uno hasta el doce en forma consecutiva; por lo tanto el arreglo es anidado y no hay interacción:

Figura 3.5. Representación gráfica de un arreglo anidado sin interacciones.

El modelo matemático en el caso anidado es:

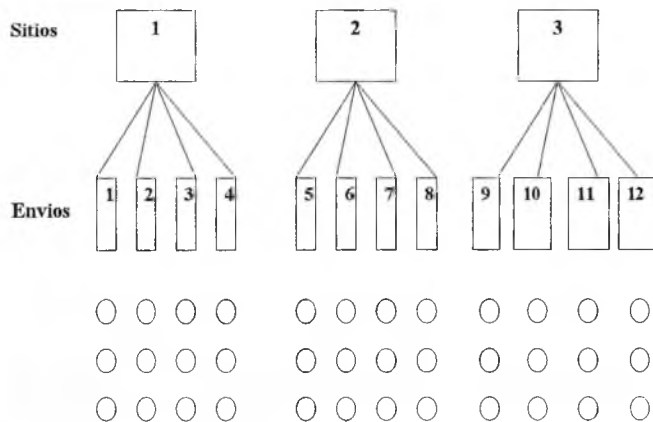
$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_{ij} + \varepsilon_{(ij)k}$$

Donde:

$i = 1, 2, \dots, a$; en el ejemplo corresponde a tres sitios.

$j = 1, 2, \dots, b$; corresponde a cuatro envíos en el ejemplo.

$k = 1, 2, \dots, n$; número de determinaciones, tres por envío.



Si todas las observaciones están completas en el modelo, es decir que exista igual número de niveles de B dentro de cada nivel de A con igual número de observaciones, el modelo es balanceado. En este caso existe $abn-1$ grados de libertad para el total; $i-1$ para sitios y $i(j-1)$ para envíos dentro de sitios. El error tiene $ij(k-1)$ grados de libertad.

La prueba estadística apropiada para sitio (A) y envíos (B) depende si son fijos o al azar. Si son fijos la prueba es para $H_0: \alpha_i=0$ el CM_A/CM_ε y para $H_0: \beta_{j(i)}=0$ el $CM_{B(A)}/CM_\varepsilon$. Si A es fijo y B es al azar luego la prueba de A, $H_0: \alpha_i=0$ se usa el $CM_A/CM_{B(A)}$ y para $H_0: \beta_{j(i)}=0$ el $CM_{B(A)}/CM_\varepsilon$. Si ambos fueran al azar, la prueba de A, $H_0: \alpha_i=0$ es el $CM_A/CM_{B(A)}$ y para $H_0: \beta_{j(i)}=0$ el $CM_{B(A)}/CM_\varepsilon$. En todo caso es necesario determinar qué factor es fijo y cuál al azar para tener un correcto análisis; así mismo es recomendable el determinar el cuadrado medio esperado (CME) en cada nivel siguiendo reglas específicas (Montgomery, 1984).

Diseño de tratamientos

Factoriales

Arreglos factoriales son ampliamente usados en aquellos experimentos que incluyen varios factores y es necesario estudiar el efecto conjunto de ellos sobre una respuesta. En forma general se expresa como n^k donde n es el número de niveles y k el número de factores. Así se tiene un factorial de la serie 2^k , el cual es un arreglo de k factores, cada uno con dos niveles. El modelo estadístico para un arreglo 2^k puede incluir efectos principales; combinación de k tomados dos a la vez de factores con 2 interacciones; combinación de k tomados tres factores con tres interacciones, y un k -factores de interacción. En total el modelo puede incluir 2^k-1 efectos. La notación presentada anteriormente es posible usarla en el arreglo de factoriales.

Por la naturaleza de los tratamientos, los factoriales pueden ser combinaciones cualitativas como variedades por insecticidas; pueden ser mixtas como variedades por niveles de Potasio; y pueden ser totalmente cuantitativos como niveles de Fósforo por niveles de Potasio. En una forma simplificada se puede mencionar que los insumos reciben el nombre genérico de factores, y niveles la sub-clasificación de cada uno de los factores. No se trata pues de un nuevo diseño de experimentos, es simplemente un arreglo de tratamientos por factores y niveles que pueden ser planteados con los mismos diseños que se definieron con anterioridad.

El arreglo más simple de 2^2 , implica el uso de 2 factores con 2 niveles en cada factor, sean estos A y B que tienen dos niveles para cada uno (a_0, a_1, b_0, b_1), los que en combinaciones dan cuatro tratamientos: $a_0b_0, a_0b_1, a_1b_0, a_1b_1$. Estos 4 tratamientos constituyen el arreglo factorial de tratamientos para un experimento a realizar con cualquiera de los diseños experimentales. El modelo estadístico para el caso de dos factores es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_j + \alpha_i + T_k + (\alpha.T)_{ik} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

- Y_{ij} = Observación del tratamiento i en el bloque j
- μ = Media general
- β_j = Efecto del bloque j
- α_i = Efecto del factor i hasta n niveles
- T_k = Efecto del factor k hasta n niveles
- $(\alpha.T)_{ik}$ = Efecto de la interacción del factor i y del factor k
- ε_{ijk} = Error residual del factor i , factor k y del bloque j

Las fuentes de variación de este arreglo, en base al modelo anterior, son las siguientes:

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F calculado*
Bloques (r)	$r - 1$	SC_r	CM_r	CM_r/CM_e
Factor a	$a - 1$	SC_a	CM_a	CM_a/CM_e
Factor b	$b - 1$	SC_b	CM_b	CM_b/CM_e
a x b	$(a - 1)(b - 1)$	SC_{ab}	CM_{ab}	CM_{ab}/CM_e
Error experimental (e)	$(ab - 1)(r - 1)$	SC_e	CM_e	
Total (t)	$rab - 1$	SC_t		

* Puede variar según el diseño experimental y definición de factores (fijos y azar).

Parcelas divididas

Es un arreglo factorial de tratamientos, y se caracteriza por que los factores están medidos con diferente grado de precisión; el tamaño de parcela es también diferente para cada uno de los factores; y, tiene diferentes errores experimentales.

La asignación del tamaño de parcela a los factores se hace en función de la precisión; así por

ejemplo, si el Nitrógeno tiene mayor importancia con relación a variedades, la mayor precisión se asignará al factor Nitrógeno (mayor número de observaciones), es decir, los niveles de Nitrógeno constituyen las parcelas pequeñas y las variedades las parcelas grandes. La mayor precisión se consigue sacrificando precisión en el otro factor. El modelo estadístico es función del diseño experimental que se aplique. La partición de la variabilidad se realiza en función del modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} + T_k + (\alpha.T)_{ik} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

- Y_{ij} = Observación del tratamiento i en el bloque j
- μ = Media general
- α_i = Efecto del factor i
- β_j = Efecto del bloque j
- ε_{ij} = Error residual del factor i y del bloque j
- T_k = Efecto del factor k
- $(\alpha.T)_{ik}$ = Efecto de la interacción del factor i y del factor k
- ε_{ijk} = Error residual del factor i , factor k y del bloque j

Las fuentes de variación de este arreglo experimental, son las siguientes:

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F calculado
Bloques (r)	r - 1	SC _r	CM _r	CM _r /CM _{ea}
Factor a	a - 1	SC _a	CM _a	CM _a /CM _{ea}
Error experimental (ea)	(r - 1) (a - 1)	SC _{ea}	CM _{ea}	
Factor b	b - 1	SC _b	CM _b	CM _b /CM _{eb}
a x b	(a - 1) (b - 1)	SC _{ab}	CM _{ab}	CM _{ab} /CM _{eb}
Error experimental (eb)	a (r - 1) (b - 1)	SC _{eb}	CM _{eb}	
Total (t)	rab - 1	SC _t		

Consideraciones en el uso de diseños experimentales

Durante el proceso de experimentación es necesario considerar aspectos relevantes en relación con los recursos disponibles y el modelo ideal. Entre los aspectos más importantes se tiene:

Tamaño de parcela

La primera interrogante planteada es ¿existe algún efecto del tamaño de la parcela sobre los rendimientos, expresados en kg.ha⁻¹? Para dar respuesta a esta pregunta, se utiliza la variancia del rendimiento, en función del tamaño de parcela para determinar un índice de heterogeneidad del suelo. Con este índice, y la relación de costos fijos y costos variables asociados con el cultivo se puede determinar el tamaño de parcela óptimo o más eficiente. Luego se estima el costo de usar tamaños de parcela diferentes al tamaño óptimo (Smith, 1938).

En forma general el tamaño de parcela debe considerar el error de extrapolar información desde una parcela pequeña a una grande. Generalmente se tiene experimentos en parcelas pequeñas por restricciones económicas, número de tratamientos, diseño a utilizar y área disponible. Esto afecta la decisión del tamaño de parcela. En el caso que sea menor a 10 m² se recomienda expresar el resultado en 10 m², lo cual equivale a t.ha⁻¹. Así, se proporciona la información con la observación de que el resultado proviene de una parcela experimental con tamaño reducido.

Experimentos replicados en el espacio

El diseño y la ejecución de pruebas de campo se pueden realizar tanto en el ámbito de estación experimental como en el campo del productor. Por considerar que las pruebas, en el ámbito de estación experimental son ampliamente conocidas, nos limitaremos a describir experimentos en el ámbito del campo de productores. Cuando se realizan pruebas o se obtiene información en diferentes localidades, generalmente en campos de productores, se plantea el siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} + T_k + (\alpha.T)_{ik} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

- Y_{ijk} = Observación del tratamiento i en el bloque j
- μ = Media general
- α_i = Efecto de la localidad i
- β_j = Efecto del bloque j
- ε_{ij} = Error residual de la localidad i y del bloque j
- T_k = Efecto del tratamiento k
- $(\alpha.T)_{ik}$ = Efecto de la interacción de la localidad i y del tratamiento k
- ε_{ijk} = Error residual de la localidad i , tratamiento k y del bloque j

Las fuentes de variación de este arreglo experimental son las siguientes:

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F calculado
Localidades (l)	l - 1	SC _l	CM _l	CM _l /CM _{el}
Error experimental (el)	l (r - 1)	SC _{el}	CM _{el}	
Tratamientos (a)	a - 1	SC _a	CM _a	CM _a /CM _{eb}
l x a	(l-1) (a-1)	SC _{la}	CM _{la}	CM _{la} /CM _{eb}
Error experimental (eb)	l (b-1) (a-1)	SC _{eb}	CM _{eb}	
Total (t)	lba - 1	SC _t		

r = repeticiones

Experimentos replicados en el tiempo

En experimentos con cultivos semipermanentes o permanentes, como en el caso de los forrajes, se llevan registros con intervalos regulares; por ejemplo, cortes cada 15 días o cada 30 días, etc. Aunque el diseño original es bloques irrestrictamente al azar se interpreta como parcela dividida en

el tiempo. El modelo estadístico es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_j + T_k + \varepsilon_{ij} + \alpha_i + (T.\alpha)_{ki} + (\beta.\alpha)_{jk} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

- Y_{ijk} = Observación del tratamiento i en el bloque j
- μ = Media general
- β_j = Efecto del bloque j
- T_k = Efecto del tratamiento k
- ε_{ij} = Error residual del bloque j y el tratamiento k
- α_i = Efecto de la época i
- $(T.\alpha)_{ki}$ = Efecto de la interacción del tratamiento k y la época i
- $(\beta.\alpha)_{ji}$ = Efecto de la interacción del bloque j y de la época i
- ε_{ijk} = Error residual de la época i , tratamiento k y del bloque j

Las fuentes de variación de este arreglo experimental son las siguientes:

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F calculado
Bloques (b)	b - 1	SC _b	CM _b	CM _b /CM _{ea}
Tratamientos (a)	a - 1	SC _a	CM _a	CM _a /CM _{ea}
Error experimental (ea)	(b - 1) (a - 1)	SC _{ea}	CM _{ea}	
Épocas (e)	e - 1	SC _e	CM _e	CM _e /CM _{eb}
a x e	(a - 1) (e - 1)	SC _{ae}	CM _{ae}	CM _{ae} /CM _{eb}
b x e	(b - 1) (e - 1)	SC _{be}	CM _{be}	CM _{be} /CM _{eb}
Error experimental (eb)	(b - 1) (a - 1) (e - 1)	SC _{eb}	CM _{eb}	
Total (t)	bae - 1	SC _t		

Análisis de información no paramétrica

Generalmente existen situaciones de observaciones clasificadas con dos criterios y no se cumplen los supuestos necesarios para el análisis paramétrico, o en algunos casos la escala de medición no es muy apropiada para un análisis paramétrico. En estos casos es posible usar la prueba de Friedman (Conover, 1999). Esta prueba se basa en el análisis de observaciones relacionadas por medio de una prueba de "F". El procedimiento se plantea sobre la hipótesis nula de que las muestras han sido extraídas de poblaciones idénticas o los tratamientos tienen efectos idénticos. La hipótesis alternativa es que las muestras no han sido extraídas de poblaciones idénticas o los tratamientos no tienen efectos idénticos.

Para la prueba se ordena la información en una tabla de dos clasificaciones de k condiciones y b individuos. Así se tiene:

- k = número de condiciones o tratamientos
- b = números de individuos

Esto permite, previo arreglo de los puntajes de cada individuo, determinar la suma de los rangos para cada condición o tratamiento.

$$R_i = \sum_{j=i}^b R_{ij}$$

Al tener dos comparaciones se calcula una relación de variancias (prueba de F). El procedimiento implica calcular los valores intermedios de un cálculo de varianzas. Este paso se denomina como el cálculo de A y B considerando el siguiente procedimiento:

$$A = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^b [R_{ij}]^2 \quad B = \frac{1}{b} \sum_{i=1}^k R_i^2$$

Con los valores establecidos se procede al cálculo de F calculado:

$$F_c = \frac{b-1 \left[B_2 - \frac{bk(k+1)^2}{4} \right]}{A-B}$$

El F tabular está dado por $F_{(1-\alpha); (k-1); (b-1)(k-1)}$. Si el valor de $F_c \leq F_t$ se acepta la hipótesis nula. En caso contrario $F_c > F_t$ se rechaza la hipótesis nula.

Con la información obtenida se establece si existe diferencia significativa. De existir diferencias se puede proceder a realizar las pruebas de comparación múltiple para calcular las diferencias entre las condiciones o tratamientos. Para este paso se obtiene la suma de los rangos de cada grupo de condición que se desea comparar (solo de dos en dos). La diferencia de ellos en valor absoluto se compara con el valor de F calculado mediante el siguiente cálculo:

$$F_c = t_{1-\alpha; (b-1)(k-1)} \sqrt{\frac{2b(A-B)}{(b-1)(k-1)}}$$

Si $|R_i - R_j| > F$ se rechaza la hipótesis nula. Para fines prácticos se plantea un ejemplo con la información de campo sobre la respuesta cualitativa de productores sobre cuatro alternativas tecnológicas en una escala de 1 a 10. En el Cuadro 3.1 se resume la información obtenida.

Cuadro 3.1. Información recopilada sobre la evaluación cualitativa de cuatro variedades de papa por productores de la provincia del Carchi.

Productores (b)	Variedades de papa (k)							
	Superchola		Roja		I-Gabriela		I-Fripapa99	
	Valor	Escala	Valor	Escala	Valor	Escala	Valor	Escala
1	7	3	2	1	9	4	3	2
2	8	3	1	1	9	4	2	2
3	9	4	1	1	8	3	2	2
4	9	4	1	1	7	3	2	2
5	8	4	3	2	6	3	1	1
6	8	3	2	1	9	4	3	2
R_i		21		7		21		11

La hipótesis nula es que las alternativas tecnológicas son iguales; la alternativa es que al menos una es diferente.

Los valores de b = 6 y k = 4.

Los valores de R_i corresponden a: R₁ = 21; R₂ = 7; R₃ = 21; R₄ = 11.

Los valores de A y B son calculados de la siguiente manera:

$$A = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^6 [(3^2) + (3^2) + (4^2) + (4^2) + (4^2) + \dots + (1^2) + (2^2)] = 180$$

$$B = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^k [(21^2) + (7^2) + (21^2) + (11^2)] = 175.33$$

El valor de F calculado se obtiene con:

$$F_c = \frac{6 - 1 \left[175.33 - \frac{(6)(4)(4+1)^2}{4} \right]}{180 - 175.33} = 27.141$$

El valor de F en la tabla corresponde a F_(0.95, 3, 16) = 3.29; al ser F_c > F tabla (27.141 > 3.29), se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alternativa. Es decir existe al menos una alternativa tecnológica diferente. Las pruebas de comparaciones múltiples se basan en el cálculo del comparador:

$$F = t_{(0.975, 15)} \sqrt{\frac{2(6)(180 - 175.33)}{(6-1)(4-1)}} \quad F = 2.131 \sqrt{3.7336} = 4.12$$

Los criterios de decisión se establece si $|R_i - R_j| > F$ se rechaza la hipótesis nula ($\mu_a = \mu_b$) y se acepta la alternativa ($\mu_a \neq \mu_b$). En el Cuadro 3.2 se presenta las comparaciones múltiples entre las variedades evaluadas por diferentes productores.

Cuadro 3.2. Comparación múltiple entre variedades de papa evaluadas cualitativamente por un grupo de productores en la provincia del Carchi.

Comparación	Valores	Diferencia absoluta	Significancia (F=4.12)	Conclusión y/o comentario Comparación de variedades
R ₁ - R ₂	21-7	14	*	Superchola y Roja son diferentes
R ₁ - R ₃	21-21	0	ns	Superchola y I-Gabriela son iguales
R ₁ - R ₄	21-11	10	*	Superchola y I-Fripapa99 son diferentes
R ₂ - R ₃	7-21	14	*	Roja y I-Gabriela son diferentes
R ₂ - R ₄	7-11	4	ns	Roja y I-Fripapa99 son iguales
R ₃ - R ₄	21-11	10	*	I-Gabriela y I-Fripapa99 son diferentes

Esta prueba solo mide el grado de igualdad en forma cualitativa. Para una evaluación cuantitativa se debe medir los resultados de cada alternativa tecnológica (variedad) en producción (t.ha⁻¹).

En forma similar, esta prueba permite también analizar información cualitativa de prueba de productos (queso, jaleas, etc.). En el caso de una evaluación de este tipo debe considerarse que generalmente un mismo individuo solo puede detectar diferencia hasta de 3 productos por prueba. En este caso es posible utilizar la prueba de Durbin.

La prueba de Durbin (Conover, 1999) se utiliza cuando los datos están arreglados en un diseño de bloques incompletos. En el cual los bloques son mutuamente independientes con la posibilidad de que los valores puedan ser arreglados en orden creciente de acuerdo al criterio de interés (valores de empate entre condiciones pueden ser considerados, pero debe evitarse en lo posible).

En esta prueba el planteamiento de las hipótesis es la misma que la descrita anteriormente. En forma similar los valores deben de ser ordenados en forma creciente, considerando el menor valor como 1. Al ser asignado hasta tres o cuatro tratamientos de seis o más el valor máximo será 3 o 4.

La prueba implica un arreglo de la información considerando:

- t = número de tratamientos a considerar
- k = número de tratamientos a considerar por individuo (k < t)
- b = número total de individuos (considerados como bloques)
- r = número de veces en que cada tratamiento aparece (r < b)
- λ = número de individuos en el cual el i-ésimo tratamiento y el j-ésimo tratamiento aparecen juntos (λ es el mismo para todos los pares de tratamientos), λ = r(k-1) / (t-1).

Además, debe cumplirse que kb = rt.

El comparador estadístico se calcula como:

$$\chi_c^2 = \frac{12(t-1)}{rt(k-1)(k+1)} \sum_{i=1}^t R_i^2 - 3 \frac{r(t-1)(k+1)}{k+1}$$

El valor comparado se calcula como $\chi^2_{(1-\alpha, t-1)}$.

El criterio de decisión se basa en que si el comparador es mayor que el comparado se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alternante.

Al existir una diferencia significativa se puede realizar las pruebas de comparaciones múltiples considerando el valor absoluto de la diferencia entre dos tratamientos. El valor comparador se calcula mediante:

$$D = t_{(1-\alpha/2, bk-t-b+1)} \sqrt{\frac{r(k+1)(k-1)[bk(t-1) - t\chi_c^2]}{6(t-1)(bk-t-b+1)}}$$

Si la diferencia absoluta es mayor que el comparador se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alternante.

A continuación se plantea una prueba de cinco variedades de papa (para observar si existen diferencias entre ellas en cuanto a su textura y sabor). Se utilizó 10 productores y cada uno probó solo tres variedades. La calificación se evaluó sobre la base del 1 al 10. Los resultados obtenidos y recodificados se presentan en el Cuadro 3.3.

Cuadro 3.3. Información de la evaluación de cinco variedades de papa por productores de la zona del Carchi.

Productores	Variedades									
	Superchola		I-Fripapa99		Roja		I-Gabriela		I-Esperanza	
	Valor	Escala	Valor	Escala	Valor	Escala	Valor	Escala	Valor	Escala
1	5	3	4	2			3	1		
2	6	3			1	1.5			1	1.5
3			4	2			10	3	1	1
4	10	3	6	2	1	1				
5					1	1	5	3	3	2
6	10	3			1	1	6	2		
7	7	2					10	3	2	1
8			5	2	2	1	9	3		
9	10	3	7	2					2	1
10			10	3	1	1			3	2
Valores de R		17		13		6.5		15		8.5

t = 5; k = 3; b = 10; r = 6; λ = 3

El comparador se calcula como:

$$\chi_c^2 = \frac{12(5-1)}{(6)(5)(3-1)(3+1)} [(17^2 + 13^2 + 6.5^2 + 15^2 + 8.5^2)] - 3 \frac{6(5-1)(3-1)}{(3-1)} = 15.5$$

El valor comparado es $\chi_{0.90,4}^2 = 7.78$. Al compararlos $15.5 > 7.78$, por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternante que al menos una variedad es diferente.

La prueba de comparación múltiple se basa en la estimación del comparador:

$$D = t_{(0.95,16gf)} \sqrt{\frac{6(3+1)(3-1)[(10)(3)(5-1) - (5)(15.5)]}{6(5-1)((10)(3) - 5 - 10 + 1)}}$$

$$D = 1.75 \sqrt{5.31} = 4.02$$

En el Cuadro 3.4 se presenta en forma resumida los criterios de decisión en cada comparación múltiple.

Cuadro 3.4. Comparación múltiple entre cinco variedades de papa evaluadas por un grupo de productores de la provincia del Carchi.

Comparación	Valores	Diferencia absoluta	Significancia D=4.02	Conclusión y/o comentario Comparación variedades
Superchola-I-Fripapa99	15-17	2.0	ns	Son iguales
Superchola-Roja	15-8.5	6.5	*	Son diferentes
Superchola-I-Gabriela	15-13	2.0	ns	Son iguales
Superchola-I-Esperanza	15-6.5	8.5	*	Son diferentes
I-Fripapa99-Roja	17-8.5	8.5	*	Son diferentes
I-Fripapa99-I-Gabriela	17-13	4.0	ns	Son iguales
I-Fripapa99-I-Esperanza	17-6.5	10.5	*	Son diferentes
Roja-I-Gabriela	8.5-13	4.5	*	Son diferentes
Roja-I-Esperanza	8.5-6.5	2.0	ns	Son iguales
I-Gabriela-I-Esperanza	13-6.5	6.5	*	Son diferentes

La prueba también puede ser realizada mediante un análisis de varianza con base a los valores originales. Esta prueba compara información cualitativa propia de un estudio no paramétrico. Para mayor detalles de pruebas no paramétricas se recomienda al lector consultar libros especializados en esa rama de la estadística.

CAPITULO IV

ANÁLISIS DE LA INFORMACION DE SISTEMAS AGROPECUARIOS

En el presente capítulo se describen los métodos bio-matemáticos utilizados en el análisis de la información de los sistemas agropecuarios. La primera parte está relacionada con la clasificación de productores por características bio-económicas. La segunda, en función de modelos matemáticos incluyendo simulación y sistemas de expertos. Estos dos últimos se basan en el conocimiento existente sobre un sistema de producción específico. Adicionalmente se presenta la información de modelos bio-matemáticos para explicar algunas funciones biológicas.

Análisis multivariados

La fase de caracterización proporciona información cuantitativa sobre cada una de las fincas consideradas en la muestra poblacional. La aplicación de técnicas multivariadas permiten clasificar y tipificar a los productores en una área en particular. Esta técnica permite obtener grupos de productores en función de la importancia de variables dentro de productores. A continuación se describe mediante un ejemplo el uso de técnicas multivariadas. Los aspectos matemáticos de las técnicas multivariadas y otros, pueden ser consultados en textos específicos (Gnanadesikan, 1977; Morrison, 1976; Rawlings, 1988).

El análisis de componentes principales es un procedimiento de estadística multivariada perteneciente al análisis factorial. Su utilidad radica en que permite reducir la dimensión (número de variables) de un problema, a fin de facilitar la interpretación, visualización y el entendimiento de las relaciones entre variables u observaciones. Con esta técnica se obtienen nuevas variables que son ortogonales entre sí, de tal modo que el primer componente principal explica la mayor cantidad posible de la dispersión total de los datos. El segundo componente principal explica la mayor cantidad posible de la dispersión restante y así sucesivamente. El análisis de los datos se hace sobre los componentes principales que expliquen la mayor parte de la variabilidad o sobre variables originales que estén relacionadas con los componentes principales.

El agrupamiento de los datos se puede lograr mediante el análisis de conglomerados o "cluster" (Morrison, 1976). En este análisis se determina la distancia cuadrada entre los centroides de los grupos y la distancia de cada elemento a ser clasificado a los centroides de cada grupo. La clasificación de cada elemento se realiza de acuerdo a estas distancias. El tipo de agrupamiento depende del método seleccionado: conexión promedio, método centroide, variancia mínima de Ward (SAS³, 2002). Estudios realizados por simulación han generado evidencias sobre conglomerados compactos de más o menos el mismo tamaño o dispersión, favoreciendo el método de Ward (SAS, 1988). En estudios exploratorios, donde no se tiene idea de qué tipo de agrupamiento se espera, es recomendable utilizar métodos como la conexión por densidad (Density Linkage). Cuando existe

³ *Statistic Analysis System, SAS institute Inc. Cary, U.S.A.*

heterogeneidad entre los productores es recomendable tratar de formar grupos afines, de tal modo que su estudio y posteriormente las alternativas técnicas propuestas sean adecuadas a cada grupo objetivo.

Si el agrupamiento de los productores ha sido basado en la experiencia, se puede verificar usando el análisis discriminante. Por el contrario, si se ha usado el método de cluster, el análisis discriminante permite generar una función o ecuación matemática que describe la distancia entre un elemento y el centroide de cada conglomerado. Lo cual permite asignar al grupo que pertenece cada observación. Los grupos formados por este análisis son los mismos que se obtienen con el cluster, ya que se utilizan, distancias similares.

Para ilustrar el uso de técnicas multivariadas, se presenta el resultado del análisis de los sistemas de producción de la provincia del Cañar, Ecuador. En el análisis se incluyó las variables de respuesta relacionadas con cada productor. Las características de los productores analizados (n=40) son descritas en el Cuadro 4.1. Se observa una variabilidad y dimensión diferente entre cada variable, lo cual trae dificultades para el análisis.

Cuadro 4.1. Variables utilizadas en el análisis de la información recopilada sobre sistemas de producción por medio del método de conglomerados (cluster). Provincia de Cañar, Ecuador, 2001.

Variables	Promedio	Desviación Estándar	Vectores				CP	Varianza acumulada
Edad (años)	48.3	13.03	-0.092	0.565	0.017	-0.439	1	0.22
Hijas 1-6 años	0.05	0.22	0.232	-0.193	0.753	0.153	2	0.37
Hijas 7-12 años	0.23	0.48	0.467	-0.572	-0.012	-0.252	3	0.48
Hijas 13-18 años	0.53	0.75	0.551	0.120	-0.433	0.173	4	0.57
Hijos 1-6 años	0.15	0.36	0.700	-0.318	-0.015	0.154	5	0.64
Hijos 7-12 años	0.35	0.66	0.407	-0.419	0.533	0.027	6	0.71
Hijos 13-18 años	0.48	0.60	0.573	-0.276	-0.408	-0.251	7	0.77
Total de hijos	1.78	1.79	0.868	-0.438	-0.034	-0.019	8	0.82
Bovinos (No.)	14.3	11.35	0.569	0.626	-0.119	0.242	9	0.86
Ovinos (No.)	4.53	3.40	0.399	0.213	-0.099	0.191	10	0.90
Porcinos (No.)	1.8	1.60	0.312	0.143	0.481	-0.459	11	0.93
Cuyes (No.)	11.45	9.71	0.444	0.417	0.298	0.150	12	0.95
Conejos (No.)	1.5	3.88	0.069	0.285	0.285	-0.232	13	0.97
Aves (No.)	5.5	5.34	0.352	0.585	0.381	0.107	14	0.98
Parcelas (No.)	2.1	1.01	0.264	-0.122	-0.150	-0.266	15	0.99
Educación (años)	4.4	3.17	-0.182	-0.207	0.098	0.766	16	1.00
Superficie (ha)	7.63	6.31	0.605	0.540	-0.236	0.066	17	1.00

En el Cuadro 4.1 se presenta el análisis preliminar de conglomerados. Se observa que el 82% de la variabilidad es explicada por las primeras 8 variables; lo cual es un excesivo número de variables. Observando los vectores propios se tiene variables como superficie, hijos e hijas (en general) y bovinos que presentan valores altos. Por lo tanto, a partir de este análisis preliminar se puede agrupar o eliminar variables que no guardan relación. Así mismo a fin reducir el efecto de

dimensionalidad de las variables estas se estandarizan a una media de 0 y variancia de 1.

Para realizar la agrupación se puede utilizar la correlación simple y la magnitud de los vectores propios. En este caso se agrupó a los niños en una sola variable; en la misma forma al grupo de jóvenes, eliminándose el total de hijos, ya que las anteriores los contienen. En forma similar se agrupó las especies de conejos, cuyes y aves como animales menores. De esta forma se redujo la base de datos en 10 variables. En el Cuadro 4.2 se presenta los promedios y desviaciones de las variables en estudio.

Cuadro 4.2. Parámetros de las variables en estudio de la información recopilada para tipificar productores en la zona de Cañar, Ecuador, 2001.

Variable	Promedio	Desviación estándar
Edad del productor	48.3	13.0
Niños y niñas (1-12 años)	0.8	1.2
Jóvenes (13-18 años)	1.0	1.1
Bovinos	14.3	11.3
Ovinos	4.5	3.4
Porcinos	1.8	1.6
Animales menores (cuyes, conejos y aves)	18.5	14.0
Número de parcelas	2.1	1.0
Educación, años	4.4	3.1
Superficie, ha	7.6	6.3

Con las variables reagrupadas (10) se realizó un análisis de componentes principales, (SAS, 2000), para determinar el número de las variables que expliquen la mayor variabilidad. En el Cuadro 4.3 se observa los vectores propios “Eigenvalues” y la proporción que se explica con 1, 2 o 5 variables.

Cuadro 4.3. Contribución del número de variables a la explicación de la variabilidad en la información de productores del área de Cañar, Ecuador, 2001

Número de variables	“Eigenvalues”	Diferencia	Proporción	Acumulado
1	2.1635	0.9936	0.433	0.433
2	1.1699	0.1890	0.234	0.667
3	0.9809	0.4362	0.196	0.863
4	0.5448	0.4039	0.109	0.972
5	0.1409		0.028	1.000

En el Cuadro 4.3 se observa que con dos variables se explica el 66.7%, con tres variables el 86.3%. Por lo tanto se considera que los grupos deben ser formados por dos o tres variables. La escogencia de estos grupos se realiza por medio de un análisis de cluster y luego se realiza nuevamente el análisis de componentes principales para agrupar los agricultores por el número deseado de conglomerados que aglutinen con las variables que explican la mayor variabilidad. En el análisis final, las variables: niños, bovinos, porcinos y superficie explican el 78% de la variabilidad total.

Con base a ello se agrupó tres conglomerados que definen los productores tipo I, II y III (Cuadro 4.4).

Cuadro 4.4. Valores promedios de las variables discriminantes por conglomerado. Provincia del Cañar, Ecuador, 2001.

Grupo	N	Número de niños	Superficie (ha)	No. Bovinos	No. Porcinos
I	4	0.5 ± 0.4	22.7 ± 4.6	40.5 ± 15.4	2.0 ± 1.6
II	16	1.6 ± 1.5	7.87 ± 4.1	12.87 ± 5.6	2.1 ± 1.9
III	20	0.2 ± 0.5	4.4 ± 2.5	10.2 ± 6.2	1.5 ± 1.3

Se observa que los productores del grupo uno poseen mas tierra y ganado, comparado con los otros tres grupos; esta proporcionalidad se mantiene en los tres grupos diferenciándolos de tal manera que es posible tipificarlos en productores tipo I, II y III. El grupo dos es el que presenta mayor número de hijos menores. Los grupos tienen similar número de porcinos. La Figura 4.1 describe los grupos con base a los componentes principales; el primero integrado por superficie, bovinos y porcinos y el segundo por la familia representada por el número de niños. En forma similar es posible identificar los productores que integran cada grupo e incorporar otros por medio de un análisis de discriminantes.

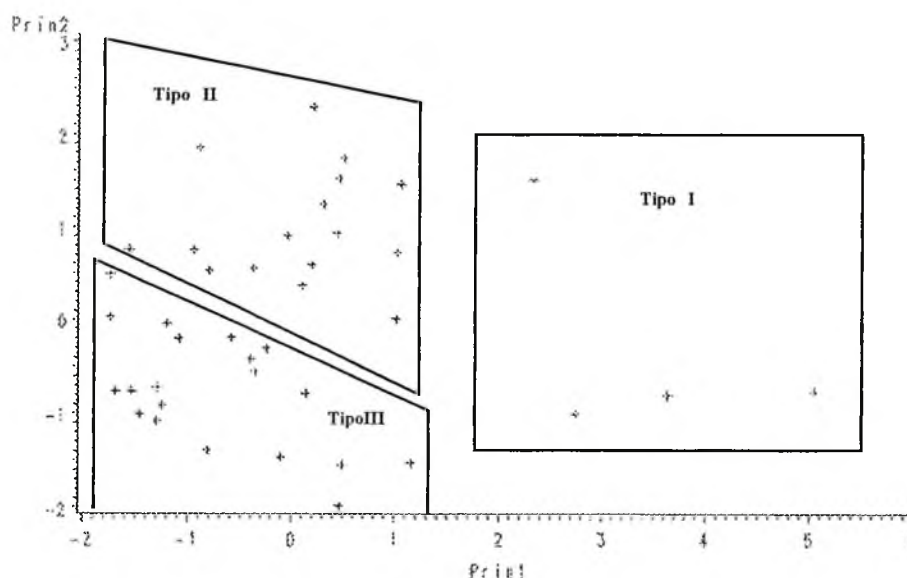


Figura 4.1. Representación gráfica de los grupos de los productores formados por el análisis de conglomerados. Provincia del Cañar, Ecuador, 2001.

Modelos y Simulación

Fundamentos de la modelación

El término de modelo tiene varias interpretaciones que dependen del objetivo. Bajo el enfoque y análisis de sistemas, modelo es la representación de un objeto, concepto o sistema real de tal forma que, aún siendo distinto a la entidad que representa, puede imitar su funcionamiento y/o uno o varios atributos de éste (Aguilar y Cañas, 1992). Un modelo puede servir para dos propósitos principales: descriptivo, para explicar y/o comprender; o prescriptivo, para predecir y/o duplicar el comportamiento característico de un sistema. Los modelos que son prescriptivos son también descriptivos, pero los modelos descriptivos no son prescriptivos.

Un modelo se diseña y construye, generalmente, con el propósito de entender, explicar o mejorar el funcionamiento del sistema real u objeto que representa. Lo esencial de un modelo es que alcance el objetivo para el cual fue construido. Para modelar se parte de un modelo simple, del cual se pueda derivar hacia uno más elaborado, con el objeto de que refleje una situación más real y compleja. El nivel más alto de abstracción corresponde a los modelos matemáticos. En ellos sólo se usan los símbolos, en vez de algún elemento.

La gran mayoría de los modelos de simulación son matemáticos y se diseñan para funcionar en un computador utilizando un lenguaje de programación específico, como Fortran, Visual Basic, entre otros. Cuando un investigador se enfrenta al problema de modelar un sistema complejo, tiene la posibilidad de mezclar diferentes tipos de modelos, con diferentes grados de complejidad e información. Puede utilizar modelos cualitativos, de simulación, sistemas expertos, de optimización, etc.

En forma general, la modelación de un problema o fenómeno biológico debe considerar la posibilidad de analizar el problema, y abstraer de él las partes esenciales y seleccionar y modificar las propiedades que caracterizan al sistema. Todo esto es un proceso cíclico, hasta que los resultados sean satisfactorios. Por lo tanto, los aspectos que se deben tener en cuenta en la elaboración de modelos son:

- El tipo de modelo que será construido, que depende del uso que se hará de él. El modelo, deberá representar aquellas partes o componentes del sistema real que sean relevantes para los usuarios. Este se resume partiendo de la modelación de dichos componentes a un nivel jerárquico inferior, de modo que como resultado de la agregación e interacción de éstos, surja el modelo del sistema en su conjunto.
- Manejar la información recopilada del sistema en estudio, tanto en encuestas como en investigación en componentes y sistematizarla en una base de datos confiable, y de fácil acceso que permitan su uso.

- El planteamiento inicial de los modelos debe ser sencillo, y en la medida que éste no responda a las expectativas, debe ir aumentando su complejidad. De esta forma, se ahorra el tiempo que se pierde en desarrollar modelos complejos y de poca aplicabilidad.
- Los modelos deben tener un balance entre generalidad, precisión y realismo. Al buscar mayor realismo se aumenta en complejidad, se pierde en precisión y facilidad de uso. Si es demasiado preciso, pierde generalidad.

Clasificación de los modelos

Los modelos se clasifican de acuerdo a alguna propiedad que los describa y se desee destacar. En la clasificación se parte del menor al mayor grado de abstracción. De esta forma, los principales tipos de modelos por su estructura son (Shannon, 1975):

- **Icónicos.** Son los que semejan un sistema real de forma que las propiedades relevantes del sistema están representadas en el modelo por las mismas propiedades en una representación en escala. Ejemplo: mapas, maquetas, parcelas agrícolas, modelos físicos.
- **Análogos.** Describen el uso de una propiedad para representar otra del sistema real. Ejemplo: riñón artificial (circuito eléctrico que representan las propiedades del riñón), gráfico de coordenadas x, y.
- **Simbólicos.** Son aquellos en los cuales las propiedades del sistema están representadas por símbolos numéricos. Ejemplo: un modelo matemático.

Modelación y teoría general de sistemas

El marco teórico de la metodología de modelación se basa en la Teoría General de Sistemas, dentro de los campos de la lógica y las matemáticas. El principal precursor fue Von Bertalanfy (1957), quien planteó la existencia de modelos, principios y leyes aplicables a sistemas generalizados o subsistemas, así como también a los atributos de los componentes y a las relaciones que existen entre ellos. Este planteamiento condujo a proponer una metodología consistente en hacer abstracción del sistema real en un modelo que refleje todo lo fundamental y relevante.

La modelación es el proceso mediante el cual se diseña y construye un modelo que representa un objeto o sistema real. Es una metodología para resolver problemas y no una teoría en sí. Al aplicarla como metodología se debe hacer un balance entre el marco teórico que aporta la metodología y la estructura del problema a resolver; esto determina el tipo de modelo más adecuado.

Esta metodología, en apariencia simple, no es de aplicación única e inmediata, ya que está directamente relacionada a la definición de los límites y niveles jerárquicos del sistema que se está modelando.

Simulación

La simulación denota la acción de reproducir o imitar con cierto grado de abstracción un fenómeno biológico, mediante algún modelo bio-matemático.

El desarrollo del proceso de la simulación ha experimentado una evolución en las ciencias agropecuarias al aplicarse mediante el método científico. El primer cambio se observa a comienzos de la década de los años cuarenta, en que el uso de la simulación, en un sentido específico, se le asocia con el análisis de Monte Carlo. De este modo, la palabra simular indica que hay técnicas matemáticas o numéricas involucradas en el desarrollo y solución de un modelo. Actualmente con el uso de los computadores de gran velocidad y en especial de los computadores personales, el hecho de simular adquirió otro significado adicional, que es el de experimentar con modelos matemáticos en un computador. De esta forma, como lo indica Shannon (1975), se entiende por simulación al proceso de diseñar un modelo de un sistema real y conducir experimentos con él para entender el comportamiento del sistema o evaluar varias estrategias (dentro de los límites impuestos) para la operación del sistema.

Los modelos de simulación están dirigidos a la solución o estudio de un problema específico. Se observan dos variantes en esta clase de modelos; una dirigida hacia aspectos de investigación y otra hacia factores productivos, administrativos o financieros. Se denomina de investigación cuando hay predominio por el estudio del funcionamiento del sistema. En los otros casos, el modelo está diseñado para evaluar estrategias de operación del sistema.

Por lo tanto, los modelos de simulación constituyen una metodología experimental y aplicada que busca:

- Describir el comportamiento de los sistemas.
- Construir hipótesis o teorías que expliquen el comportamiento observado.
- Usar estas teorías para predecir el comportamiento futuro; es decir, el efecto que se producirá con los cambios en el sistema o en su método de operación.

Características de los modelos de simulación

Los modelos de simulación presentan características que pueden ser resumidas en:

- Es una técnica relativamente simple, con posibilidades de manipular factores biológicos y económicos que presentan dificultad de ser manipuladas en la vida real. Por ejemplo: cómo se podría modificar la producción si se aumenta la superficie de praderas mejoradas, se incluye un nuevo cultivo, se refuerza la alimentación con forrajes conservados, se cambia la carga animal, se hace ajustes a la presión de pastoreo en determinado momento y si se modifica la época de empadre. Las combinaciones son múltiples, difíciles o imposibles de llevarse a cabo como experimento de campo.

- Permite ordenar y visualizar el conocimiento existente y limitante para el estudio. De esta forma es posible ubicarse dentro del contexto del sistema en estudio.
- Dada las características predictivas de los modelos de simulación, permiten realizar análisis *ex-ante*, de diferentes aspectos. Esto sirve para decidir si los problemas que se quieren resolver, involucran componentes, interacciones o factores, permitiendo plantear alternativas tecnológicas para ser validadas en el campo.
- Ayuda a priorizar líneas de investigación tendientes a dar solución al problema detectado.
- Son dinámicos con respecto al tiempo; por lo tanto, el tiempo se puede incluir en un modelo como variable continua o discreta. Ello permite que la información obtenida en la investigación de campo sea utilizada en forma más eficiente.

A pesar de que la simulación es un proceso de utilidad en el estudio y solución de problemas de sistemas reales, es importante considerar algunas de sus limitaciones:

- El desarrollo de un modelo de simulación puede ser costoso en tiempo y dinero, y requiere de personal entrenado (que probablemente no esté a disposición).
- Una simulación puede reflejar exactitud aparente de una situación real. Algunos problemas intrínsecos en la simulación pueden producir resultados erróneos.
- La simulación puede ser imprecisa y no medir el grado de esta imprecisión. El análisis de sensibilidad de un modelo debe permitir cambiar los valores de los parámetros para superar parcialmente esta dificultad.
- Los resultados de la simulación son generalmente numéricos, y proporcionan la información que el investigador selecciona. De este modo, se tiene el peligro de atribuir a los números un grado de validez mayor que lo justificado.

Criterios a considerar en un buen modelo de simulación

En un modelo de simulación se debe visualizar los siguientes criterios:

- Que sea simple de entender, controlar y ser manipulado por el usuario.
- Que demuestre objetivos directos.
- Debe dar respuesta en rangos amplios.
- Debe ser consistente, o sea, no dar respuestas erróneas o ilógicas.
- Debe ser adaptativo, o sea, que tenga procedimientos fáciles para modificarlo.

- Debe permitir cambios en su estructura para evolucionar, en la medida que el usuario lo requiera, de lo simple a lo complejo.

Clasificación de los modelos de simulación

La clasificación de los modelos lógicos o matemáticos está en relación al proceso que permita elegir las variables más adecuadas de los componentes, así como la estructura del modelo. De esta forma los modelos de simulación pueden clasificarse:

- Por el tipo de variable

Determinístico.- Son modelos de función simple; para cada condición dan un valor fijo determinado.

Estocástico.- Son modelos basados en la densidad de probabilidad, por lo tanto, cada condición de simulación puede dar un resultado diferente, dentro de los niveles probabilísticos de dicha respuesta.

Continuo.- Si las alteraciones en los valores de las funciones ocurren en forma continua, es decir a una tasa constante a medida que el tiempo varía.

Discreto.- Si los cambios ocurren en puntos discretos del tiempo.

- Por el tipo de estructura temporal

Estáticos.- Aquellos que no incluyen el tiempo. Ejemplo: respuesta a algún fertilizante.

Dinámicos.- Aquellos que incluyen el tiempo. Ejemplo: época de siembra, respuesta animal a alimentación, etc.

Los modelos de simulación incluyen combinaciones como:

Estático determinístico.- Modelo no aleatorio que no incluye la variable tiempo. Ejemplo: funciones de respuesta.

Dinámico determinístico.- Modelo que considera la variable tiempo, pero su respuesta es de certeza absoluta. Ejemplo; modelo de programación dinámica.

Estático probabilístico.- Modelo aleatorio que no incluye el tiempo. Ejemplo: programación lineal estocástica o probabilística.

Dinámico probabilístico.- Modelo aleatorio que incluye la variable tiempo. Ejemplo: programa de simulación probabilístico para animales al pastoreo.

Estructura de los modelos de simulación

Un modelo de simulación es la representación de un sistema de tal forma que, aún siendo distinto a la entidad que representa, puede homologar su funcionamiento y/o uno o varios atributos de ella. En este marco general, un modelo de simulación incluye los siguientes elementos:

Componentes.- Son las diferentes partes que describen y conforman un modelo.

Variables.- Describen las relaciones entre los componentes y se clasifican, como variables de estado, exógenas, y endógenas.

Parámetros.- Son cantidades que toman valores arbitrarios, asignados por el operador del modelo.

Relaciones funcionales.- Describen variables y parámetros, de tal forma que muestran su comportamiento dentro de un componente o entre componentes de un sistema.

Limitaciones.- Está dado por los valores de las variables, de tal forma que demarcan el límite del sistema. Las limitaciones están generalmente impuestas por la naturaleza del sistema y características de los elementos del modelo.

Restricciones.- Son las limitaciones impuestas a valores de variables o a la forma en que los recursos son asignados o usados.

Funcionamiento.- Es la sentencia explícita de los objetivos del sistema y de cómo son evaluados.

Etapas en la elaboración de un modelo de simulación

Los aspectos teóricos y consideraciones prácticas, en lo que respecta a las etapas a seguir en la elaboración de un modelo de simulación, son ampliamente discutidos por Aguilar y Cañas (1980); Naylor *et. al.* (1973); Shannon (1975). En este documento se describe brevemente el proceso de elaboración de un modelo de simulación:

- Definición de objetivos

Es necesaria una definición previa del propósito del estudio. El objetivo definido determina el tipo de modelo a utilizar, los componentes que deben formar parte del modelo, sus alcances y la información necesaria que debe procesarse.

- Análisis del sistema

Una vez definido el objetivo, debe realizarse la tarea de entender las partes del sistema real y sus

relaciones. El análisis del sistema permite detectar los factores relevantes que afectan el problema a estudiar y que influyen en el objetivo especificado.

- Síntesis del sistema

Definidos los componentes relevantes del sistema a estudiar, se organizan en un sistema lógico. Esto implica la elaboración de diagramas de flujo o algoritmos y la especificación de la forma en que las variables del sistema se relacionan expresadas en forma matemática. El conjunto de estas relaciones conforman el modelo que representa el sistema en estudio. A los efectos de establecer la forma específica de las relaciones existentes entre las variables, quien elabora el modelo debe recurrir a la información relevante, a los resultados de la investigación vinculada a los aspectos en estudio y a procedimientos estadísticos adecuados.

La estimación de los elementos integrantes del modelo y su operación, podrá realizarse manualmente o por medio de computadores. El carácter representativo del modelo elaborado, dependerá, en última instancia, de la medida en que han sido incorporadas las variables relevantes, los supuestos válidos, la correcta formulación lógica y matemática, y la correcta estimación de los parámetros.

- Verificación

Es la etapa racional, donde a las funciones matemáticas calculadas se les da una interpretación de acuerdo al fenómeno real. La aceptación de una función está basada en el conocimiento y racionalismo que se tiene sobre la materia.

- Validación

Es la etapa de comprobación del modelo. Hay quienes sostienen que un modelo existe, como tal, solamente si está validado. Para que esta comprobación sea general, debe usarse un amplio rango de datos de entrada. Sin embargo, existen modelos que integran un conjunto de factores que muestran la complejidad de sistemas. Alguno de ellos es difícil de encontrar en la práctica; por lo tanto, la información debe aproximarse lo más posible al sistema real para comparar los resultados simulados con lo real. En algunos casos se realiza una validación por las partes o componentes que integran el modelo.

- Experimentación

Es el proceso que, posterior a la validación, permite variar algunas de las funciones para predecir el comportamiento del sistema, a través de experimentos. La posibilidad de hacer inferencias es una de las mayores ventajas de los modelos de simulación.

- Documentación

Se refiere a la constancia escrita de todas las etapas del proyecto, de tal forma que un usuario que no intervino en su desarrollo pueda entender, teniendo a la vista los objetivos del estudio, la lógica

del modelo, validaciones de inferencias. Si el modelo es usado por otros grupos se debe proporcionar un manual de operación.

A continuación, se describe un modelo de simulación para la predicción de cambio de peso de bovinos en pastoreo:

Ejemplo: Sistema de producción de carne en pastoreo (engorde de ganado bovino en la sierra ecuatoriana alimentado con mezcla forrajera).

Objetivo.- Desarrollar un modelo de simulación, que permita predecir el cambio de peso de bovinos en pastoreo alimentados con una mezcla forrajera.

Análisis del Sistema.- El sistema consiste en la fase de engorde de novillos, que inician con 200 kg de peso y son vendidos a los 380 kg o cuando el costo del alimento es igual o mayor que el valor monetario de la ganancia de peso. La alimentación se basa en el pastoreo de una pradera mejorada con una mezcla forrajera (Rye grass perenne 20 kg.ha⁻¹, Rye grass anual 10 kg.ha⁻¹, Pasto azul 12 kg.ha⁻¹, Trébol blanco 2 kg.ha⁻¹, Trébol rojo 1 kg.ha⁻¹). Materia seca 27.6%, 21.3% de proteína y 2.56 Mcal.kg⁻¹ MS. Capacidad de carga de 2 UBA.ha⁻¹. Utilice una hoja de cálculo o el programa "Beef"⁴

Síntesis del Sistema.- La síntesis del sistema, en forma de diagrama de flujo, se muestra en la Figura 4.6 e implica:

- Variables de estado: consumo, requerimiento de energía.
- Variables exógenas: peso inicial del animal, disponibilidad del alimento, valor nutritivo del alimento, costo de la ración, costo de kg de carne.
- Variables endógenas: cambio de peso, peso final del animal.

Modelo matemático:

Consumo.- Se asume que el consumo potencial de estos animales es tres por ciento del peso vivo (PV), con una variación de 7.5% del valor medio. Además, se asume que la distribución probabilística del consumo es normal: Consumo $C = 0.03 * PV^{0.75}$

Requerimiento de manutención.- El requerimiento de manutención se estima en función del requerimiento calórico para metabolismo basal:

⁴ Programa desarrollado por el CIP, Departamento de Sistemas de Producción y Manejo de Recursos Naturales.

$$RM, \text{Mcal EM.d}^{-1} = (77 * PV^{0.75} / k_m) / 1000$$

Donde:

$$k_m = 55 + 6.69 * q_m$$

q_m = la densidad calórica de la dieta calculada por el consumo de energía dividida entre el consumo de alimentos (CE/consumo).

Cambio de peso.- La energía metabolizable, disponible para ganancia de peso (EDGP) se obtiene mediante la diferencia entre el consumo de EM y el RM. Si la diferencia es positiva, se estima la eficiencia en el uso de la EM para ganancia de peso (K_p). La energía neta para ganancia de peso (ENGP) se calcula: $ENGP = EDGP * K_p$, donde: $K_p = (18.4 * q_m + 3) / 100$; este valor depende de la raza.

La ganancia de peso (GP) se estima: $\Delta \text{Peso vivo} = ENGP / K_r$, donde K_r depende de la raza (Puros 1.50; Cruzados 3/4 - 7/8, 3.17; cruzados 1/2 - 3/4, 4.83; Nativo o criollos < 1/2, 6.60)

Cuando hay pérdida de peso (PP), se asume que la eficiencia en el uso de EDGP es de 85% y que la densidad calórica por cada kg de peso perdido es de 6.69 Mcal.

$$PP, Kg = (EDGP * 0.85) / 6.69.$$

El cambio de peso, CP, (Peso del día_i menos el peso del día_{i-1}) por el costo de kg es comparado con el costo de alimentación diaria para decidir si el animal se vende antes de los 380 kg.

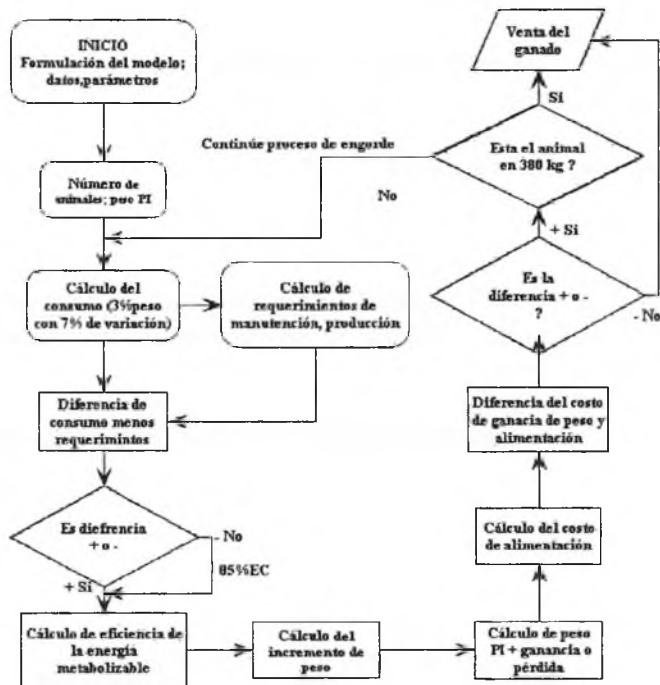


Figura 4.6. Diagrama de flujo de un modelo de ganancia de peso de novillos en pastoreo.

Con la información proporcionada y con base en la Figura 4.6 es posible escribir un programa de computadora en un lenguaje específico, como Visual BASIC, C++, o Fortran, que permita simular el proceso.

Resultados obtenidos por medio del programa “Beef” se obtiene una ganancia de peso promedio de 0.720 kg.día⁻¹. Valor que coincide con los observados en la zona de Chimborazo.

Sistemas Expertos

En los últimos años, el uso de computadores ha facilitado la forma de analizar y solucionar problemas en las diferentes especialidades. El procesamiento de datos numéricos es realizado en tiempo mínimo, así como realizar predicciones sobre el comportamiento físico-biológico de situaciones agropecuarias en forma rápida y eficiente para la toma de decisiones mediante el proceso electrónico. De esta forma es posible estructurar programas computarizados que permiten el almacenamiento, proceso y análisis para la toma de decisiones. Sin embargo, en algunos casos es difícil estructurar modelos en programas computarizados debido a la falta de información (datos). Por lo tanto se recurre a la base de experiencias e información existente. En este campo se encuentran los sistemas expertos.

Un sistema experto puede ser definido como un programa computarizado que simula el razonamiento de un experto humano en un campo de su dominio. Para ello se usa una "base de conocimiento", y un "procedimiento de inferencia" para utilizar el conocimiento.

El desarrollo de un "Sistema Experto" requiere el seguimiento secuencial del raciocinio de técnicos con experiencia, en un determinado campo, para solucionar un problema o enfrentarse a una determinada decisión. Por lo tanto, la base y el límite de los sistemas expertos es una base de datos (conocimiento disciplinario). Esta base está incorporada a un sistema computarizado para, ser usado para la toma de decisiones con respecto a un problema en particular.

El uso de los sistemas expertos constituye el inicio para el desarrollo de alternativas tecnológicas, siempre y cuando se tenga la información y el conocimiento. Los sistemas expertos pueden ser usados a diferente nivel jerárquico y ser diferenciados por su nivel de especificidad y objetivos. Generalmente es posible plantear sistemas de expertos en las áreas de: evaluación de tierras y planificación regional; manejo de las unidades de producción; manejo de la producción agropecuaria.

En la actualidad existen numerosos sistemas expertos. Cada uno de ellos tiende a ser específico para una área y producto. En este documento se describe, como ejemplo, el "sistema experto de papa". Un sistema similar fue previamente elaborado en Puno, Perú y puede servir para desarrollar uno propio a la zona del Ecuador. Se basa en recopilar la información disponible y experiencia de los técnicos dedicados al cultivo de la papa. La información disponible sobre los variables de decisión fue almacenada en una base de datos unida a un programa con estructura lógica que busca y compara la información disponible con el problema planteado. Este sistema usa reglas lógicas para generar recomendaciones sobre la tecnología del cultivo de papa. Permite seleccionar una variedad adecuada a una zona específica; formas de preparación de tierras; niveles de fertilización; forma y época de siembra; identificación de plagas y su manejo; técnicas y épocas de aporque y época de cosecha. Este sistema es considerado como un prototipo a ser ampliado con la investigación en áreas aún no claras en el cultivo de papa. La Figura 4.7 resume el ordenamiento y lógica del sistema experto del cultivo de papa.

En forma similar, con la información disponible es posible estructurar un modelo de simulación del cultivo de papa. Este modelo puede estimar el rendimiento de papa para condiciones de la sierra ecuatoriana basado en la información de clima (precipitación y temperatura), tipo de suelo y manejo (fertilización, semilla, manejo de plagas y malezas). Su estructura, con relación a variables sigue las mismas consideraciones mencionadas anteriormente.

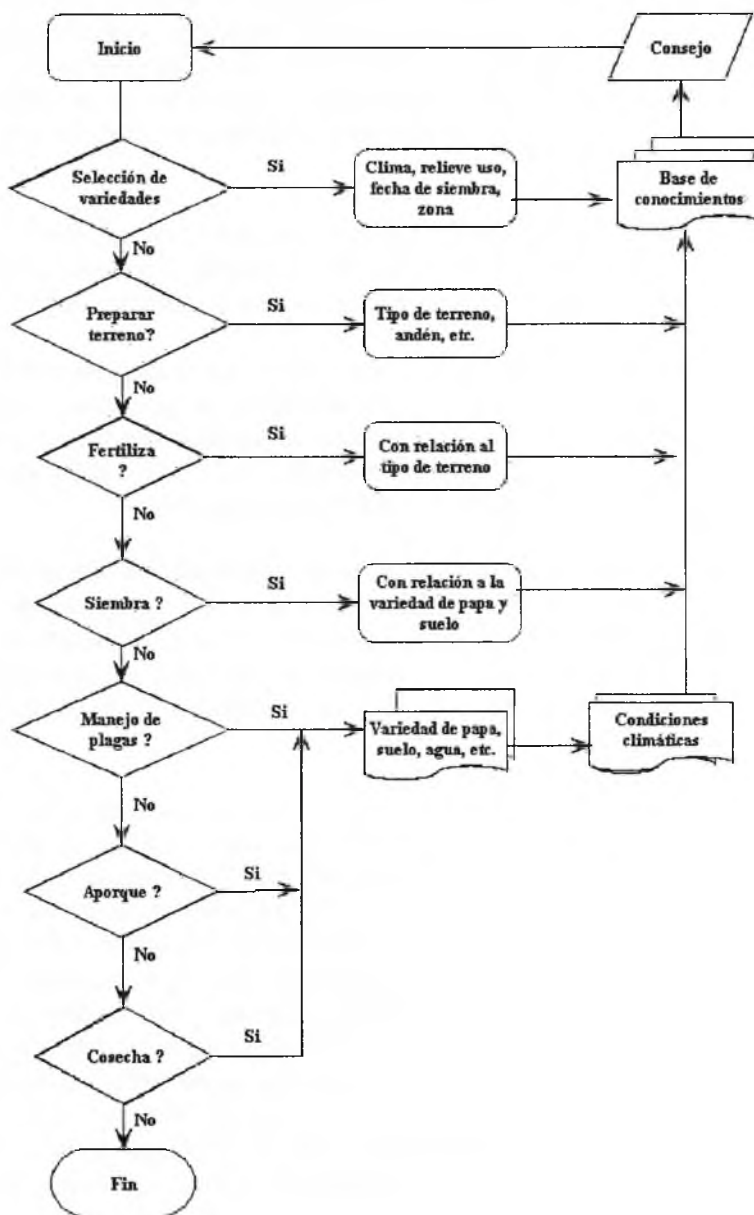


Figura 4.7. Diagrama de flujo preliminar del ordenamiento y uso secuencial de la información para el desarrollo de un sistema experto de papa.

Modelos matemáticos para describir procesos biológicos

Modelos para describir crecimiento

Los modelos que describen el crecimiento son útiles para resumir matemáticamente el patrón del crecimiento de un organismo o parte de éste durante un período de tiempo. Para denotar esta relación se usa una función analítica que puede ser representada por una relación simple: $W = f(t)$, donde: W = peso; f = denota una relación funcional; t = tiempo. La forma de la función f puede ser empírica, ya que en muchos casos ésta se selecciona luego de inspeccionar los datos y hacer una estimación informada. Sin embargo, es preferible que tenga significancia biológica y cuyos parámetros sean significativos.

Existen varias ecuaciones propuestas para explicar el fenómeno de crecimiento de un organismo en función del tiempo. En este documento se describen cinco modelos. Una revisión sobre este tópico es presentada por France y Thornley (1984).

Modelo conceptual

El punto de partida para proponer una ecuación que describa el crecimiento en el tiempo es un modelo cerrado de dos compartimientos, sin entradas ni salidas. El proceso de crecimiento consiste en la transferencia de material del compartimiento 1 (substrato) al compartimiento 2 (peso), sin considerar pérdida durante el proceso.



La ganancia de materia (en peso) en el tiempo es igual a la desaparición de substrato. Esto se expresa como: $dW/dt = - ds/dt$, o $dW/dt + ds/dt = d(W+s)/dt = 0$, de tal forma que $W + S = \text{Constante}$, $W_0 + S_0 = W_f + S_f$, donde: W_0 y S_0 son los valores de W y S cuando $t = 0$; W_f y S_f son los valores de W y S cuando $t \rightarrow \infty$

Si se reescribe la tasa de crecimiento como una función de W y S , $V(W, S)$, se tiene $dW/dt = V(W, S)$. Debido a que $S = C - W$, donde C es una constante, se puede expresar la tasa de crecimiento en función del peso como: $dW/dt = V(W, C-W) = h(W)$

El segundo paso es determinar el tipo de función $V(W, S)$ la cual determina la forma de la ecuación o modelo de crecimiento. Los dos pasos descritos son los que determinan los diferentes modelos de crecimiento. A continuación se describen algunos de ellos:

La ecuación monomolecular

En este caso se asume que la cantidad de la masa de crecimiento es constante e independiente del peso. Esta masa trabaja a una tasa proporcional al nivel del substrato (s) y el crecimiento es irreversible (no considera situaciones donde el organismo pierde peso debido a penurias

nutricionales, enfermedades, plagas, etc.). La ecuación diferencial se puede escribir como: $dW/dt=KS$, donde, K es constante. Como $S_f = 0$, entonces $S = W_f - W$ y la ecuación diferencial se puede representar en función del peso: $dW/dt = K (W_f - W)$. Luego de integrar, la ecuación se puede reescribir como:

$$Y_i = \alpha [1 - e^{-\beta (t_i + \delta)}]$$

Para la obtención de los coeficientes se puede usar la técnica de regresión no lineal (SAS, 2002) con base a la ecuación monomolecular simplificada en relación con el tiempo.

La ecuación logística

Aquí se asume que la cantidad de masa de crecimiento es proporcional al peso. Es decir que la masa en crecimiento es proporcional a la cantidad de sustrato S y el crecimiento considerado es irreversible. La ecuación diferencial para este caso sería: $dW/dt = KWS$, donde, K es una constante. Como $S = W_f - W$, entonces $dW/dt = KW (W_f - W)$. En este tipo de ecuación es conveniente trabajar con una constante μ que esté en función del peso asintótico, W_f : $K = \mu/W_f$. Por lo tanto, $dW/dt = \mu W(1 - W/W_f)$. Luego de la integración y el re-arreglo de los componentes, la ecuación logística puede ser escrita para calcular los parámetros en función del tiempo como:

$$Y_i = \frac{\alpha}{1 + \beta e^{-\delta t_i}}$$

La ecuación de Gompertz

En esta ecuación se asume que el sustrato no es limitante. La masa de crecimiento está siempre saturada con sustrato. La cantidad de la masa de crecimiento es proporcional al peso W , con una constante de proporcionalidad μ . La efectividad de la masa de crecimiento decae con el tiempo, siguiendo una cinética de primer orden, lo cual produce una caída exponencial. Esta caída puede estar asociada a degradación, senescencia, o desarrollo y diferenciación de órganos. La ecuación diferencial es: $dW/dt = \mu W$

El parámetro tasa de crecimiento específico, μ , no es constante, sino que está gobernado por: $d\mu/dt = -D\mu$, donde: $d\mu/dt = -D\mu$, donde D es un parámetro que describe la caída de la tasa de crecimiento específica μ ; luego de la integración resulta en: $\mu = \mu_0 e^{-Dt}$, donde $\mu = \mu_0$, cuando $t=0$. Entonces, $dW/dt = \mu_0 W e^{-Dt}$.

Luego de integrar, la ecuación se puede reescribir como:

$$Y_i = \alpha e^{-\delta} e^{-\beta t_i}$$

Las ecuaciones descritas permiten modelar el crecimiento de plantas, animales o microorganismos. En cada caso es recomendable hacer una gráfica de los datos a fin de observar la forma en que se orienta la información disponible a través del tiempo. Así mismo cada parámetro que se calcule en la ecuación seleccionada deberá tener una interpretación biológica.

A continuación, con base a los tres primeros modelos descritos se describe el crecimiento de praderas naturales y pasturas en la sierra ecuatoriana. La información considera el rango de un año a partir de la época lluviosa (Grijalva, 2002); datos del Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, INIAP (Cuadro 4.5).

Cuadro 4.5. Parámetros de modelos que describen el crecimiento de praderas naturales y pasturas en la sierra Ecuatoriana*

Tipo pradera ¹	Parámetros / ecuación			Estimado a 300 días
<i>Pradera natural:</i>	a	b	c	239 ²
Monomolecular	1,017.3	0.001	-19.236	226
Logística	273.9	24.187	0.017	241
Gompertz	302.7	4.566	0.010	237
<i>Pastura:</i>				397 ²
Monomolecular	1,720.3	0.001	-7.562	388
Logística	496.6	12.738	0.013	404
Gompertz	565.9	3.304	0.007	399

¹ Pradera natural: holco *Holcus lanatus*, grama *Paspalum sp.* y pastilla *Rumex acetocella*

Pastura: Rye grass perenne *Lolium perenne*, Rye grass bianual *Lolium multiflorum*, Pasto azul *Dactylis glomerata* y trébol blanco *Trifolium repens*.

² Valores observados a 300 días.

En la Figura 4.2 se presenta las curvas descritas por los parámetros de los modelos planteados anteriormente.

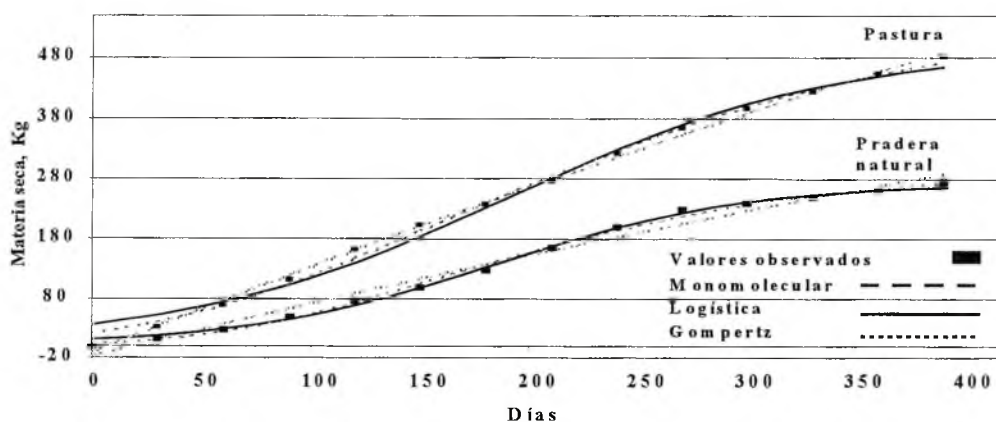


Figura 4.2. Crecimiento de praderas naturales y pasturas en la sierra ecuatoriana descrita con tres modelos de crecimiento.

Se observa el potencial de crecimiento de las pasturas con relación a las praderas naturales. Este tipo de comparación ayuda en el análisis de una alternativa con relación a su potencial y limitaciones para el planteamiento de acciones a desarrollar en el campo a nivel del productor. Así mismo se observa que las tres ecuaciones planteadas estiman en forma similar la disponibilidad de pasto a los 300 días de crecimiento. Sin embargo la ecuación logística es la ecuación que mejor describe el crecimiento.

Modelos para describir la curva de lactancia

La leche es la más importante fuente de ingreso en un sistema de producción de leche. En un programa de mejoramiento genético constituye la base para la selección de vacas y toros. Consecuentemente, se requiere una medida precisa de la producción de leche para mantener una eficiente y rentable finca lechera. Así mismo, es importante para mejorar la planificación del manejo del hato, prácticas de alimentación, así como para la descripción matemática de un sistema ganadero.

La representación gráfica de la relación entre la producción de leche y el tiempo describe la "curva de lactancia". La forma típica de la curva presenta dos partes; un rápido incremento desde el parto al pico máximo de producción, y una declinación gradual hasta que el ordeño no es práctico. Los parámetros que describen la curva de lactación son: el tiempo a la máxima producción, el pico de producción de leche, y la persistencia; la cual es definida como el porcentaje de producción mantenida desde el pico al final de la lactación. Estas partes pueden ser influenciadas genéticamente, y afectadas por factores ambientales tales como: prácticas de manejo, días abiertos, días secos, gestación, año, estación y edad al parto. Estos factores afectan el pico de lactancia y la fase de declinación originando curvas de lactación atípicas. Un rango de 15 a 40 por ciento de vacas en un hato presenta curvas de lactación atípicas.

La curva de lactancia tiene una amplia variedad de aplicaciones en la producción lechera. Es usada en la extensión de registros incompletos, en evaluaciones genéticas, formulación de raciones, evaluación económica de diferentes esquemas de manejo, planeamiento de la producción lechera en un hato, así como en modelos de simulación de sistemas de producción de leche. Por lo tanto, una descripción y correcto entendimiento de la curva de producción de leche son necesarios para predecir la producción y proyectar el ingreso de un sistema lechero.

La curva de producción de leche puede ser descrita por los diferentes coeficientes de un modelo matemático. Al respecto, diferentes modelos matemáticos han sido usados para predecir la producción de leche a diferentes estados de lactación. La primera descripción (Gaines, 1927) fue en forma de un simple modelo exponencial $Y=ae^{-ct}$ donde Y es la producción de leche en un día t , a es el comienzo de la producción cuando $t=0$, y c es la declinación de la producción por unidad de tiempo.

Otra representación es la curva polinomial inversa $Y=(b_0+b_1t+b_2t^2)^{-1}$, (Nelder, 1966) donde: Y es la producción en el tiempo t , y b_0 , b_1 , y b_2 son coeficientes. En forma similar Jenkins y Ferrell (1984) proponen la siguiente ecuación empírica: $Y_{(n)} = n/ae^{kn}$ donde: Y_n = producción diaria de leche al tiempo n , $\text{kg}\cdot\text{d}^{-1}$; n = tiempo de lactancia, semanas; a y k = parámetros de la función; e es la

función exponencial. Sin embargo, la interpretación biológica para los parámetros de esta función no ha sido desarrollada.

Wood en 1967 plantea la función de gamma incompleta basada en las descripciones realizadas por Gaines (1927). El modelo de Wood o gamma incompleta es descrita como:

$$Y = at^b e^{-ct}$$

Donde:

- $Y_{(t)}$ = rendimiento en el estado de lactancia n , $\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}$
- n = tiempo de lactancia, período (semana o mes)
- a, b y c = parámetros de la función
- e = función exponencial

En términos biológicos se puede expresar que la constante a representa la escala de producción del animal a través del período de lactancia; es decir, animales con mayores valores de a tienen un nivel productivo más alto. El coeficiente b está directamente relacionado con la fase de desarrollo; mientras mayor sea su valor, más rápido se alcanzará el pico de producción. El parámetro c es la pendiente de la curva en la fase de recuperación o última fase de la lactancia; si el valor absoluto de este parámetro es pequeño, se origina una ligera disminución en la producción, por lo que la curva declina suavemente.

A partir de los parámetros de la función, se pueden estimar algunas características de la curva de lactancia, que son útiles en la selección y prácticas de manejo de la alimentación y la genética. Entre ellas se tiene la persistencia (S), la cual es una estimación de la magnitud de la tendencia a mantener las máximas producciones de forma constante. Se puede estimar como la tasa de declinación relativa en el punto intermedio entre el tiempo en el cual se registra el rendimiento máximo ($Y_{\text{máx}}$) y el tiempo cuando termina la lactancia, valor que puede ser presentado en forma porcentual o en coeficiente de declinación de la producción de leche $S = (Y_{\text{máx}} - Y_{305}) / Y_{\text{máx}}$ o $S = (Y_{305} - Y_{\text{máx}}) / 305 - N$, donde N es el día en que se obtiene la máxima lactancia. El momento en que se produce el pico de la lactancia es $N = b/c$. La producción máxima en el pico de la lactancia está dada por: $Y_{\text{máx}} = a (b/c)^b e^{-b}$ y la producción total por lactancia es la suma de la producción por día.

Esta función es la de mayor uso. Puede ser linealizada como: $\ln(Y) = \ln(a) + b \ln(t) - ct$, lo cual permite fácilmente la obtención de sus parámetros por regresión lineal. Sin embargo, sus parámetros no tienen una explicación biológica completa y es considerada como un caso especial del modelo compartamental.

El modelo compartamental (McMillan, 1981 y León-Velarde *et. al.*, 1995) describe la curva mediante:

$$Y = m e^{-nt} (1 - e^{-p(t - q)})$$

Donde:

- Y = Es la producción de leche en un día t
- m = Representa el parámetro asociado con el máximo potencial de producción de leche
- n = Es la disminución en la fase de la declinación de producción de leche
- p = Representa la pendiente de la producción durante la fase de incremento
- q = Es el tiempo del proceso de lactogénesis antes del parto

Este modelo es no linealizable y requiere del uso de técnicas de regresión no lineal.

La facilidad de linealización de la curva gamma incompleta o de Wood para estimar sus parámetros es mayormente la razón de que su uso sea común; sin embargo, actualmente existen programas computarizados de técnicas de regresión no lineal (SAS), que permiten la estimación de parámetros de los modelos descritos anteriormente, incluyendo la gamma incompleta. En este documento se presenta el modelo gamma incompleta y el compartamental con datos colectados para vacunos en la zona del Carchi, Ecuador.

Los parámetros que describen la curva de lactancia, usando los dos modelos descritos arriba (Gamma incompleta y compartamental) se muestran en el Cuadro 4.6 para cada condición de los pastos: pastura introducida, manejo del productor y pradera natural.

Cuadro 4.6. Coeficientes de curvas de lactancia de vacas Holstein Friessian baja cruza de pequeños productores del Carchi, Ecuador, descrita por el modelo de Gamma incompleta y compartamental.

Condición del pasto	Gamma incompleta, Wood			Producción, Kg 305 días	Modelo compartamental			
	a	b	c		m	n	p	q
Pastura	3.517	0.3298	0.0060	2,123	14.27	0.0043	0.0255	-18.54
Productor	3.618	0.3099	0.0063	1,921	13.37	0.0046	0.0266	-19.34
Pradera	3.653	0.2801	0.0067	1,602	11.76	0.0052	0.0284	-20.62

La Figura 4.3 describe las curvas para el modelo de gamma incompleta para las tres condiciones de manejo del pasto. Este tipo de información puede ser utilizada para plantear alternativas tecnológicas en una área en particular.

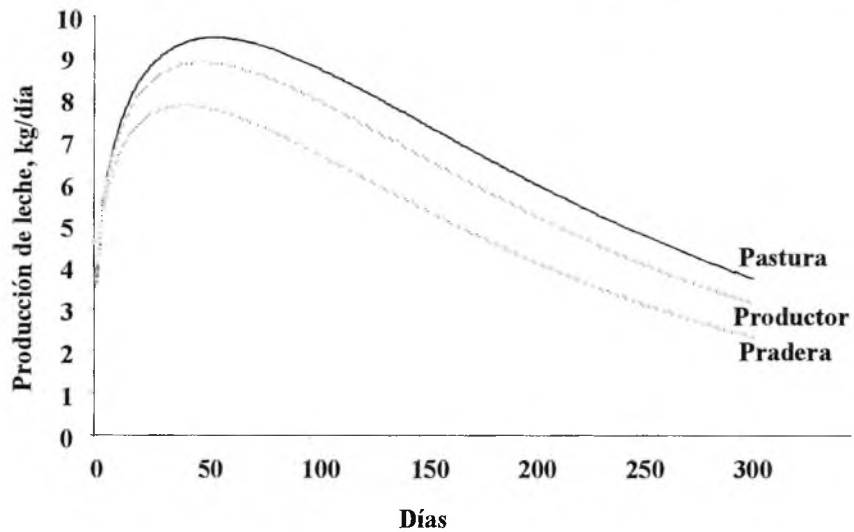


Figura 4.3. Curva de lactancia estimada por el modelo Gamma incompleta (Wood) para tres tipos de condición de manejo de pastos en la zona del Carchi, Ecuador.

La Figura 4.4 describe la curva del modelo compartamental y gamma incompleta para la condición de pastura introducida. Ambas curvas no difieren de los datos reales, la producción estimada para 305 días por la gamma incompleta es de 2,123 kg y en la estimada por el modelo compartamental es de 2,125 kg.

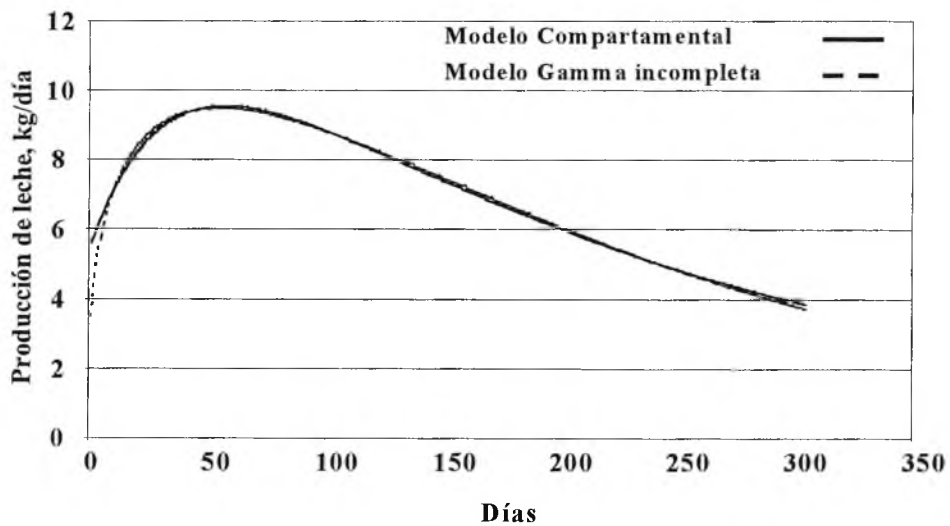


Figura 4.4. Curva de lactancia estimada para el modelo gamma incompleta y compartamental para vacas con alimentación en pastura introducida. Carchi, Ecuador.

Modelos de periodicidad

Durante el análisis de información agropecuaria existen variables que fluctúan respecto a períodos fijos de tiempo. La curva que describe la fluctuación de esas variables está asociada a la curva de Fourier (Little y Hills, 1978). La ecuación general es:

$$Y = a_0 + a_1 \cos CX + b_1 \text{sen } CX + a_2 \cos 2CX + b_2 \text{sen } 2CX + a_3 \cos 3CX + b_3 \text{sen } 3CX..$$

Donde:

X = Tiempo expresado en unidades

C = Constante igual a 360° dividido por el número de unidades dentro del ciclo

El modelo es útil en medir fluctuaciones de temperatura y precipitación a través del tiempo. En este caso, suponga que desea medir la temperatura en el año en forma mensual; por lo tanto se considera un ciclo de 12 períodos, siendo C igual a 30 (360/12); los valores de X están referidos a los meses de enero 0, febrero 1,... diciembre 11; por lo tanto para enero CX=0, para febrero CX=30° y para diciembre CX=330°. La curva tiene las características de una curva polinomial, por lo tanto permite la obtención de los parámetros necesarios para describir la curva. El polinomial de primer grado es la línea recta $Y = a + b X$; esta línea se describe con dos parámetros, el intercepto "a" y la pendiente "b". La curva de "Fourier" de primer grado es descrita por la siguiente ecuación: $Y = a_0 + a_1 \cos CX + b_1 \text{sen } CX$.

A partir del polinomial de primer grado se puede obtener curvas más complicadas por adición de términos sucesivos de potencia X, tales como: cX^2 , dX^3 . También es posible obtener curvas más complicadas por adición de términos tales como $a_2 \cos 2CX + b_2 \text{sen } 2CX$, $a_3 \cos 3CX + b_3 \text{sen } 3CX$. Estas adiciones permiten la sobreposición de curvas.

La forma de cálculo para obtener los parámetros siguen los mismos procedimientos de una curva polinomial. Siguiendo el procedimiento de cálculo de regresión múltiple se calcula la ecuación correspondiente; posteriormente se sustituye los valores de $\cos CX$ y $\text{sen } CX$ de cada mes y se compara con los valores observados (Y). Sin embargo, para mayor facilidad de cálculo se puede usar una hoja electrónica calculando $C = 360/12 = 30$ y colocando la información como sigue:

Meses	X	Temperatura Y	$\cos CX_i$ U1	U1Y	$\text{sen } CX_i$ V1	V1Y	$\cos 2CX_i$ U2	U2Y	$\text{sen } 2CX_i$ V2	V2Y	Y Estimado
Enero	0	d									
Febrero	1	a									
.		t	Información calculada con datos de temperatura y mes								
.		o									
Diciembre	11	s									
Total		ΣY_i		$U1_i Y_i$		$V1_i Y_i$		$U2_i Y_i$		$V2_i Y_i$	

Los coeficientes son calculados como sigue: $a_0 = \sum Y_i / 12$; $a_1 = U_1 Y_i / 12$; $b_1 = V_1 Y_i / 12$; $a_2 = U_2 Y_i / 12$ y $b_2 = V_2 Y_i / 12$. Reemplazando ellos en la expresión:

$Y = a_0 + a_1 \cos CX + b_1 \text{sen } CX + a_2 \cos 2CX + b_2 \text{sen } 2CX$, se obtiene la ecuación de la curva de periodicidad. En el cálculo con hoja electrónica se recomienda adoptar dos símbolos denominados U y V ; donde $U_i = \cos_i (CX)$ y $V_i = \text{sen}_i (CX)$. Con la información de meses y temperatura se ordena los valores en la tabla con la siguiente información: Y (Temperatura), X (Mes 0, 1, ..., 11), CX , U , V , U_2 , V_2 , UV , UY , VY . Donde C se refiere a $360/12 = 30$ (descrito anteriormente).

Para el ejemplo se utilizó la información de la temperatura y precipitación reportada para un periodo de 23 años (1976-1998), en forma mensual en la provincia de Chimborazo. Los parámetros obtenidos para las diferentes variables en estudio se muestran en el Cuadro 4.7.

Cuadro 4.7. Coeficientes de los modelos de periodicidad cíclica para temperatura máxima, promedio y mínima, y precipitación promedio en la zona de Chimborazo, Ecuador. Período 1976-1998.

Condición climática	Coeficientes					R ²
	a ₀	a ₁	b ₁	a ₂	b ₂	
Temperatura:						
Máxima	21.66	0.95	-0.34	-0.27	-0.04	0.95
Promedio	13.87	0.97	0.17	-0.49	-0.16	0.98
Mínima	6.09	0.99	0.67	-0.71	-0.28	0.97
Precipitación:						
Promedio	43.51	11.58	10.49	-20.96	-1.40	0.96

Para la zona en estudio, se puede observar en las Figura 4.5, la ciclicidad del clima que afecta la producción de los cultivos, principalmente los pastos y la producción de papa, los que soportan tres a cuatro meses de sequía (junio, julio, agosto y septiembre). Por lo tanto la producción de pastos, insumo importante para el componente ganadero, es estacional.

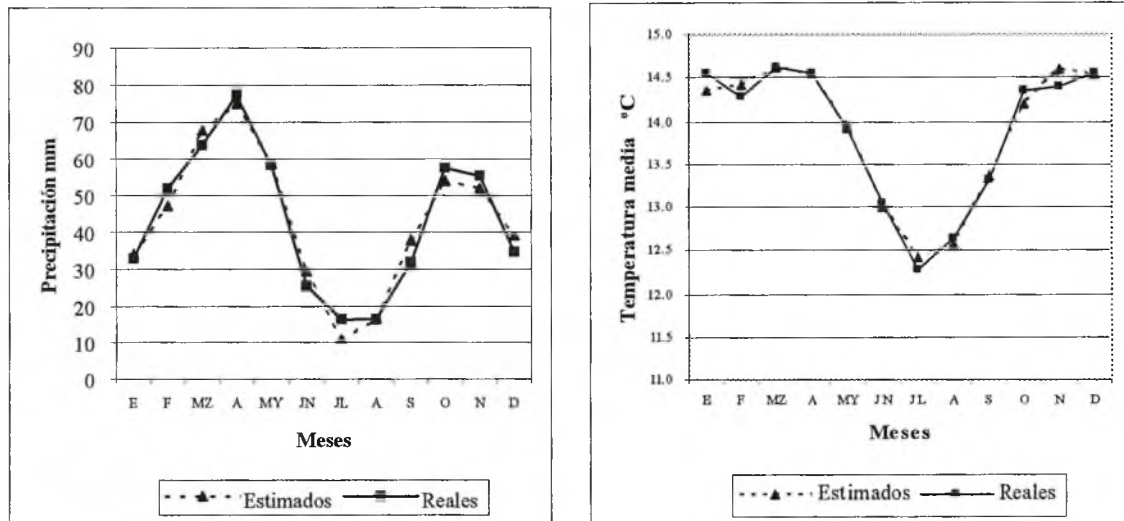


Figura 4.5. Curva de periodicidad de la precipitación y temperatura promedio en la zona del Chimborazo, Ecuador (1976-1998).

CAPITULO V

METODOS DE OPTIMIZACION

Existen diferentes métodos y procedimientos basados en técnicas matemáticas y estadísticas que permiten analizar problemas de optimización de una variable dependiente (Y) influenciada por varias variables independientes (X_i). En este documento se describe, en forma simplificada, el uso de la metodología de superficie de respuesta con relación a arreglos factoriales de experimentos agropecuarios y al uso de modelos de simulación. Así mismo, se describe la técnica de programación lineal, la cual permite la asignación de recursos productivos con relación a costo.

Superficie de Respuesta

Metodología

En aspectos agropecuarios la respuesta biológica o bio-económica es influenciada por varios factores. Sin embargo, en algunas situaciones no es posible controlar todos los factores que la afectan, por lo tanto se considera fijos o se asume que su efecto es nulo o muy pequeño durante su análisis. De este modo se analiza la respuesta (Y) con sólo una variable independiente (X_1), caso del análisis de regresión lineal o cuadrática; por ejemplo, el efecto de la carga animal (X) sobre la ganancia de peso (Y).

En el caso de existir una variable dependiente (Y), que es influenciada por varias variables independientes (X_1, X_2, \dots, X_n), el análisis asume que éstas son continuas y controladas por el investigador con pequeño margen de error, siendo y_i obtenida al azar. Esta relación esta dada por:

$$Y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) + \varepsilon$$

en donde, ε es el error al azar y el valor esperado $E(Y) = \delta$, siendo la superficie representada por $\delta = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ denominada como superficie de respuesta. La Figura 5.1 (A) describe la superficie de respuesta de dos variables X_{1i} y X_{2i} dibujadas sobre el plano del papel, y la respuesta Y_i en plano perpendicular, se visualiza en la Figura 5.1 (B).

Normalmente la forma de la relación de la respuesta de las variables independientes es desconocida. Por lo tanto, el primer paso es encontrar una aproximación adecuada a la verdadera relación funcional entre la respuesta y las variables independientes. Generalmente un polinomio de primer orden, planteado como una regresión lineal múltiple puede ser adecuado:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon$$

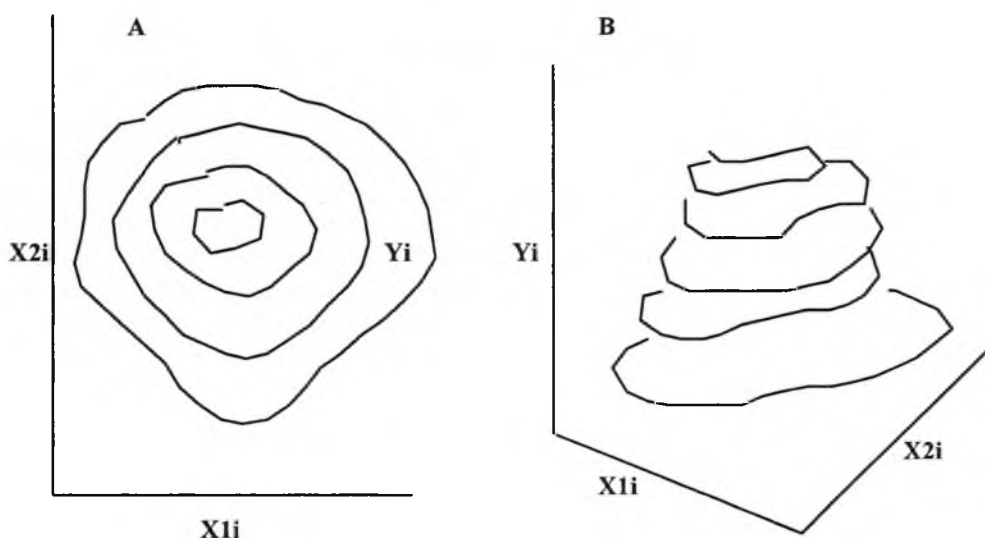


Figura 5.1. Representación esquemática de una variable de respuesta Y en función de dos variables independientes X₁ y X₂.

En caso de existir una respuesta cuadrática, un polinomio de segundo orden puede ser usado:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ij} x_i^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon$$

En el último término el valor de *i* es menor que *j* (*i* < *j*).

En cualquier caso, si la superficie de respuesta es una adecuada aproximación de la verdadera función de respuesta, el análisis de la superficie planteada será equivalente al análisis del actual sistema.

Diseño de composición rotatable central

El diseño experimental de composición rotatable central es expresado como 2^k + 2k + 1(n). Donde 2^k es la parte factorial, 2k la axial y 1 el punto central repetido n veces. En este diseño la rotabilidad expresa que la variancia de respuesta estimada (Y) a un punto (X) es función de la distancia del punto desde el centro del diseño y no una función de dirección (John y Quenoville, 1997).

Para condicionar la rotabilidad de un diseño se escoge un valor α en relación al número de tratamientos factoriales del diseño a la potencia de 1/4; (α = P^{1/4}). Ejemplo: si k=2, 2^k = 2² = 4; luego P^{1/4} = 4^{1/4} = 1.4142. La Figura 5.2 (A) describe la razón de obtener α para expresar rotabilidad en el diseño con k=2; la Figura 5.2 (B) describe el diseño con k igual a 3 factores.

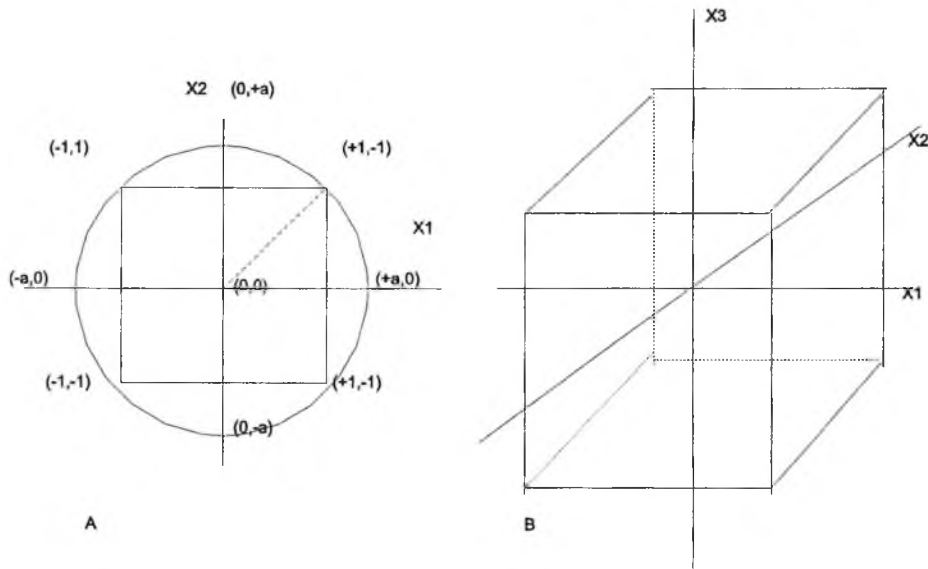


Figura 5.2. Representación esquemática del diseño de composición rotatable central (A) con $K=2$ y (B) con $K=3$; $\alpha=1.4142$.

El Cuadro 5.1 describe el número de tratamientos relacionados a la parte factorial, axial y central para varios factores. Es de mencionar que la eficiencia del diseño está en relación al mayor número de parámetros a estimar en relación a los tratamientos considerados en el diseño. El más eficiente es el de $k=3$; número de parámetros es 10 y el total de tratamientos 15, $(10/15 = 0.67)$.

Cuadro 5.1. Número de tratamientos (factorial, axial y central) para el diseño de composición central rotatable con diferente número de factores $[2^k + 2k + 1(n)]$.

K	2	3	4	5
Puntos: Factorial	4	8	16	32
Axial	4	6	8	10
Central	5	6	7	10
α	1.414	1.682	2.000	2.378
Eficiencia	0.66	0.67	0.60	0.50

A continuación se describe el planteamiento y construcción del diseño de composición central rotatable para 2 y 3 factores con un modelo de segundo orden;

Dos factores:

Niveles => -1.414 -1 0 1 +1.414

Factores x_1
 x_2

La asignación de los tratamientos (puntos) se codifica en función del arreglo factorial, axial y central $[2^k + 2 \times k + n(1)]$:

Factorial ($2^2 = 4$)		Axial ($2 \times 2 = 4$)		Central ($1 \times 5 = 5$)	
x1	x2	x1	x2	x1	x2
-1	-1	-1.414	0	0	0
-1	1	1.414	0	0	0
1	-1	0	-1.414	0	0
1	1	0	1.414	0	0

Con tres factores:

Niveles => -1.682 -1 0 1 1.682

Factores x_1
 x_2
 x_3

La asignación de los tratamientos (puntos) se codifica en función del arreglo factorial, axial y central $[2^k + 2 \times k + n(1)]$:

Factorial ($2^3 = 8$)			Axial ($2 \times 2 = 4$)			Central ($1 \times 5 = 5$)		
x1	x2	x3	x1	x2	x3	x1	x2	x3
-1	-1	-1	-1.682	0	0	0	0	0
-1	-1	1	1.682	0	0	.	.	.
-1	1	-1	0	-1.682	0	.	.	.
-1	1	1	0	1.682	0	.	.	.
1	-1	-1	0	0	-1.682	.	.	.
1	-1	1	0	0	1.682	0	0	0
1	1	-1						
1	1	1						

Los valores pueden ser analizados en forma codificada o sin codificar; sin embargo, la codificación es recomendada por permitir el manejo de la información y cálculo. El análisis de variancia permite determinar:

- Si el modelo explica los resultados en forma lineal, cuadrática o cúbica.
- Si los factores principales son significativos.
- Si existe una falta de ajuste.

Así mismo, se debe establecer el punto estacionario, el cual se presenta cuando las derivadas parciales de la respuesta con respecto a cada factor es cero. El punto estacionario puede indicar un

máximo, mínimo o ambos. Cada coeficiente de los parámetros del modelo es comparado bajo la hipótesis de $H_0: \beta_j=0$. Los coeficientes del modelo permiten el estimar la superficie de respuesta que se desea graficar. Al tener tres factores, uno de ellos se mantiene constante para poder ser graficado en forma similar a la Figura 5.1 (B).

Ejemplo: En la parroquia La Libertad, del cantón Espejo, provincia del Carchi, los pastos constituyen la base de la alimentación de los bovinos. Sin embargo, la variación climática, principalmente precipitación, afecta sustancialmente la disponibilidad de ellos. Los pastos sometidos a un inadecuado pastoreo, expresado en carga animal, tienden a ser degradados afectando la producción de leche. Para compensar la falta de pastos los productores acostumbran a proporcionar a los animales pequeñas cantidades de alimentación suplementaria que ellos denominan *concentrando*. Se estudió las posibles combinaciones de los factores considerados importantes. Para analizar las diferentes combinaciones se utilizó un diseño de bloques completos al azar con 2 repeticiones, mediante el uso de un modelo de simulación de producción de leche, con el cual se pudo observar el efecto de la carga animal, la disponibilidad y el uso de concentrado sobre la producción de leche en un período de 90 días. Los tratamientos en estudio son los que constan en el Cuadro 5.2. El modelo permitió generar diferentes combinaciones dados los factores de carga animal (X_1), disponibilidad (X_2) y uso de concentrado (X_3), sobre la productividad biológica (Y), de bovinos.

Cuadro 5.2. Datos de producción de leche obtenidos mediante simulación. Parroquia La Libertad, provincia del Carchi, Ecuador, 2001.

Tratamiento	Repetición	Carga Animal UBA.ha ⁻¹	Disponibilidad Kg MS.ha ⁻¹	Concentrado Kg.día ⁻¹	Producción* Kg.90días ⁻¹
5	1	0.93	2,000	1.6	1,928
1	1	1.6	1,600	0.93	2,001
2	1	1.6	2,400	0.93	2,000
7	1	3.2	1,436	5.3	2,100
8	1	3.2	2,564	5.3	2,246
9	1	3.2	2,000	5.3	2,155
3	1	4.8	1,600	8	1,814
4	1	4.8	2,400	8	2,030
6	1	5.5	2,000	9.2	1,519

* Promedio

Este análisis se realizó con el objetivo de observar la posible dinámica de aumentar el hato promedio actual al nivel del pequeño productor (3-5 vacas) y orientar la alternativa a un punto de mayor eficiencia pese a que en la actualidad existen restricciones (acceso al crédito es limitado) y limitaciones tecnológicas. Se analizó la información mediante una superficie de respuesta para la alternativa de producción de leche, que es la que constituye una posibilidad de aumentar el ingreso del productor.

El análisis de varianza para producción de leche evidencia que existe un efecto lineal y cuadrático ($P<0.01$) para carga animal y disponibilidad, y la interacción carga animal por disponibilidad de forraje ($P<0.05$). No hubo evidencia de falta de ajuste en el modelo. El R^2 fue 85% para producción de leche. Los coeficientes para estimar producción de leche fueron significativamente diferentes de cero ($P<0.01$).

Cuadro 5.3. Coeficientes de regresión obtenidos para la variable producción de leche. Parroquia La Libertad, provincia del Carchi, Ecuador, 2001.

Coeficiente	Producción de leche
Intercepto	2,150.31
Carga Animal (CA)	-140.10
Disponibilidad (DI)	88.45
CA x CA	-397.01
DI x CA	73.13
DI x DI	44.41

En la Figura 5.3 se presenta la información de producción de leche, en función de la disponibilidad de forraje (1,436; 2,000 y 2,564 kg MS.ha⁻¹) a diferente carga animal (0.93, 1.6, 3.2, 4.8 y 5.5 UBA.ha⁻¹). La superficie de respuesta utiliza la información del Cuadro 5.4.

Cuadro 5.4. Producción de leche (l), con uso de concentrado a diferente disponibilidad de forraje (kg MS.ha⁻¹) y carga animal (UBA.ha⁻¹), en la zona del Carchi, Ecuador, 2001.

Carga animal (UBA.ha ⁻¹)	Disponibilidad (kg MS.ha ⁻¹)		
	1,436	2,000	2,564
0.93	842	904	1,136
1.60	1,893	2,040	2,102
3.20	2,150	2,151	2,505
4.80	1,468	1,613	2,114
5.50	0	282	929

Como se puede apreciar en el Cuadro 5.4 y en la Figura 5.3, se observa que a una misma carga animal la producción de leche aumenta en relación a la disponibilidad de forraje. En forma similar a medida que aumenta la carga con una misma disponibilidad la respuesta disminuye, así, a carga animal de 3.20 UBA.ha⁻¹ con disponibilidad máxima de forraje (2,564 kg MS.ha⁻¹), es con la que se obtiene la mayor producción de leche. Sin embargo, en la práctica las capacidades de carga y las disponibilidades se complementan con el uso de concentrado.

De esta manera se observa que la carga de 3.2 UBA.ha⁻¹ con las diferentes disponibilidades son las que producen mayores rendimientos de leche. Sin embargo, esta no es la que mejores beneficios netos reporta; esto es debido al uso de concentrado. Así, los mejores beneficios netos se presentaron en la situación en donde la carga animal es de 1.60 UBA.ha⁻¹; con un consumo de concentrado de 0.93 kg.día⁻¹ de MS, no así en la situación con carga animal de 3.2 UBA.ha⁻¹ en donde se proporcionó a los animales 5.3 kg.día⁻¹ de MS de concentrado.

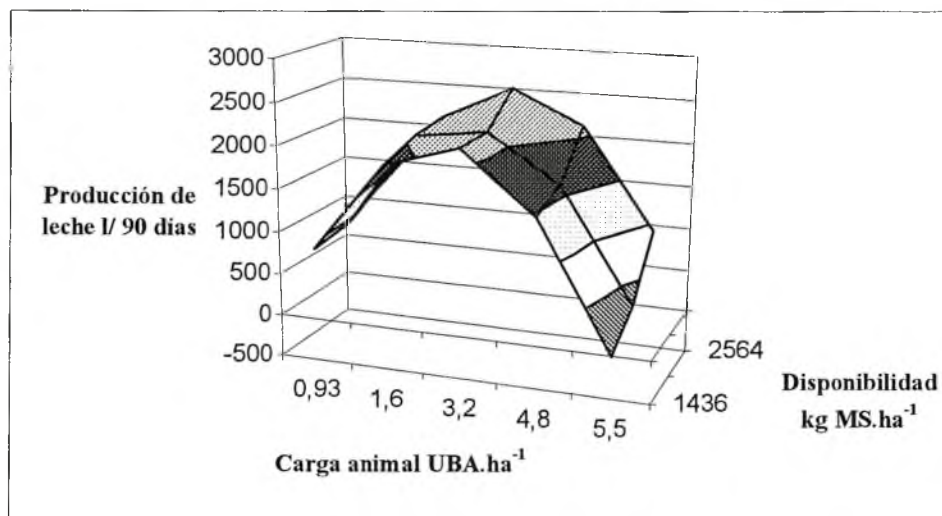


Figura 5.3. Superficie de respuesta de la producción de leche obtenida mediante simulación. Parroquia La Libertad, provincia del Carchi, 2001.

Programación Lineal

Introducción

La programación lineal es un método matemático desarrollado para solucionar problemas complejos sobre el uso, asignación y distribución de recursos con restricciones (Hillier y Lieberman, 1986). En el área de sistemas agropecuarios las aplicaciones comunes se refieren al cálculo de raciones de mínimo costo, asignación de tierra para cultivar determinados cultivos, decisiones sobre cantidades de fertilizante, planificación de uso de maquinaria, tierra y trabajo, así como sobre el uso de toros.

En este capítulo se presenta los conceptos básicos de la programación lineal como método de asignación de recursos productivos, con el objeto de maximizar ganancia o minimizar costos. Una mayor información teórica puede ser obtenida en textos específicos sobre el particular.

Modelo matemático

El planteamiento matemático está sujeto a la descripción del problema en relación con la obtención de la información necesaria para estructurar el problema en un modelo matemático de programación lineal.

En forma general la estructura matricial permite maximizar o minimizar una función objetivo $Z=Cx$ sujeto a $Ax \leq b$. Donde x es el vector de las actividades o variables de decisión ($x \geq 0$). C y A son las matrices de costos y de coeficientes técnicos de cada actividad respectivamente y b es el

vector con las restricciones de uso. En la estructura matemática se distinguen los siguientes componentes:

- Las variables de decisión; aquellas que describen una acción particular. Ejemplo: la cantidad de fertilizante a aplicar sobre un tipo de tierra.
- La función objetivo de las variables de decisión que se desea optimizar. Ejemplo: minimizar el costo de una ración.
- Las restricciones de las variables de decisión. Ejemplo: la suma total de la mano de obra usada en varios cultivos no puede pasar de la cantidad de mano de obra disponible.

La estructura matemática da la característica principal de que la función objetivo es lineal y completamente determinística (no contiene elementos al azar); así mismo, las variables de decisión son continuas y no negativas. En la solución de la función objetivo se puede plantear el maximizar o el minimizar. Ambos son equivalentes, debido a que minimizar una función es maximizar el negativo de la función: mínimo $Z =$ máximo $(-Z)$. Ejemplo: sea una función objetivo $Z = 3.6 X_1 + 2.8 X_2$ que se desea minimizar, la misma puede ser descrita como el máximo $(-Z) = -3.6 X_1 - 2.8 X_2$ como el planteamiento de minimizar la función objetivo.

Con el objeto de describir la estructura de programación lineal se plantea tres ejemplos en el área agropecuaria, con base en la información generada en el proyecto de sistemas de producción mixtos: cultivos-ganadería, en la ecorregión andina del Ecuador. El primero sobre la incorporación de materia orgánica y fertilizante en una pradera altoandina; el segundo sobre siembra de cultivos en diferentes tipos de suelos; y el tercero sobre la optimización del sistema de producción mixto: cultivo-ganadería en el Alto Guanujo de la provincia de Bolívar. Los ejemplos han sido estructurados, para describir una situación con restricciones en relación con el aspecto bio-económico. Así mismo, se plantea el cambio de las restricciones para indicar la posibilidad de usar la programación lineal no sólo como un modelo estático sino de alternativas (sensibilidad en la asignación de recursos con restricciones).

Ejemplo 1: Un productor desea determinar la incorporación de materia orgánica (X_1) que tiene un costo de $30 \text{ \$.t}^{-1}$, y un fertilizante (X_2) con el costo de $220 \text{ \$.t}^{-1}$ sobre una área de 3 ha. Las cantidades mínimas son 60 kg.ha^{-1} de nitrógeno, 70 kg.ha^{-1} de fósforo (P_2O_5) y 40 kg.ha^{-1} de potasio (K_2O). La mano de obra que él dispone es de 120 horas. La composición química de la materia orgánica es de 5 kg.t^{-1} de nitrógeno, 2 kg.t^{-1} de fósforo y 4 kg.t^{-1} de potasio. La mezcla de fertilizante tiene 100 kg.t^{-1} de nitrógeno, 120 kg.t^{-1} de fósforo y 60 kg.t^{-1} de potasio. La forma de aplicación de ambos compuestos está sujeta a 4 t.hora^{-1} para la materia orgánica y 2 t.hora^{-1} para el fertilizante. El productor tiene almacenado 1.5 toneladas del fertilizante, el cual no está disponible en el mercado para su compra.

La estructura del modelo de programación lineal es:

- Función objetivo; Minimice $Z = 50 X_1 + 220 X_2$

• Condiciones y restricciones:

$$\begin{aligned}
 5 X_1 + 100 X_2 &\geq 180 && \text{(restricción de nitrógeno).} \\
 2 X_1 + 120 X_2 &\geq 210 && \text{(restricción del fósforo).} \\
 4 X_1 + 60 X_2 &\geq 120 && \text{(restricción del potasio).} \\
 4 X_1 + 2 X_2 &\geq 120 && \text{(restricción de tiempo).} \\
 1 X_2 &\leq 1.5 && \text{(cantidad máxima disponible de fertilizante).}
 \end{aligned}$$

La solución de este problema puede ser obtenida gráficamente. Sin embargo, actualmente existen diferentes programas computarizados de programación lineal que pueden ser utilizados. Estos programas, usan en su mayoría, el método símplex.

La solución del problema planteado es el uso de 15 t. de materia orgánica (5 t.ha^{-1}) y 1.5 t. de la mezcla del fertilizante (0.5 t.ha^{-1}). El costo total es de \$ 780 ($260 \text{ $.ha}^{-1}$). En caso de tener la posibilidad de comprar la mezcla de fertilizante en el mercado (eliminar restricción de ≤ 1.5) la solución es el uso de 2 t. de fertilizante a un costo de \$ 400 ($133 \text{ $.ha}^{-1}$) Observe la diferencia de costo; esta se debe a la alta concentración de N, P_2O_5 y K_2O_5 y el precio de la mezcla, por lo tanto, en esta solución se excluye la materia orgánica. Además de los ingredientes y el costo, debe mencionarse que la primera solución indica el uso de materia orgánica; ésta mejora su contenido en el suelo, y tiende a aumentar la retención de agua; sin embargo, la mayoría de los elementos se encuentra en forma orgánica, los que no pueden ser directamente utilizados por las plantas. Consecuentemente, su uso es diferido hasta la transformación a formas inorgánicas.

Ejemplo 2: La comunidad Cordillera de los Andes, en la provincia de Chimborazo, estaba interesada en planificar la siembra de cultivos que maximicen su beneficio. La comunidad está constituida por 20 familias que disponen de 7 ha en la parte alta y de 10 ha en la parte baja. El capital disponible es de \$ 500 por familia (\$10,000), para ser usado en los cultivos (semillas, abonos, etc.). Los miembros de la comunidad disponen de 120 jornales por familia (2,400 jornales). Trabajo adicional puede ser contratado al costo de 2 \$.jornal⁻¹. Los cultivos en consideración son: papa, zanahoria, cebada, y cebolla colorada. La información disponible para cada cultivo se presenta en el Cuadro 5.5. Ellos desean sembrar al menos 5 ha de papa, 2 de zanahoria, 8 ha de cebada y 2 de cebolla colorada. Además deben tener al menos 1 ha de papa en la parte alta. El problema es solucionado considerando con restricción de uso de jornales.

Cuadro 5.5. Producción, jornales, costo y precio de los recursos productivos en la Comunidad Cordillera de los Andes, Chimborazo, 1999.

Cultivo	Producción esperada t.ha^{-1}		Trabajo Jornales. ha^{-1}	Otros costos \$. ha^{-1}	Precio \$. t^{-1}
	Alta *	Baja *			
Papa (P)	15	17	116	1,268	180
Zanahoria (Z)	12	13	59	450	130
Cebada (C)	1.7	2	14	180	330
Cebolla colorada (CC)	11	10	120	600	200

* Areas diferenciadas por altitud

La estructura del problema está dada por el beneficio esperado sobre cada cultivo (\$.ha⁻¹): producción por precio menos el costo de trabajo y otros costos. Ejemplo: para papa en la parte alta: $15 \times 180 - 116 \times 2 - 1,268 = 1,200$ \$.ha⁻¹.

La superficie de los cultivos es distribuida en:

- X_{PA} y X_{PB} para papa en la parte alta y baja.
- X_{ZA} para zanahoria en la parte alta.
- X_{CA} y X_{CB} para cebada en la parte alta y baja.
- X_{CCA} para cebolla colorada en la parte alta.

La función objetivo es maximizar:

$$Z = 1,200X_{PA} + 1,560X_{PB} + 992X_{ZA} + 353X_{CA} + 452X_{CB} + 1,160X_{CCA}$$

Las condiciones y restricciones son:

$$\begin{array}{rcl}
 X_{PA} & + & X_{ZA} + X_{CA} + X_{CCA} \leq 7 \text{ (Parte Alta)} \\
 & X_{PB} & + X_{CB} \leq 10 \text{ (Parte Baja)} \\
 1,268(X_{PA} + X_{PB}) + 450 X_{ZA} + 180(X_{CA} + X_{CB}) + 1,100X_{CCA} & \leq & 10,000 \text{ (Capital)} \\
 116(X_{PA} + X_{PB}) + 59 X_{ZA} + 14(X_{CA} + X_{CB}) + 120X_{CCA} & \leq & 2,400 \text{ (Trabajo)} \\
 & & \leq 5 \text{ (ha. de papa)} \\
 & & \leq 2 \text{ (ha. de zanahoria)} \\
 & & \leq 8 \text{ (ha. de cebada)} \\
 & & \leq 2 \text{ (ha. de cebolla colorada)} \\
 & & \geq 1 \text{ (ha. de papa parte Alta)}
 \end{array}$$

La solución a este problema se presenta en forma resumida en el Cuadro 5.6. La solución obtenida muestra que sin restricción de jornales la comunidad obtendrá un retorno de \$ 15,162 (\$758 familia⁻¹).

Cuadro 5.6. Maximización del beneficio para el sistema de producción de la Comunidad Cordillera de los Andes, provincia de Chimborazo, Ecuador, 1999.

Cultivos	Solución óptima
X1 = hectáreas de papa en la parte alta	1
X2 = hectáreas de papa en la parte baja	4
X3 = hectáreas de zanahoria amarilla en la parte alta	2
X4 = hectáreas de cebada en la parte alta	2
X5 = hectáreas de cebada en la parte baja	6
X6 = hectáreas de cebolla colorada en la parte alta	2
Maximización de beneficio en \$ por ciclo	15,162

Ejemplo 3: Las comunidades del Alto Guanujo de la provincia de Bolívar, en donde se manejan sistemas de producción mixtos: cultivos-ganadería, desean saber cuál es la maximización de sus beneficios en base del sistema tradicional que ellos manejan. Para ello se dispone de la información necesaria que permite construir los procesos, la función lineal objetivo, los coeficientes y las respectivas restricciones a las cuales están sujetos los procesos (Anexo). Los componentes del sistema de producción con sus respectivas variables utilizadas para el estudio de estas comunidades son: papa, producción de leche, ovinos, cuyes, porcinos, haba, cebada, melloco, oca y cebolla de rama.

Las hectáreas de papa más las hectáreas de potreros (traducidas por carga animal de vacas y ovinos) y más las hectáreas de los cultivos de haba, oca, melloco, cebada y cebolla de rama deben ser menores o iguales a 7 ha, y la mano de obra en general (familiar, contratada, prestada, etc.) para el cultivo de papa, producción de leche, cultivos de haba, oca, melloco, cebada, cebolla de rama, producción de porcinos, ovinos y cuyes debe ser menor o igual a 600 jornales.

Los resultados obtenidos para este escenario bio-económico se presentan en el Cuadro 5.7, donde se observa que la solución final es la maximización de beneficios en \$ 1,289 durante un ciclo de un año. Para obtener este beneficio los productores de las comunidades del Alto Guanujo mantienen en su sistema de producción los componentes agrícola y pecuario. El agrícola representado por los cultivos de papa, haba, cebada, melloco, oca, cebolla de rama principalmente, y el pecuario representado por bovinos, ovinos, porcinos y cunicula.

La producción de papa representada por la siembra de 0.7 ha, presenta una tecnología tradicional. Los productores para la preparación de suelo utilizan 4 horas.ha⁻¹ para el arado y 4 horas.ha⁻¹ para rastrar, para lo cual alquilan el tractor. La cantidad de semilla utilizada es de 795 kg, esta es propia, comprada a los vecinos o en el mercado y es de mala calidad. La fertilización se realiza al momento de la siembra colocando el fertilizante 10-30-10 y en el aporque el 18-46-00 en una relación de 1 quintal por tres de semilla. Las aplicaciones fitosanitarias las realiza el jefe de hogar o el hijo mayor mezclando 1 kg de fertilizante foliar, 1.75 kg de funguicida y 0.75 kg de insecticida por aplicación química en tres ocasiones. Utilizan 95 jornales familiares e intercambio de manos que es la ayuda que prestan los miembros de la comunidad en las labores de siembra, aporque, deshierba y cosecha principalmente, que les pagan con trabajo al momento en que cada familia está realizando estas labores. El consumo de papa por parte de la familia campesina llega a 548 kg al año (6% de la producción total). La familia está conformada por seis miembros: padre, esposa, dos hijos y dos hijas; y cada persona consume 0.25 kg.día⁻¹.

La producción de leche ocupa 2.8 ha con pastizales naturales y mejorados. El tiempo que emplean en la preparación del suelo para la siembra de pastos mejorados es 4 horas.ha⁻¹ ya que siembran después de la cosecha de papa. No realizan fertilización y tampoco aplican pesticidas para controlar plagas y enfermedades. No realizan labores culturales ni mantenimiento de los potreros. El número de vacas en producción que poseen es 4, y son animales criollos que los mantienen al soguéo. Realizan un solo ordeño en donde primero hacen que lacte el ternero y luego proceden a sacar la leche. Esto efectúan las mujeres en el mismo potrero alrededor de las 10:00 horas, luego de realizar los quehaceres domésticos y actividades agrícolas. La alimentación de los animales se basa en forraje y sal mineral. Solo en la época seca suministran alimento suplementario en una cantidad de 50 kg por animal por época. Ejecutan dos tratamientos sanitario.año⁻¹.vaca⁻¹ y un tratamiento

sanitario.año⁻¹.ternero⁻¹ que por lo general es para parásitos y vitaminización. La mano de obra requerida para estas actividades es de 120 jornales por año para manejo y cuidado de animales. Los nacimientos por año son de 3 terneros, vendiendo un ternero y quedándose con dos en la finca. La producción de leche promedio por vaca es de 6 kg.día⁻¹, estos animales en conjunto producen 8,760 kg de leche al año, de los cuales dedican a la venta 8,030 kg durante el año y al consumo familiar 730 kg durante el año.

El componente ovino representa 1 ha en donde se mantiene 10 animales, que se colocan en los potreros, luego del ganado vacuno para que igualen el pasto; de ellos, los productores aprovechan su lana para realizar diferentes tejidos y su carne en una cantidad de 40 kg para el autoconsumo, y la venta de 80 kg.

El componente de cuyes con un número de 20 animales, los mantienen en la cocina. Los alimentan con forraje y se consume en ocasiones especiales como: cosechas, siembras, matrimonios, carnaval, etc.

El componente porcino con 4 animales, los hacen pastorear en las mañanas y en las tardes. Les suministran el sobrante de la comida familiar; los sacrifican para las fiestas de Carnaval y San Pedro; y venden en una cantidad de 150 kg.

La producción de haba representa la siembra de 0.3 ha. No se utiliza tecnología y por lo tanto la producción es de 1,000 kg.ha⁻¹; realizan la aplicación de funguicidas en una cantidad de 6 kg.ha⁻¹. No fertilizan, y realizan un rascadillo y un aporque a los 45 y 75 días respectivamente.

La producción de oca representa la siembra de 0.12 ha dando una producción de 3,500 kg.ha⁻¹. No se utiliza tecnología, no fertilizan ni hacen controles químicos; solo realizan el aporque a los 90 días; para el consumo lo someten a los rayos del sol para endulzarla.

La producción de melloco representa la siembra de 0.15 ha dando una producción de 3,200 kg.ha⁻¹. No se utiliza tecnología, no fertilizan ni hacen controles químicos; solo realizan el aporque a los 90 días. La producción es dedicada para el autoconsumo y el sobrante para la venta.

La producción de cebada representa la siembra de 0.15 ha dando una producción de 900 kg.ha⁻¹; hacen un control de malezas manualmente; no fertilizan ni aplican químicos. Luego de cosechar la cebada la secan y trillan, y lo conseguido llevan a moler para obtener harina. Se consume en diferentes formas: máchica, pan, harina, etc.

La producción de cebolla de rama representada por la siembra de 0.1 ha con una producción de 5,000 kg.ha⁻¹. No se utiliza tecnología, no fertilizan ni hacen controles químicos; solo realizan el deshierbe a los 30 días. La producción es dedicada para el autoconsumo y el sobrante para la venta.

Cuadro 5.7. Actividades consideradas en el análisis de maximización del beneficio para el sistema de producción de pequeños productores del Alto Guanujo, provincia de Bolívar, Ecuador (Modelo Original), 2001.

Componentes del sistema	Solución óptima
PAPA (0.7 ha)	
X ₁ = hectáreas de papa	0.7
X ₂ = consumo de papa en kg	548
X ₃ = semilla de papa en kg	795
X ₄ = fertilización para papa en kg	230
X ₅ = fungicidas aplicados para papa en kg	5
X ₆ = insecticidas aplicados para papa en kg	2
X ₇ = fertilización foliar para papa en kg	3
X ₈ = preparación del suelo para papa en horas	6
X ₉ = mano de obra familiar para papa	95
LECHE (2.8 ha)	
X ₁₀ = número de vacas en producción	4
X ₁₁ = consumo familiar de leche en kg	730
X ₁₂ = venta de leche en kg	8,030
X ₁₃ = nacimientos de terneros	3
X ₁₄ = número de terneros que quedan	2
X ₁₅ = venta de terneros	1
X ₁₆ = venta de vacas por descarte	1
X ₁₇ = semilla de pastos en kg	40
X ₁₈ = preparación del suelo para pastos en horas	4
X ₂₀ = sal mineral para animales en kg	85
X ₂₁ = alimento suplementario para animales en kg	200
X ₂₂ = tratamientos sanitarios para animal	9
X ₂₃ = mano de obra familiar para producción de leche	120
OVINOS (1 ha)	
X ₂₄ = número de ovinos	10
X ₂₅ = consumo de carne de ovino en kg	40
X ₂₆ = venta de carne de ovino en kg	80
X ₂₇ = consumo de lana en kg	10
X ₂₉ = alimento para ovinos en kg	5,840
X ₃₀ = mano de obra familiar para producir ovinos	40
CUYES	
X ₃₁ = número de cuyes	20
X ₃₂ = consumo de carne de cuy en kg	6
X ₃₃ = venta de carne de cuy en kg	4
X ₃₄ = alimento para cuyes en kg	440
X ₃₅ = mano de obra familiar para producir cuyes	10

Continuación Cuadro 5.7.

COMPONENTE DEL SISTEMA	SOLUCION
PORCINOS	
X ₃₆ = número de porcinos	4
X ₃₇ = consumo de carne de porcinos en kg	50
X ₃₈ = venta de carne de porcinos en kg	150
X ₃₉ = alimento para porcinos en kg	1,200
X ₄₀ = mano de obra familiar para producir porcinos	16
HABA (0.3 ha)	
X ₄₁ = hectáreas del cultivo de haba	0.3
X ₄₂ = consumo de haba en kg	18
X ₄₃ = semilla de haba en kg	33
X ₄₅ = fungicidas aplicados para haba en kg	2
X ₄₈ = mano de obra familiar para haba	21
OCA (0.12 ha)	
X ₄₉ = hectáreas del cultivo de oca	0.12
X ₅₀ = consumo de oca en kg	150
X ₅₁ = semilla de oca en kg	66
X ₅₆ = mano de obra familiar para oca	10
MELLOCO (0.15)	
X ₅₇ = hectáreas del cultivo de melloco	0.15
X ₅₈ = consumo de melloco en kg	150
X ₅₉ = semilla de melloco en kg	75
X ₆₄ = mano de obra familiar para oca	12
CEBADA (0.15 ha)	
X ₆₅ = hectáreas del cultivo de cebada	0.15
X ₆₆ = consumo de cebada en kg	50
X ₆₇ = semilla de cebada en kg	14
X ₇₂ = mano de obra familiar para cebada	6
CEBOLLA DE RAMA (0.1 ha)	
X ₇₃ = hectáreas del cultivo de cebolla de rama	0.1
X ₇₄ = consumo de cebolla de rama en kg	50
X ₇₅ = semilla de cebolla de rama en kg	100
X ₈₀ = mano de obra familiar para cebolla de rama	9
MAXIMIZACION DE BENEFICIOS (\$.año⁻¹) = 1,289	

CAPITULO VI

SOSTENIBILIDAD Y ESTABILIDAD AGROPECUARIA

Un sistema agropecuario involucra un conjunto de características físico-biológicas inherentes al sistema que propician su estabilidad. Sin embargo, estabilidad es un término relativo, ya que aún sin la intervención del hombre los sistemas agro-ecológicos se encuentran en cambios continuos, no sólo por la misma evolución natural de las especies (flora y fauna), sino también a los cambios climáticos y del suelo. Estos últimos influyen en la disponibilidad de recursos alimenticios para las plantas y los animales. Sin embargo, mediante la intervención racional de los seres humanos se trata de controlar y/o modificar las formas de producción para conseguir estabilización y por consiguiente definir al sistema agro-ecológico, en este enfoque se incluye los Sistemas Agropecuarios.

El estudio y análisis de los Sistemas Agropecuarios se realizan previo planteamiento e identificación de la jerarquía o niveles de trabajo. En ellos la región agro-ecológica constituye un nivel de análisis, en el que el hombre siembra cultivos y cría animales para su beneficio. Aspecto que está ligado al objetivo de productividad, el cual, en algunos casos, atenta contra la sostenibilidad ecológica. Sin embargo, un Sistema Agropecuario puede ser sostenible en forma bio-económica en relación con la ecología. Para lograr este aspecto es necesario un balance de los aspectos biológicos y económicos. No obstante, un sistema biológicamente sostenible puede ser económicamente no rentable, lo cual indica un sistema insostenible desde el punto de vista económico.

En este documento se plantea la medición de sostenibilidad por medio de modelos bio-matemáticos basados en indicadores propios de una situación específica. Los modelos pueden ser aplicados en diversas disciplinas, así mismo permiten su relación con otros indicadores para una mejor interpretación del concepto de sostenibilidad.

Definición de Sostenibilidad

Existen diferentes puntos de vista con respecto a la definición de sostenibilidad. Desde la simple definición estática, que es mantener los niveles actuales de producción, hasta aquella que plantea el uso de los recursos naturales en forma eficiente sin deterioro del ambiente. Sin embargo, el término de sostenibilidad no sólo se aplica a producción, sino a desarrollo, ecología y recursos naturales en forma conjunta. Por lo tanto, una definición de sostenibilidad debe estar ligada a los factores mencionados. La definición de producir eficientemente sin deterioro del ambiente, incluye los elementos productivos en relación con las necesidades y mejora del ambiente. En forma similar, la Sociedad Americana de Ingenieros Agrónomos plantea que una agricultura sostenible es aquella que a largo término mejora la calidad del ambiente y los recursos naturales sobre la cual la agricultura se basa, para proveer las necesidades humanas básicas de alimentación en forma económicamente viable que mejore la calidad de vida de los productores y la sociedad como un todo.

Desde el punto de vista de análisis bio-matemático, la definición de un sistema sostenible se centra en que la salida (producto) no debe tener una tendencia negativa con relación al tiempo; la variación entre salidas son consideradas como la estabilidad del sistema.

Lo anteriormente expuesto conduce a dos diferentes tipos de definiciones. Cada una corresponde a un tipo de enfoque que es necesario reconocer para llevar a cabo un análisis de la sostenibilidad y para plantear un problema específico. Por lo tanto, es posible agrupar las definiciones de sostenibilidad en el sentido "amplio" y en el sentido "estrecho". El primer tipo abarca la definición amplia para la cual hay indicadores biológicos, económicos, sociales y culturales en relación con el medio ambiente. El tratar de encontrar un solo indicador para todas las variables involucradas representa un reto. El segundo grupo se basa en forma objetiva y puntual para hacer uso de ciertos indicadores biológicos, económicos o la combinación de ellos dentro del aspecto productivo en relación con el ambiente. En todo caso, este grupo deja implícito el aspecto social y cultural, especialmente cuando se plantea alternativas tecnológicas para una zona y grupo en particular.

En ambos casos debe reconocerse la necesidad de contar con variables definidas que solas o en conjunto proporcionen un indicador. Definidos estos, se podrá realizar investigación y hacer seguimiento a diversos tipos de acción que actualmente se realizan en diferentes zonas agropecuarias.

Análisis de Sostenibilidad

Para analizar y precisar el concepto de sostenibilidad se plantea dos enfoques: el no cuantitativo y el cuantitativo. Estos enfoques describen a su vez una serie de definiciones (De Datta, 1990).

Enfoque no cuantitativo

El enfoque no cuantitativo plantea que toda cuantificación tiende a distorsionar el proceso de investigación. Se basa en que al escoger una o más variables cuantificables, a expensas de otras no cuantificables, se diluye el análisis, debido a que algunas de las no cuantificables pueden ser de mayor importancia conceptual. Así mismo, plantea que los modelos de sistemas biológicos tienen una inconsistencia (interna) que no compensa su falta de realismo. Este esquema es parecido al reduccionismo en la interpretación y eficacia de los modelos.

En forma similar, en algunos casos se plantea la no-cuantificación, pero si es posible observar una medida de dirección sin magnitud. Este esquema da implícitamente la posibilidad de cuantificar.

Enfoque cuantitativo

El enfoque cuantitativo tiende a expresar la sostenibilidad de los sistemas mediante parámetros. Se parte de la premisa de que si un sistema es sostenible o no con base a uno o más parámetros que definen un sistema. Así mismo, por medio de los parámetros escogidos es posible la comparación de la sostenibilidad de los sistemas. Por lo tanto, en un análisis agropecuario, que incluya el término de sostenibilidad, este puede ser definido por medio de variables cuantitativas.

Básicamente se distinguen diversos parámetros sobre tendencias regionales o tendencias acumulativas en relación a entradas (Input) y salidas (Output). Las variables que afectan el sistema están en función del tiempo en relación con la disciplina que explica un determinado fenómeno físico-biológico, o socio-económico a diferentes niveles jerárquicos. A nivel de un cultivo o animal se puede utilizar la producción ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), a nivel de sistema de finca el factor total de productividad (FTP) o el ingreso ($\text{\$}\cdot\text{ha}^{-1}$) y a nivel de región o mercado la oferta disponible (t).

Entre las variables bio-económicas compuestas, descritas en algunos casos como indicadores, se tiene: la producción bruta total, la producción neta y el ingreso neto por unidad de área. Así como el ingreso agrícola o pecuario por unidad de superficie, el ingreso pecuario por unidad animal, el total de ingreso neto por el total del gasto en mano de obra; o el ingreso neto agrícola o pecuario por gasto en mano de obra específica al tipo de producción.

En este último caso, Lynam y Herdt (1989) plantean la medida de sostenibilidad como un factor de productividad total ($\text{FPT} = \text{O/I}$). Así mismo, la tendencia de la producción per cápita (C), (expresada como $\text{kg}\cdot\text{ha}\cdot\text{hab}^{-1}$) propone el uso de la producción por área (Y) como $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, el área cosechada (A) expresada en hectáreas (ha) y la densidad poblacional (P) como $\text{hab}\cdot\text{ha}^{-1}$. En esta forma, la ecuación se plantea como: $C = Y(A/P)$. Si esta ecuación es diferenciada con respecto a tiempo (dt) y expresada como cambio porcentual se tiene: $(dC/dt)/C = (dY/dt)/Y + (dA/dt)/A - (dP/dt)/P$, donde: $(dC/dt)/C$ es el cambio porcentual en la producción per cápita en un reducido incremento en el tiempo. Por ejemplo: si la producción crece a 3.5% por año, el área cosechada disminuye a 0.4% al año y la población crece a 2.5% por año; la producción per cápita está incrementando en $3.5 + (-0.4) - 2.5 = 0.6\%$ por año. Sin embargo, esta medida no provee información sobre aspectos técnicos pero cualquier disminución en producción se refleja como insostenibilidad del sistema agrícola.

Otro factor de productividad total (FPT), planteado por CIMMYT⁵ y utilizado también por el IRR⁶ en el monitoreo de sus programas, se expresa como: $\text{TFP} = Q - S_L(L) - S_K(K)$ donde: TFP es el factor de productividad por año expresado como porcentaje de cambio por año; Q es el porcentaje de crecimiento por año; L es el crecimiento porcentual en trabajo utilizado en el sistema; K es el crecimiento porcentual de capital utilizado por año; S_L y S_K son constantes de trabajo y de capital compartido. Estos coeficientes deben ser calculados para cada región o área específica.

En la Figura 6.1 se describe un esquema para el análisis y seguimiento de la sostenibilidad de un sistema agropecuario.

⁵ CIMMYT; Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo.

⁶ IRR; International Rice Research Institute

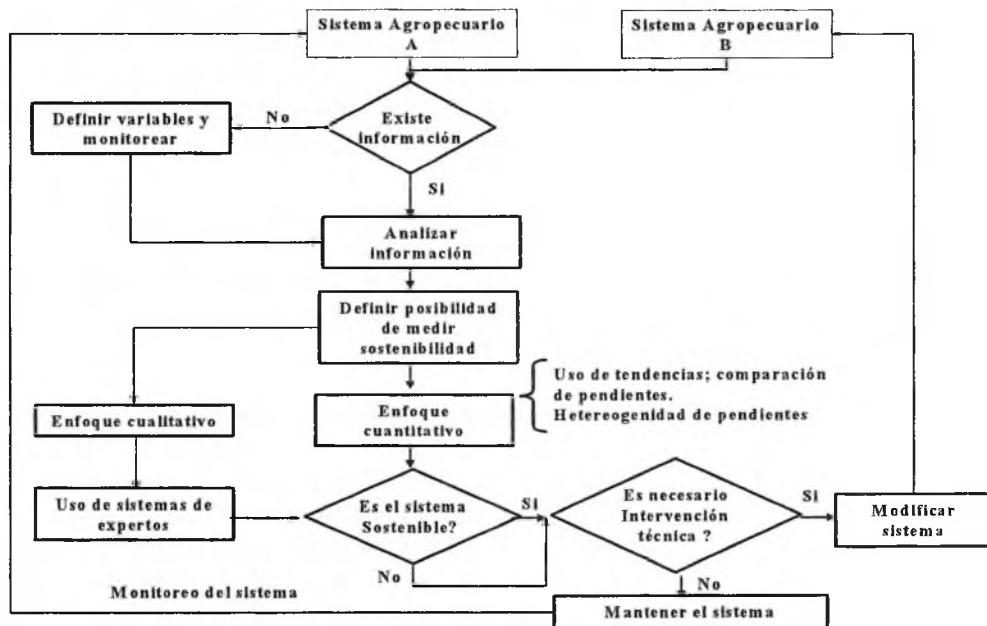


Figura 6.1. Pasos en la definición de la información y esquema conceptual sobre la medición de sostenibilidad.

Uso de modelos bio-matemáticos

Un aspecto importante a considerar en el análisis de sostenibilidad es el determinar si existe o no la información cuantitativa específica de la, o las, variables que se desean analizar sobre el sistema (Figura 6.1). Así mismo se debe reconocer la complejidad de ellas. Por lo que, la posibilidad de repetir o "experimentar" para conocer como responde un sistema es, en algunos casos, difícil o imposible. Por lo tanto, el uso de modelos de simulación y de los de programación lineal es una ayuda básica en el análisis de la sostenibilidad, especialmente para indicar el punto de intervención técnica sin deterioro del ambiente. Modelos de simulación, planteados en experimentos de composición central rotatable, pueden proporcionar la base del planteamiento de la sostenibilidad de los sistemas agropecuarios.

En este documento se plantea el análisis de sostenibilidad bio-económica como el cambio de una variable biológica o económica con respecto al tiempo (dy/dt). Cuando el valor es cero, se considera que el sistema es estable. Un valor mayor o igual a cero indica un sistema sostenible. Valores menores a cero indican un sistema insostenible. Para características de tipo negativo (grado de salinización del suelo) se aplica lo inverso.

La Figura 6.1 describe los pasos a considerar en la medición de sostenibilidad en Sistemas Agrícolas. Las variables de respuesta a considerar pueden ser: erosión del suelo, pérdida de la estructura del suelo, calentamiento térmico, reducción de biodiversidad, salinización de áreas irrigadas, deforestación, desertificación, reducción agrícola, etc. Estos factores pueden ser clasificados en relación con el control del productor sobre ellos en: exógenos y endógenos. En los endógenos es posible una intervención directa del productor y evitar insostenibilidad. Los factores exógenos, obedecen generalmente, a decisiones fuera del control del productor. En todo caso, la intervención del hombre puede ser de acción reversible o irreversible. En este documento se describe los modelos matemáticos en relación con la intervención técnica posible para el logro de sostenibilidad, previa definición de los niveles jerárquicos en que se encuentran los sistemas de producción agropecuarios.

En la Figura 6.2 A y B se presenta algunos modelos matemáticos posibles de usar en el análisis de sostenibilidad bio-económica, los que también pueden ser aplicados a parámetros ecológicos. La Figura 6.2A describe la clásica regresión lineal: $y_i = b_0 + b_1 t_i$. Los coeficientes de regresión igual a cero o positivos ($b_1 \geq 0$) indican un proceso sostenible. Es de notar que este modelo tiene un rango de confianza, el cual depende de los valores dependientes y el rango de tiempo. Así mismo, sobre cualquier punto de la línea de regresión es posible considerar la intervención del hombre (línea punteada), mediante los conocimientos bio-económicos sobre el sistema, para lograr que sea sostenible y estable en el tiempo. Para este análisis se requiere el análisis continuo de las variables biológicas y económicas en el tiempo, a fin de decidir medidas apropiadas en relación con la realidad agropecuaria.

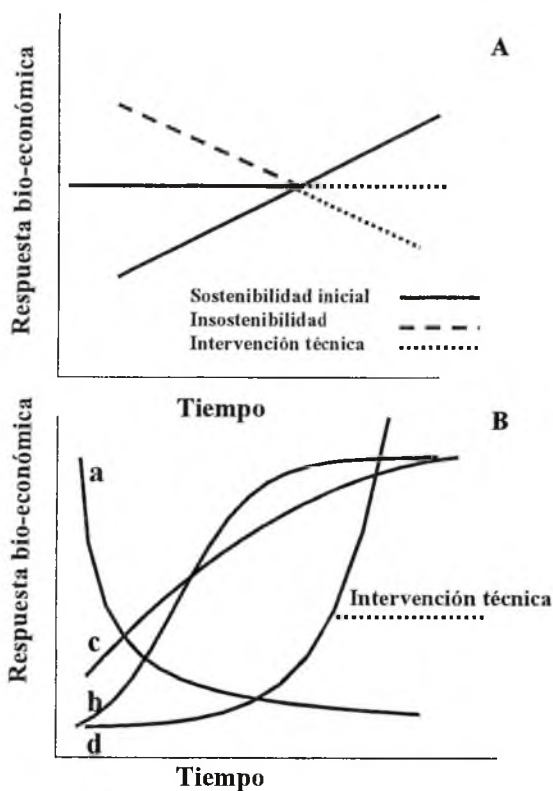


Figura 6.2. Modelos bio-matemáticos posibles de usar en el análisis de sostenibilidad bio-económica. (A) Modelos lineales y (B) Modelos no lineales.

El modelo exponencial (a) $y_t = \alpha e^{bt}$ describe una situación de pérdida de sostenibilidad, sin embargo en cualquier punto es factible la intervención técnica originando una línea recta en forma asintótica. El modelo (d) $y_t = \alpha e^{bt}$ describe un crecimiento exponencial en el cual la intervención técnica y los límites bio-físicos de producción no son posibles en el tiempo, en este caso la curva podría cambiar a una curva logística (b) $y_t = b_0 / (1 + b_1 e^{-b_2 t})$. La ecuación descrita en (c) corresponde a una polinomial inversa del tipo: $y_t = (t + \delta) / (b_0 + b_1(t + \delta))$. En todo caso debe analizarse la información con el mayor número de años, lo cual en algunos casos representa una dificultad. Con un número reducido de años es posible plantear modelos de regresión lineal simple o cuadrática, los

que pueden ayudar a decisiones sobre una intervención técnica orientada a la sostenibilidad del sistema. Sin embargo, la información cuantitativa del sistema incorporada a modelos de simulación contribuyen al análisis de alternativas y a la toma de decisión técnica orientadas a la sostenibilidad bio-económica.

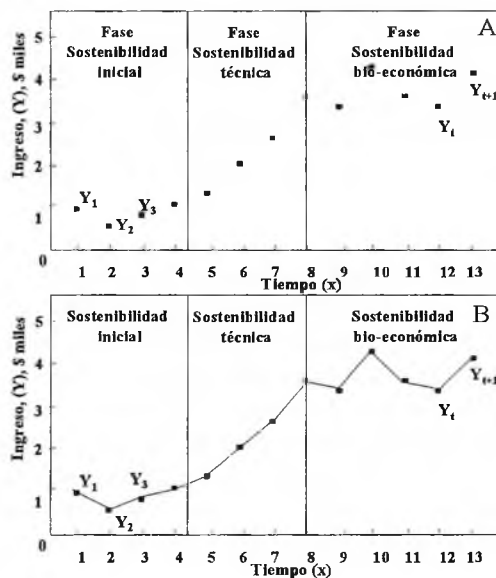


Figura 6.3. Ingreso de un sistema de producción de alpacas obtenido mediante simulación indicando las fases de sostenibilidad: (A) Información discreta en el tiempo y (B) Información continua para análisis de tipo temporal.

En un análisis de sostenibilidad se debe tener en cuenta que la información ha sido generada por un proceso estocástico o aleatorio. Su descripción no se realiza en términos de causa efecto como ocurre en un clásico modelo de regresión. Así mismo, la información consiste en informaciones discretas efectuadas a intervalos de tiempo regulares, porque no puede considerarse continua en el tiempo (Figura 6.3). Cada una de ellas no tiene repetición, salvo que haya sido generada por un modelo de simulación. La simulación es de gran ayuda en inferir situaciones

futuras, y permitir el diseño de nuevos sistemas o el ordenamiento de los componentes existentes para conseguir sostenibilidad en un sistema específico. En el análisis de sostenibilidad es posible diferenciar tres etapas, la fase de sostenibilidad inicial o natural, la fase de incremento técnico, debido a las alternativas tecnológicas, y la fase de sostenibilidad bio-económica (Figura 6.3).

Sin embargo, en la práctica estas fases no son bien diferenciadas debido a la escasa información en el tiempo. No obstante, la información registrada sobre un evento particular de un sistema agropecuario, por ejemplo disponibilidad y residuos de materia seca en un pastizal altoandino o el ingreso de un sistema de producción de alpacas (Figura 6.3), la cual puede ser analizada sobre la variable tiempo, dentro del concepto de series temporales.

Una serie temporal consiste en observaciones discretas efectuadas en intervalos de tiempo regulares. Si se describe cada observación registrada en relación con el tiempo como y_t se tendrá para la serie las observaciones: y_1, y_2, \dots, y_t para cada período. Al tener descrita la serie, el objetivo es el de predecir y_{t+1} , para lo cual la representación puede ser mediante una función continua de tiempo $f(t)$:

$$f(t) = b_0 + b_1 t + b_2 t^2 + \dots + b_n t^n$$

Un modelo de esta característica con los coeficientes (b_i) apropiados podría reproducir cada uno de los puntos. Sin embargo, el modelo descrito no describe el comportamiento y no garantiza predicción de futuros valores. Una característica de y_t es que puede presentar una tendencia definida, la cual posibilita describir la tendencia mediante diferentes modelos. Los principales

modelos son descritos en el Cuadro 6.1.

Si el valor de b_0 se hace cero, b_1 es la tasa de crecimiento acumulativo de la serie, la cual puede ser interpretada como sostenibilidad. Sin embargo, en el análisis de sostenibilidad debe considerarse que cada observación tiene influencia de la subsiguiente, por lo tanto debe encontrarse la correlación entre las observaciones y plantearse modelos de series temporales con función de auto correlación.

Cuadro 6.1. Principales modelos de series temporales en relación a sostenibilidad de los Sistemas Agropecuarios.

Denominación	Modelo
Modelo de tendencia lineal	$y_t = b_0 + b_1 t$
Crecimiento exponencial	$y_t = b_0 e^{b_1 t}$
Regresión logarítmica lineal	$\log y_t = \log b_0 + b_1 t$
Modelo autoregresivo lineal	$y_t = b_0 + b_1 y_{t-1}$
Modelo autoregresivo logarítmico	$\log y_t = b_0 + b_1 \log y_{t-1}$

A continuación se presenta la información de la simulación del sistema de producción de alpacas en Apopata, Puno, descrita por León-Velarde y Quiroz (1993) (Figura 6.4). Los datos promedios del ingreso del sistema típico corresponden a carga animal ($0.9 \text{ alpacas.ha}^{-1}$); tasa de crecimiento de pradera nativa y de bofedal (2.25 y $9.80 \text{ kg.MS.ha}^{-1}\text{día}$, respectivamente) y digestibilidad (57% y 68% para pradera nativa y bofedal respectivamente).

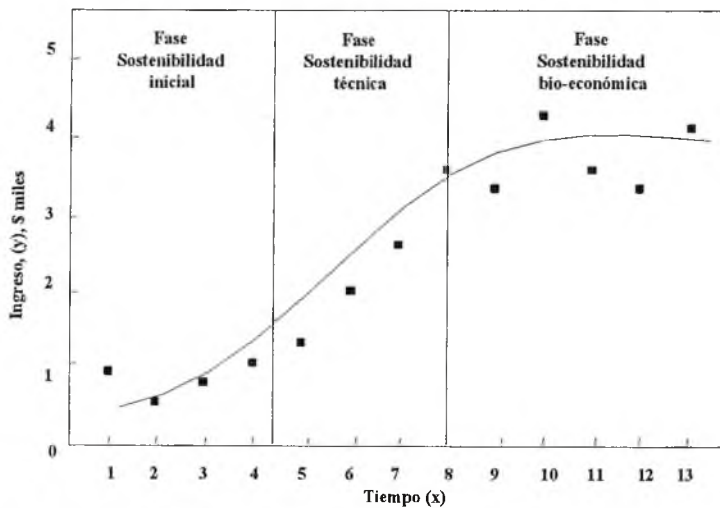


Figura 6.4. Modelo de análisis de sostenibilidad de un sistema de producción de alpacas en Puna seca del altiplano.

El modelo de regresión lineal se describe con un $b_0 = 274.8$ y $b_1 = 305.7 \text{ \$.año}^{-1}$ ($R^2 = 0.81$). El modelo auto regresivo presentó $b_0 = 370.7$ y $b_1 = 338.8 \text{ \$.año}^{-1}$ ($R^2 = 0.82$). La auto correlación encontrada para los datos analizados fue de 0.69 . El modelo cuadrático ($R^2 = 0.84$) se describe con $b_0 = 313.7$, un $b_1 = 541.5$ y un coeficiente cuadrático

($b_{12} = -16.9 \text{ kg.año}^{-1}$) que expresa la disminución de ingreso anual del sistema. En cada modelo la tasa de crecimiento, es positiva indicando una sostenibilidad bio-económica del sistema.

Para explicar el concepto global de sostenibilidad se observó la información obtenida, en este caso particular (Figura 6.4), y se planteó la curva sigmoideal descrita por el modelo logístico: ($y_t =$

$a/(1+b_1 e^{-b_2t})$. El modelo describe el ingreso ($\text{\$} \cdot \text{año}^{-1}$) obtenido en la fase de sostenibilidad bio-económica asintótica con $a = 3891.2$, $b_1 = 22.16$ como el incremento anual del sistema y $b_2 = 0.57$ como el proceso de desaceleración del sistema. En la Figura 6.4 es posible identificar las tres fases de la sostenibilidad bio-económica anteriormente descritas. Cada una de ellas puede ser analizada por medio de regresiones lineales parciales con o sin auto regresión dependiendo de la información periódica (tiempo) recopilada; Sin embargo, al estar cada una dependiente de la anterior el análisis puede ser realizado dentro de la teoría de series de tiempo.

En forma similar es posible analizar la información de un sistema lechero. En la Figura 6.5 se presenta el ingreso anual de un sistema intensivo de producción de leche en el trópico de Guyana (León-Velarde *et. al.*, 1994). En la Figura 6.6A se presenta el aumento de la capacidad de carga en el tiempo hasta alcanzar el límite biológico (área) así como de la producción de leche con base en animales cruzados (6.6B), ambos aspectos determinan un ingreso, el cual depende del precio de mercado (variable exógena en muchos casos).

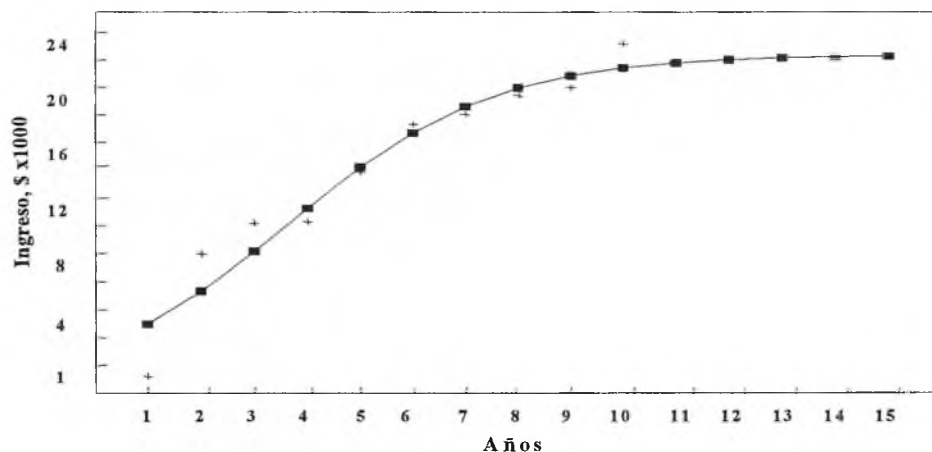


Figura 6.5. Modelo de análisis de sostenibilidad de un sistema de producción de leche en el trópico de Guyana. Datos reales y estimados según modelo logístico.

Es de notar que el uso de variables cuantitativas permite definir la sostenibilidad desde el punto de vista bio-económico, considerando en forma implícita los aspectos sociales y culturales. La sostenibilidad en sentido amplio debe incluir lo social y cultural para lo cual debe considerarse variables e indicadores precisos que permitan obtener la definición y el entendimiento de sostenibilidad.

La ecuación logística definió el ingreso bruto, a precios constantes con los parámetros de $b_0 = 24,368$; $b_1 = 6.50$ y $b_2 = 0.51$ ($R^2 = 0.93$). El total de producción de leche por hectárea fue descrito por una similar ecuación donde $b_0 = 10,222$; $b_1 = 5.06$ y $b_2 = 0.45$ ($R^2 = 0.91$); en ella se observó que la sostenibilidad del sistema para producir leche es alrededor de los $10,000 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}$. Producciones similares son reportadas en trabajos de extensión en América Central. La Figura 6.6 describe la capacidad de carga (A) y producción de leche por vaca día (B). El modelo para capacidad de carga y producción de leche vaca día fue $Y = b_0(1 - e^{-b_1t})$. Este modelo expresa los

incrementos técnicos obtenidos durante el trabajo directo con el productor. La ecuación para capacidad de carga fue definida por los parámetros $b_0= 6.4$ y $b_1= 0.27$ ($R^2= 0.96$). La ecuación al ser analizada por una función cuadrática se obtiene una capacidad de carga de alrededor de 5.2 vacas.ha⁻¹día; valor alto para algunas condiciones del trópico, sin embargo es posible de obtenerlo en sistemas intensivos. La producción de leche por vaca día fue definida por $b_0= 8.96$ y $b_1= 0.79$ ($R^2= 0.80$).

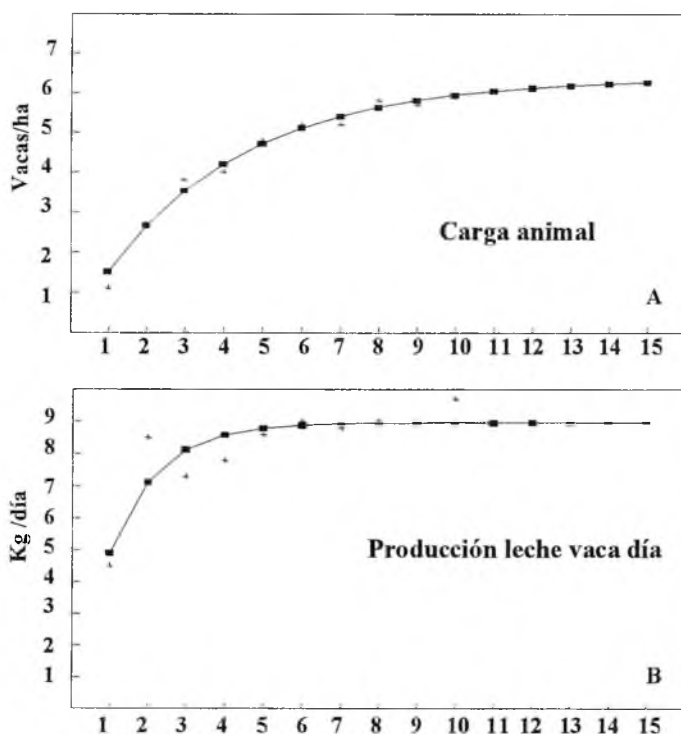


Figura 6.6. Representación real y estimada del límite biológico en relación con la sostenibilidad para (A) la capacidad de carga y (B) producción de leche por vaca día en un sistema intensivo de producción de leche en el trópico de Guyana.

Este modelo describe la capacidad de las vacas cruzadas para producir leche en un sistema intensivo de producción de leche con el mínimo de suplemento. Los valores reales de producción y productividad muestran el límite que el sistema lechero ha alcanzado con una sostenibilidad bio-económica. Cualquier intento de incrementar la productividad podría afectar la relación suelo, planta, animal y disminuir la producción de forraje y

podría derivar a la insostenibilidad del sistema de producción de leche.

Información similar puede ser analizada para el Ecuador, sin embargo la ausencia de información es al momento la principal restricción.

Adaptabilidad y estabilidad agrícola

El concepto de adaptabilidad y estabilidad agrícola son conceptos generalmente utilizados en los programas de mejoramiento genético de plantas. Sobre este aspecto, en la mayoría de los casos, los ambientes donde las variedades generadas van a ser utilizadas son heterogéneos. Por lo tanto, lo ideal sería desarrollar variedades que produzcan de manera óptima para cada ambiente. Sin embargo, esto no es bio-económicamente factible y conduce en su gran mayoría a los experimentos de adaptación de variedades a diferentes ambientes.

El mejoramiento de un genotipo presenta un valor máximo en un ambiente particular. Aunque también puede representar un mejoramiento en ambientes similares. Este concepto ha sido utilizado

por los fitomejoradores para desarrollar variedades que se adaptan a diferentes ambientes. El valor de una amplia adaptabilidad depende de si la variabilidad inter-ambientes es similar a la variabilidad intra-ambiente.

Finlay y Wilkinson (1963), basados en trabajos previos de Yates y Cochran (1938), proponen que el rendimiento promedio de todas las variedades en cada sitio y para cada estación provee una calificación de los sitios y estaciones y proporciona una evaluación útil del ambiente. El modelo matemático utilizado fue:

$$\log_{10}(Y_{ij}) = a + b_i \log_{10}(X_j) + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Rendimiento de la variedad i en el sitio j .

X_j = Rendimiento promedio de todas las variedades probadas en el sitio j .

La interpretación biológica del parámetro de estabilidad (b_i) y su implicación para un programa de mejoramiento genético se muestra en la Figura 6.7.

En la ecuación descrita, el uso de la transformación logarítmica se justifica para inducir linealidad, así como para obtener un grado razonable de homogeneidad del error experimental. En forma similar es posible de encontrar, en la literatura científica, el uso de modelos similares para estimar índices de estabilidad para ensayos de variedades en diversos ambientes.

De esta forma, se proponen que la adaptabilidad y la estabilidad son conceptos diferentes. Adaptabilidad se define como el comportamiento de un genotipo con respecto a los factores ambientales que cambian a través de localidades. Estabilidad se define como el comportamiento del genotipo con respecto a los factores ambientales que cambian a través del tiempo, dentro de una localidad dada. Los modelos lineales propuestos por los autores son:

Estabilidad

$$Y_{ijt} = a_1 + bM_{jt} + \sum_{i=2}^m d_{1i}L_i + e_{1ijt}$$

Adaptabilidad

$$Y_{ijt} = a_2 + cM_{jt} + \sum_{i=2}^p d_{2i}T_i + e_{2ijt}$$

Donde:

Y_{ijt} = Rendimiento de la variedad i en la localidad j en el período t .

M_{jt} = Índice del ambiente en la localidad j en el período t (M_{jt} se estima como el promedio de los dos rendimientos más altos en cada localidad).

En el modelo que estima el índice de estabilidad se usa variables "dummy" para localidades, de tal modo que se remueva el efecto sistemático de la localidad y se usa la variancia dentro de la

localidad para estimar los parámetros de la ecuación. El mismo tratamiento en el modelo que estima el índice de adaptabilidad implica el uso de la variancia entre localidades.

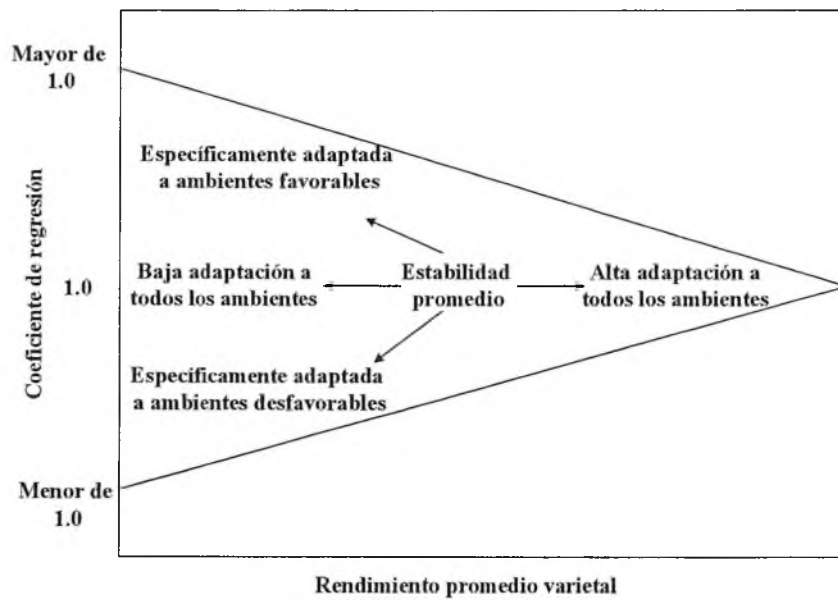


Figura 6.7. Representación esquemática del índice de estabilidad y rendimiento varietal (Finlay y Wilkinson, 1963).

Ejemplo: La información de 3 variedades de cebada (Shyri-89; Shyri-2000 y Cañari), en dos localidades de la sierra ecuatoriana (Alto Guanujo y Laguacoto) y tres años, fueron utilizados para describir el análisis de adaptabilidad y estabilidad. La información fue procesada siguiendo las fórmulas de regresión planteadas para adaptabilidad y estabilidad.

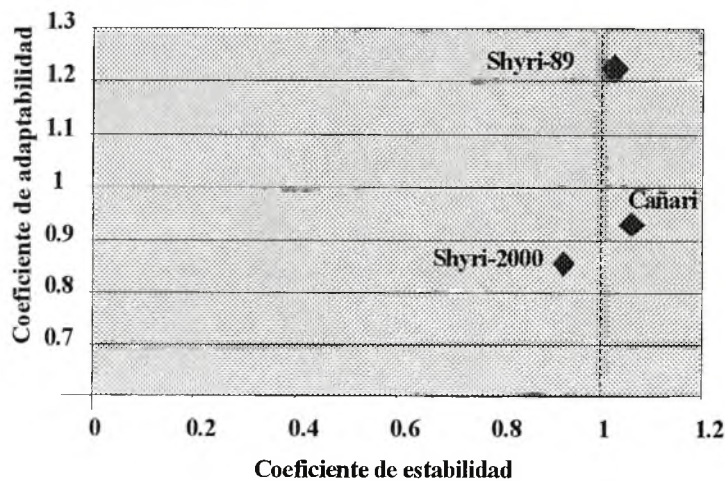


Figura 6.8. Relación del índice de adaptabilidad y estabilidad para tres variedades de cebada en la sierra ecuatoriana.

La Figura 6.8 muestra la relación entre los coeficientes de adaptabilidad y estabilidad para las variedades Cañari, Shyri-2000 y Shyri-89. La información analizada indica que para las variedades en estudio existe una correlación de 0.55 entre ellos. El realizar la selección de los ecotipos de cebada en un solo lugar y en un solo año no sería adecuado. Una mayor eficiencia se

lograría replicando los ensayos en más localidades.

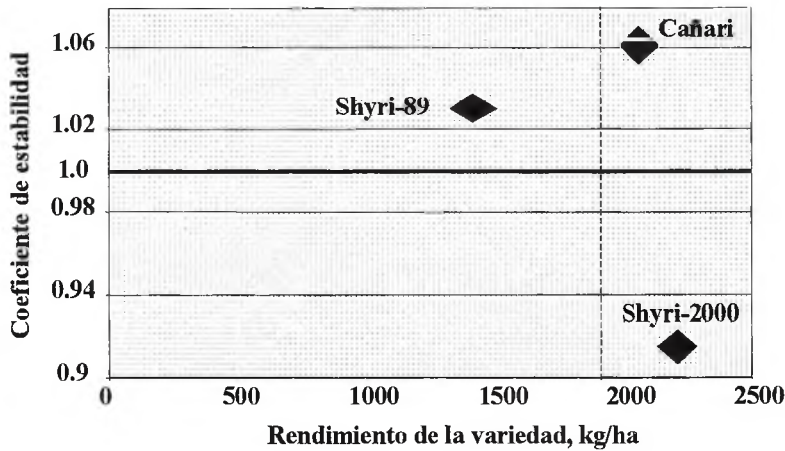


Figura 6.9. Relación del índice de estabilidad y el rendimiento promedio de 3 ecotipos de cebada en la sierra ecuatoriana.

La Figura 6.9 muestra la relación entre el índice de estabilidad y el rendimiento promedio de cada variedad. Se observa que la variedad Shyri-2000 es menos estable con mayor producción que la variedad

Shyri-89 y Cañari. Siendo la Cañari de mayor estabilidad que la Shyri-89.

Un análisis similar para el índice de adaptabilidad se presenta en la Figura 6.10. Se observa una similitud en la variedad Shyri-89 a los resultados anteriormente descritos. La variedad Shyri-89 es más adaptable a los dos ambientes en la que se la evaluó y presenta mejor estabilidad. Esta variedad tiende a presentar una menor producción, la que es compensada a su versatilidad de ser usada en diferentes ambientes. Las variedades Cañari y Shyri-2000 aunque son de mayor producción presentan una adaptabilidad menor. Por lo tanto, pueden ser seleccionadas solo en el lugar donde presenten un mayor promedio varietal.

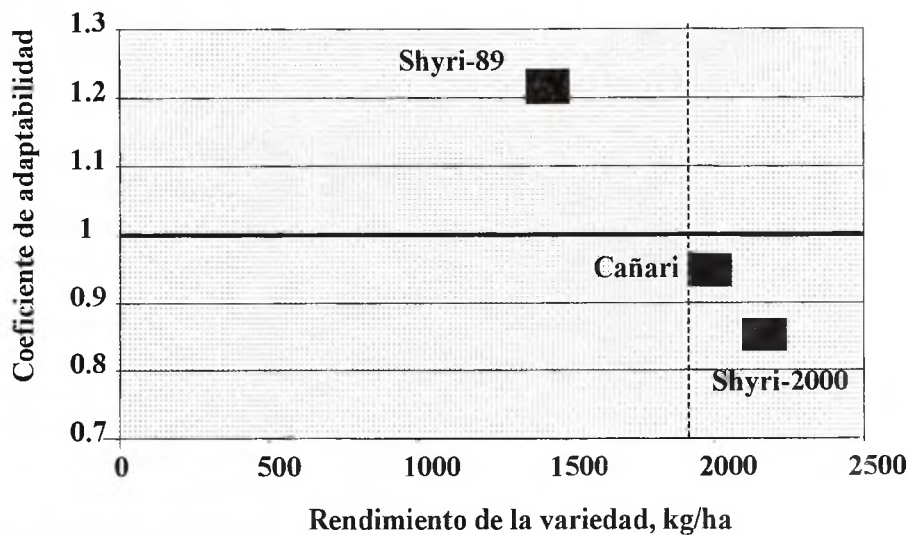


Figura 6.10. Índice de adaptabilidad de tres ecotipos de Cebada en la sierra ecuatoriana.

CAPITULO VII

CONSIDERACIONES BIO-ECONOMICAS EN LA INVESTIGACION DE LOS SISTEMAS AGROPECUARIOS

A continuación se presentan los conceptos bio-económicos posibles de ser considerados en la propuesta de una alternativa tecnológica y pueden ser parte del planteamiento matemático y de modelación experimental en la investigación de sistemas.

En la investigación de los Sistemas Agropecuarios, previa caracterización de ellos, se considera una estructura física relacionada con factores y recursos productivos. Por la forma en que éstos se combinan se establece la función y el objetivo bio-económico del sistema. Los atributos básicos que se incluyen en el análisis bio-económico de los sistemas agropecuarios son:

1. Tierra (T_i).- Determina el tamaño del sistema. Se expresa en unidades de superficie. En este aspecto se debe considerar la calidad del suelo como una variable delimitada por la zona agroecológica con iguales posibilidades de producir.
2. Trabajo (T_r).- Determina la capacidad de fuerza laboral en forma permanente o eventual. La calidad de trabajo en relación al tipo de actividad y cantidad (mano de obra familiar) debe ser ponderada para ser expresada en unidades de trabajo (jornales).
3. Capital (C).- Determina la posibilidad de inversión y de mejoramiento del sistema. Se expresa en unidad monetaria. Se clasifica en: Capital asociado a la estructura del sistema C_u (instalaciones, cercas, pozos, plantaciones permanentes). Capital de trabajo C_{tr} , asociado a utensilios de trabajo, maquinaria y herramientas, así como a insumos químicos, biológicos y a prácticas de manejo del sistema. Capital ganadero (C_n), incluye el capital existente en un componente que puede ser independiente de la producción de otro componente (cultivos y ganado). En algunos Sistemas Agrícolas, el ganado es neutro; sin embargo, el ganado puede servir para adquirir insumos necesarios para la producción agrícola o para compensar las pérdidas posibles.

En un Sistema Agropecuario el productor toma la decisión de asignar el uso de sus recursos productivos a cada una de las posibles actividades que el sistema tiene. La relación entre los recursos productivos y el productor establece la base económica en que se realiza la producción:

- a) Tenencia de la tierra. - Establece la relación entre superficie propia y no propia.
- b) Relación entre fuerza laboral asalariada y no asalariada (productor y familia).
- c) Relación entre capital propio y prestado.

Los elementos descritos anteriormente son considerados estáticos y sirven, tradicionalmente, a los estudios de estructuras agrarias. Sin embargo, un Sistema Agropecuario es dinámico y sujeto a diversas decisiones por parte del productor. Por lo tanto es necesario considerar la estructura del sistema real ("la forma de hacer las cosas") y el objetivo del productor ("la forma de decidir"). Al

considerar que la producción total (Q) es el objetivo del productor, será necesario identificar los factores y recursos productivos que se transforman en producto. Esta acción es representada como:

$$Q = f (T_i, T_r, C_{ti}, C_{tr}, I)$$

Donde:

- Q = Producción total del Sistema Agropecuario
- T_i = Tierra
- T_r = Trabajo
- C_{ti} = Capital considerado por T_i
- C_{tr} = Capital considerado por T_r
- I = Insumos (recursos propios o que entran al sistema)

La función de producción descrita indica las posibilidades de producción. Las cuales pueden ser representadas por la unión de los puntos de máxima producción para cada combinación de recursos (factores e insumos). El número total de posibilidades de producción es difícil de conocer. Por lo tanto, los modelos de simulación y programación, con base a datos experimentales y de campo, juegan un papel importante en el análisis e investigación de los Sistemas Agropecuarios.

En una zona ecológica homogénea es posible estimar la producción de un grupo de sistemas por medio de muestreo. Sin embargo, la función que se obtenga puede no representar todas las posibilidades de producción de la zona. Algunas de las actividades productivas o recursos pueden no estar presentes debido a las múltiples decisiones de los productores o a ciertos factores exógenos que limitan la utilización de los recursos productivos. No obstante, es necesario el definir las relaciones insumo-producto bajo un marco tecnológico. De esta manera, la función de producción se asocia con los precios existentes y se determina el punto en que el Sistema Agropecuario obtiene beneficio, expresada en unidad monetaria por unidad de área (\$·ha⁻¹):

$$\text{Max. } B = Q \cdot P_q - T_i \cdot r - T_r \cdot s - C (i + a) - I \cdot p_i$$

Donde:

- B = Beneficio, expresado en unidad monetaria por unidad de área (\$·ha⁻¹)
- Q = Producción (kg·ha⁻¹)
- P_q = Precio del producto (\$·kg⁻¹)
- T_i·r = La unidad de área por la renta de la tierra expresada como costo (\$·ha⁻¹)
- T_r = Trabajo (Jor·ha⁻¹)
- s = Salario (\$·Jor⁻¹)
- C = Capital (\$·ha⁻¹)
- i = Interés al capital
- a = Amortización al capital
- I = Insumos (kg·ha⁻¹)
- p_i = Precio del insumo (\$·kg⁻¹)

En la ecuación de beneficio, al separar el valor de la producción ($Q.P_q$) se obtiene el valor agregado de los factores productivos ($T_i.r + T_r.s + C(i+a) + B$) asociado a los gastos de producción ($I.p_i$):

$$Q.P_q = T_i.r + T_r.s + C(i+a) + B + I.p_i$$

El valor agregado sirve para pagar los factores productivos, servicios y al productor por su combinación técnica de los factores, insumos y productos, así como la parte económica, relacionada al manejo de precios y capacidad de relación con el mercado (insumos y productos). Una vez establecida la función y el objetivo de producción se analiza el punto bio-económico en que se encuentra el sistema. Este análisis está basado en la rentabilidad que resulta de la estructura del sistema y los insumos asociada a una alternativa tecnológica inicial (AT_0). Del análisis de ellos es posible el planteamiento de una alternativa tecnológica (AT_1). Si existe información previa (campo y experimental) es posible mediante el uso de modelos de simulación o de programación lineal, estimar la producción de la alternativa (AT_1). La hipótesis de trabajo es: $H_0: AT_0 = AT_1$ y la $H_a: AT_0 \neq AT_1$.

A partir del análisis del sistema es posible modificar o plantear el arreglo de la estructura del sistema con el objetivo de obtener un nivel de producción mayor (Q_1), con una eficiencia económica que le permita competir en el mercado. Cuando en una zona se estima una estructura de Sistema Agropecuario típica en base a una muestra de insumo-producto se obtiene un promedio con su distribución de observaciones alrededor de la muestra.

Conceptos de evaluación bio-económica

El concepto de evaluación bio-económica conduce a dar un valor global a los aspectos involucrados en el proceso productivo de un bien o servicio. El valor se asigna según criterio e interés implícito en la evaluación. Por lo tanto, en el análisis de Sistemas Agropecuarios, el interés es el de decidir si una alternativa tecnológica, en relación a una forma tradicional (base de comparación), puede ser recomendada y ser puesta en uso.

En la actualidad las técnicas para evaluar bio-económicamente una alternativa o finca son numerosas. La más barata, simple y más usada es la intuición, la que debe ir acompañada de discusión entre miembros de un grupo con experiencia en el rubro a evaluar. Sin embargo, este procedimiento es subjetivo y no recomendable. La evaluación mediante la cuantificación de la producción y los costos es el camino más adecuado.

En una evaluación bio-económica se debe reconocer que existe una evaluación técnico-biológica y una técnico-económica. La primera está relacionada con la respuesta biológica de una alternativa tecnológica, y la segunda con los costos que implica obtener la respuesta biológica. Ambas derivan al concepto de eficiencia técnica y eficiencia económica, aspectos que deben ser considerados en la prueba y validación de una alternativa tecnológica.

Evaluación biológica

Índice del rendimiento de fincas agrícolas

Esta prueba puede ser utilizada en forma preliminar para determinar la eficiencia de fincas en relación a un mismo tipo de cultivo. También sirve para la selección de fincas, para la ubicación de alternativas tecnológicas o parcelas de comprobación. La prueba evalúa la eficiencia preliminar de una finca en relación al promedio de rendimiento de los cultivos sembrados en la finca. Se basa en relacionar la producción de cada cultivo con el promedio que se obtiene en la zona, ponderada con el área utilizada en la finca. En el Cuadro 7.1 se describe un ejemplo de fincas localizadas en el cantón Espejo de la provincia del Carchi.

Cuadro 7.1. Cálculo del rendimiento de dos tipos de fincas agrícolas, localizadas en el cantón Espejo, provincia del Carchi, Ecuador, 2001.

Cultivo	Rendimiento promedio kg.ha ⁻¹	Rendimiento promedio Kg.ha ⁻¹		Superficie ha		Índice ¹ cultivo		Índice ² ponderado	
		Zona	A	B	A	B	A	B	A
Papa	14,400	12,000	16,000	2	4	0.83	1.11	1.66	4.44
Cebada	1,790	1,150	1,900	4	3	0.64	1.06	2.56	3.18
Haba	1,540	1,050	1,700	1	2	0.68	1.10	0.68	2.20
Total				7	9			4.90	9.82

¹ $12,000/14,400 = 0.83$

² $0.83*2 = 1.66$

Índice de rendimiento de: A: $4.90/7 = 0.70$
B: $9.82/9 = 1.09$

La información presentada describe la eficiencia de cada cultivo dentro de la finca, en relación al promedio de producción en el cantón Espejo. Por ejemplo, en el cultivo de papa la finca A es 17% [(1-0.83)*100], inferior al promedio en la zona, y B es superior en un 11% en relación al promedio de la zona. Así mismo es posible inferir que la finca A es inferior en 30% a las fincas que tienen los mismos cultivos dentro de la zona; en cambio, la finca B es superior en un 9%. La comparación entre ellas es posible sólo si tienen los mismos cultivos como en el ejemplo.

Aceptación preliminar de una alternativa

En esta prueba se evalúa la aceptación de una alternativa. Su uso es preliminar y objetivo; debe ser complementada con información relativa al grado de adopción. Se basa en precisar el número total de parcelas (NP) en que se coloca una alternativa A. Se calcula los dos tercios y un tercio del NP. Se determina el número de parcelas que se perdieron (PP) por diversas razones (suelo, clima, productor, etc.). El análisis se basa en los siguientes criterios:

- Si el número de PP es menor que el tercio, [PP < 1/3NP], se puede concluir que la alternativa es técnicamente factible.

- b) Si PP es mayor que un tercio y menor que los dos tercios, $[1/3NP < PP < 2/3 NP]$ la alternativa es medianamente factible.
- c) Si PP es mayor que los dos tercios, $[PP > 2/3NP]$, la alternativa no será técnicamente factible de ser aceptada.

Ejemplo: En una misma zona, la alternativa A fue realizada en 30 parcelas; a la cosecha se perdieron 12 parcelas. La alternativa B fue realizada en 24 parcelas y a la cosecha se perdieron 17 parcelas:

Denominación	Alternativa	
	A	B
Número de parcelas sembradas	30	24
Cálculo de: un tercio	10	8
dos tercios	20	16
Número de parcelas perdidas	12	17
Criterio	$10 < 12 < 20$ Medianamente factible	$17 > 16$ No factible

Se puede inferir que la alternativa A podría ser factible en relación a la alternativa B.

Evaluación económica

Existen varias formas de medir los resultados físicos y económicos de una unidad de producción. La selección de la mejor alternativa está en función del propósito del análisis, de la disponibilidad de la información y de las características de la unidad de producción. En toda evaluación económica se debe considerar las unidades del análisis.

Medidas de resultados físicos

Superficie total.- Representa la superficie utilizada en la actividad productiva. Permite la comparación entre dos o más unidades de producción con características similares de suelo, y mercado.

Superficie en cultivo.- Expresa la superficie dedicada a la actividad agrícola. Permite medir unidades de producción que tienen cultivos con similar intensidad y donde la ganadería no es importante.

Número de animales.- Representa el total de animales presentes en la unidad de producción. Puede ser usada para medir o comparar unidades animales que tienen una sola categoría animal y donde los cultivos están orientados para la alimentación animal.

Carga animal.- Expresa el número de unidades animal por unidad de superficie ($UA.ha^{-1}$). En algunos casos se expresa como en número de animales adultos por unidad de superficie. La carga animal multiplicada por el peso promedio de animal adulto en relación a la superficie indica la presión de pastoreo ($kg.ha^{-1}$).

Unidad animal.- El cálculo de unidad animal se basa en la obtención de un coeficiente de relación que indica la inversa del peso metabólico promedio de un animal adulto en la unidad de producción. Este coeficiente permite calcular los coeficientes de las categorías subsiguientes. Un ejemplo con la información recopilada en el cantón Espejo de la provincia del Carchi se muestra en el Cuadro 7.2. El cálculo del coeficiente de relación CR es: $1/P^{3/4}$, donde $CR = 1/(410^{3/4}) = 0.01098$. Los coeficientes para cada categoría en relación a la unidad animal se calcula mediante $0.01098 * P^{3/4}$.

Cuadro 7.2. Cálculo de las unidades animal en función del peso vivo y metabólico en los hatos ganaderos de fincas del cantón Espejo, provincia del Carchi, Ecuador, 2001.

Denominación	Peso vivo Kg	Peso metabólico kg	Unidad* Animal	Número de animales	Unidades Animal
Toros	440	96.07	1.054	752	793
Vacas en producción	410	91.11	1.000	2,180	2,180
Vacas secas	408	90.78	0.996	526	524
Vaonas vientre	315	74.77	0.821	526	432
Vaonas de media	227	58.48	0.642	677	435
Vaonas fierro	135	39.61	0.435	526	229
Ternereras	69	23.94	0.263	752	198
Terneros	58	21.02	0.231	827	191
Novillos	162	45.40	0.498	376	187
Toretas	286	69.55	0.763	376	287
Total				7,518	5,455

* Basado en el coeficiente de relación 0.01098

Inversión de capital.- Se utiliza para comparar unidades dentro de una región o zona. Se usa como índice la inversión promedio.

Total de jornales u horas/hombre.- Se usa para evaluar el trabajo productivo en la producción agrícola-pecuaria. Se obtiene multiplicando el número de hectáreas o cabezas por la cantidad de jornales u horas/hombre que se requieren y sumando estos productos.

Producción total.- Es la medida del tamaño o volumen producido; se expresa en kilogramos, toneladas, litros.

Medidas de la producción

Producto por unidad de superficie.- Expresa la producción física total obtenida por unidad de superficie ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$).

Producción por cabeza.- Indica la cantidad de leche, lana o carne por unidad animal ($\text{kg} \cdot \text{UA}^{-1}$).

Medidas de mano de obra

Jornada productiva.- Expresa la cantidad de fuerza de trabajo productivo en 8 horas, que sirve o está directamente vinculada al proceso productivo.

Jornal equivalente hombre día.- Comprende la ocupación de jornales hombre en un día, independientemente del sexo y la edad. Se estima calculando los días promedio por año que trabaja el hombre, mujer e hijos y otros trabajadores en una unidad de producción. Por ejemplo: pueden ser 260 jornales al año dependiendo de la costumbre y actividades de los productores. Una jornada de un adulto se considera como la unidad; la jornada de la mujer y niños de 6 a 14 años, generalmente se estima como 0.75 y 0.50 equivalentes-hombre. Sin embargo, estos coeficientes son en su mayoría supuestos y dependen del lugar y tipo de actividad realizada, por lo que deben ser estimados y sustentados para cada situación. Una forma de calcularlos se basa en la demanda energética que requiere el peso expresado en peso metabólico; el cálculo requiere calcular el coeficiente de relación de peso metabólico ($1/\text{Peso}^{3/4}$). Por ejemplo: asuma que se requiere calcular el jornal equivalente hombre al año y por día de una familia campesina del cantón Espejo de la provincia del Carchi (Cuadro 7.3) constituida por: esposo (peso de 78 kg; por lo que el coeficiente de relación es: de $1/78^{3/4}$), esposa, 1 joven de 19 años, 2 niños de 6 a 14 años y 1 menor de 6 años.

Cuadro 7.3. Cálculo de los jornales equivalente hombre día en las fincas del cantón Espejo, provincia del Carchi, Ecuador, 2001.

Familia	Peso kg	Días trabajados	Equivalente jornal*	Total jornales
1 Padre	78	312	1	312
1 Esposa	62	365	0.84	307
1 Joven (19 años)	72	182	0.94	171
2 Niños (6 - 14 años)	40	240	0.60	144
1 Niño (< 6 años)	18	-	-	-
Total				934

Coefficiente de relación ($1/78^{0.75}$) = 0.0381

* $0.0381 \times \text{Peso}^{3/4}$

Con la información se calcula la capacidad de trabajo de la familia por día: $934 \text{ jornales} / 365 \text{ días} = 2.56 \text{ jornales equivalente-hombre día}$. El valor de 365 puede ser redefinido en función a días hábiles por año, 260 días, por lo que $934 \text{ jornales} / 260 \text{ días} = 3.6 \text{ jornales equivalente-hombre día}$.

Medidas de eficiencia

De la mano de obra.- Se estima dividiendo el total de jornales entre la cantidad producida para determinar el volumen por unidad-jornal. Por ejemplo: en el caso del cantón Espejo en la provincia del Carchi, si se produce 14,400 kg de papa por ha y usa 157 jornales por ha, se obtiene una eficiencia de la mano de obra de $91.7 \text{ kg.jornal}^{-1}$ o de $11.5 \text{ kg.hora}^{-1}$ de trabajo, asumiendo que un jornal equivale a 8 horas de trabajo.

Del ingreso bruto.- Es usado para medir el tamaño productivo del sistema; se estima multiplicando la producción total (PT) por el precio (p) de cada unidad del producto ($IB=PT \times p$).

Del ingreso neto.- Es el ingreso bruto (IB) menos los costos totales (CT) de producción ($IN=IB-CT$). El ingreso neto sumado a los ingresos (salarios) obtenidos por el uso de fuerza laboral familiar en actividades fuera de la finca se considera como ingreso familiar (IF).

Indices de retribución a los factores productivos

Relación beneficio-costos.- Indica la pérdida o ganancia bruta por cada unidad monetaria invertida. Se estima dividiendo el ingreso bruto (IB) entre el costo total (CT). Si la relación es mayor que uno se considera que existe un apropiado beneficio; si es igual a uno, los beneficios son iguales a los costos y la actividad no es rentable; valores menores que uno indican pérdida y la actividad no es productiva ($RBC = IB/CT$).

Rentabilidad de la inversión.- Indica la ganancia o pérdida neta por cada unidad monetaria invertida. Se expresa en porcentaje, mediante la relación de los ingresos netos (IN) y el costo total (CT) por cien ($RI = (IN/CT) \times 100$).

Retribución al capital efectivo en insumos.- Expresa la ganancia o pérdida por cada unidad invertida en insumos. Se calcula restando del ingreso bruto (IB) los costos de los insumos (CI; semillas, pesticidas, abonos, etc) y los costos de mano de obra (CMO) y dividido entre el costo del insumo ($RCEI = (IB-CI-CMO)/CI$).

Retribución a la mano de obra.- Expresa la pérdida o ganancia por cada jornal utilizado en la actividad o finca. Se calcula mediante la relación entre el ingreso bruto (IB) menos los costos totales a excepción de los costo de mano de obra, y el número de jornales ($RMO = (IB-(CT+CMO))/No. \text{ jornales totales}$).

La evaluación económica relaciona, en términos monetarios, la respuesta biológica obtenida en la alternativa planteada y la alternativa del productor. Así mismo, determina la viabilidad o atractivo económico de una alternativa que se desea incorporar y posibilita estimar los cambios (sensibilidad) económicos frente a precios, recursos y producción.

En la Figura 7.1 se presenta un resumen de los costos, ingresos y beneficios. Una tecnología es viable económicamente si se obtiene un ingreso neto mayor que cero ($IN>0$). La estructura de costos permite hacer comparaciones entre el ingreso bruto (IB), costos totales (CT), los que incluyen costos fijos y variables. Generalmente, a nivel de finca, se presenta las comparaciones como margen bruto (MB) que es la diferencia del ingreso bruto menos los costos variables; esta expresión es a menudo utilizada como ingreso neto, lo cual no es correcto.

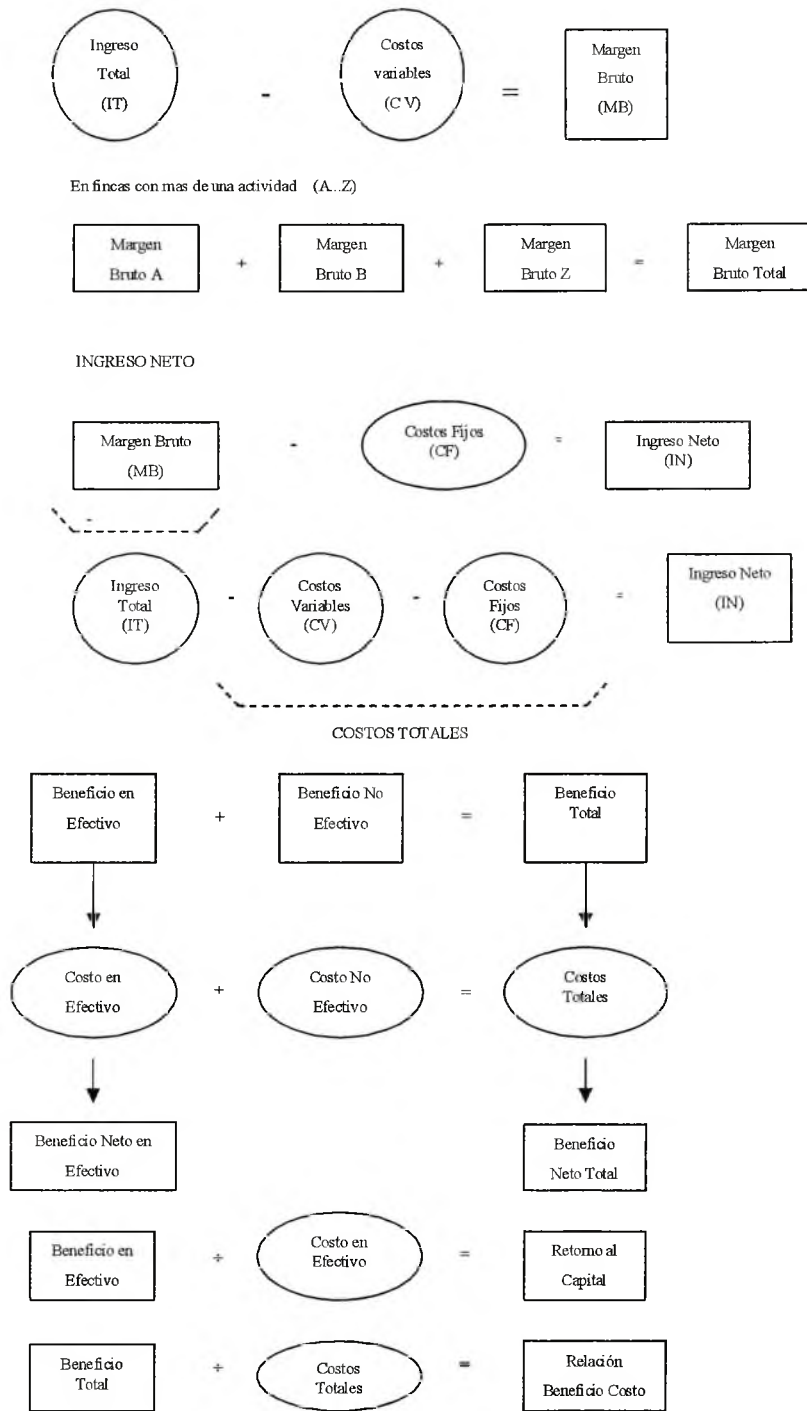


Figura 7.1. Esquema de costos y beneficios en un análisis bio-económico.

En la comparación de ingreso neto debe tenerse en cuenta que ambas tecnologías pueden ser económicamente viables ($IN > 0$); sin embargo, una puede ser mayor que la otra, lo cual da el atractivo económico, para esto es necesario analizar la sensibilidad bio-económica de cada alternativa.

La sensibilidad de una alternativa tecnológica se estructura cambiando los niveles de producción y los precios de insumo-producto. Los cálculos necesarios son posibles de realizar a partir de un presupuesto parcial en una hoja de cálculo electrónica.

Estructura y análisis de costos

El análisis de la estructura de costos e ingresos puede ser iniciado a nivel de campo con un esquema simple que incluya los factores productivos:

Para animales:

$$\begin{aligned} \text{Ingreso } \$ &= \text{Tierra} \times \text{Carga Animal} \times \text{Producción} \times \text{Precio de venta} \\ \$ &= \text{ha} \quad \underbrace{\text{CA.ha}^{-1} \quad \text{kg.CA}^{-1}}_{\text{Producción por unidad de superficie}} \quad \$.\text{kg}^{-1} \end{aligned}$$

Para cultivos:

$$\begin{aligned} \text{Ingreso } \$ &= \text{Tierra} \times \text{densidad siembra} \times \text{Producción por planta} \times \text{Precio de venta} \\ \$ &= \text{ha} \quad \underbrace{\text{plantas.ha}^{-1} \quad \text{kg.planta}^{-1}}_{\text{Producción por unidad de superficie}} \quad \$.\text{kg}^{-1} \end{aligned}$$

En ambos casos se observa que la tierra y el precio de venta están sujetos a la superficie disponible y a los precios de mercado. Por lo tanto, la posibilidad de incrementar el ingreso de un sistema agrícola o pecuario radica fundamentalmente en los factores de carga animal o densidad de siembra y de la producción individual. Ambos conforman la producción por unidad de superficie, expresada en kg.ha^{-1} .

En sistemas de producción animal el aumento de la carga animal es posible si se dispone del área adecuada con forraje disponible en el año. Sin embargo, es de considerar que un aumento de carga implica la compra de animales o mejorar las tasas reproductivas. En todo sistema de producción animal se debe ajustar la capacidad de carga con base en la disponibilidad de forraje, la resistencia al pisoteo y la posible respuesta bio-económica de la fertilización. La capacidad de producción de los animales está sujeta al componente genético en relación al ambiente. Disponer de animales con mejor potencial productivo conduce al arreglo permanente de las condiciones de alimentación y sanidad para que la inversión sea rentable en el tiempo.

En los Sistemas Agrícolas la densidad de siembra y la producción por planta deben ser consideradas en forma conjunta. A mayor densidad tiende a haber competencia de nutrimentos y la producción disminuye. Así mismo, es de considerar la adecuada variedad que permita obtener el máximo de producción con la adecuada densidad de siembra.

En ambos casos la inversión y los costos de producción deben estar en relación a la disponibilidad de recursos. Para el cálculo de los índices de eficiencia económica se considera lo siguiente:

- a) Inversión.- Tierra, pastizales, cercas, animales, infraestructura, sembríos permanentes, equipos (labranza, ordeño, fertilización, etc.).
- b) Costos fijos anuales.- Administración, costo de oportunidad de la tierra (alquiler), depreciación de todos los equipos sin considerar los animales, más el interés anual sobre toda la inversión (esta forma se usa cuando el productor invierte su propio dinero); en caso de préstamo para inversión se considera el pago de la amortización anual más el interés correspondiente. En algunos casos, el préstamo es cuantioso, de tal manera que la amortización a corto plazo incide sobre el ingreso neto, obligando a los productores a readecuar su deuda hacia rubros similares de una depreciación real.
- c) Costos variables anuales.- Mano de obra, fertilizantes, suplementos (subproductos, sales, concentrados), electricidad, inseminación artificial (pago de alquiler por sementales), materiales y equipos de campo (sogas, baldes, palas, carretilla, etc.).
- d) Ingreso total anual.- Ventas por productos agrícolas y pecuarios, incluye vacas de desecho y terneros.
- e) Precio unitario de venta de los productos.

Los índices de eficiencia económica permiten conocer la situación existente y plantear el mejor uso de los recursos disponibles en el sistema agropecuario:

Costo Total Anual (CTA) = costo fijos + costos variables

Ingreso Neto Total (INT) = Ingreso total - costo total + administración

Retorno a la Inversión (RI) = (Ingreso total - costo total + intereses de inversión) / Inversión total

Presupuesto

Un presupuesto es una representación ordenada de la información de pérdidas y ganancias de una operación agropecuaria. Generalmente es expresado en términos monetarios; sin embargo, puede ser expresado en términos biológicos como es el caso del balance energético. La técnica de presupuesto asume: divisibilidad de los factores involucrados en la producción; linealidad o aditividad, asume que todos los insumos tienen una relación lineal al producto físico marginal; producción no negativa, es decir que no se puede usar u obtener recursos negativos; conocimiento

de los coeficientes técnicos, los que deben estar en relación a la producción de una actividad específica.

Las técnicas más usadas son la del presupuesto parcial y presupuesto total o de unidad productiva.

El presupuesto parcial asume e indica los cambios que ocurren en un componente productivo del sistema sin considerar los otros. Es de común uso para determinar rentabilidad de un solo componente productivo. Esta técnica puede ser usada para evaluar una alternativa tecnológica antes de ser validada. En este caso permite estimar si la alternativa podría ser atractiva al productor. También es posible aplicar el presupuesto parcial en la fase de validación; esto permite determinar si la tecnología a introducir es económicamente factible. La técnica de presupuesto parcial requiere información de los costos variables y beneficios, incluyendo producción y precios a nivel de productor. Estos pueden ser resumidos en:

- a) Información física de recursos y producción.
- b) Precio de los recursos y producción.
- c) Requerimientos de recursos productivos.
- d) Recursos del componente en análisis. Estos son expresados en la siguiente expresión:

$$\text{Retorno obtenido} - \text{Costo obtenido} = \text{Ganancia} \text{ ó } \text{Pérdida}$$

Ejemplo: Información resultante de la comparación de la ganancia de peso de bovinos de 400 kg alimentados con pasto en el potrero y en cobertizo durante 90 días, expresada como pérdidas y ganancias es el siguiente: La diferencia de peso entre los vacunos alimentados bajo pastoreo versus el establo es 100 kg a 0.70 \$.kg⁻¹; estiércol producido en el establo (1% del peso vivo en materia seca) a 0.06 \$.kg⁻¹; costo adicional para mantener los animales en establo es 0.22 \$.día⁻¹; 15 jornales adicionales para cosechar el pasto a 3 \$.jornal⁻¹. Los resultados son los siguientes:

Rubro	Ganancias \$ Retornos obtenidos	Rubro	Pérdidas \$ Costos obtenidos
Ganancia de peso	70	Alimento (mano de obra)	45
Estiércol	22	Uso establo	20
Subtotal	92		65
Diferencia (\$.animal⁻¹)		27	

Otra forma de expresar las ganancias y pérdidas en forma de presupuesto parcial es la presentación de los costos variables e ingreso bruto de cada alternativa. Esta forma, está relacionada con el cálculo del margen bruto, que describe la totalidad de gastos realizados en cada actividad de la alternativa.

En el siguiente ejemplo (Cuadro 7.4) se describe la producción de papa con tecnología de manejo integrado de plagas y enfermedades (MIP) y la práctica convencional del agricultor utilizando la variedad Superchola. Se observa que el margen bruto en el uso de la alternativa de MIP es mayor que la convencional. Este valor indica una mejor utilización y recuperación del capital invertido que en el caso de la alternativa convencional de papa.

En la interpretación del presupuesto parcial es conveniente incluir el objetivo del productor, así como los ingresos y gastos no contabilizados monetariamente. La evaluación de alternativas que usan ingreso bruto por unidad de área implica que el objetivo del productor es maximizar el recurso tierra, lo que no se da en algunos casos.

Cuadro 7.4. Presupuesto Parcial en dólares por hectárea de las parcelas de papa con MIP y las convencionales. Provincia del Carchi, Ecuador, 1999-2002.

Rubro	MIP	Convencional
Costos Variables:		
Preparación del terreno (\$·ha ⁻¹)	218	185
Siembra (\$·ha ⁻¹)	396	323
Fertilización (\$·ha ⁻¹)	218	185
Labores culturales (\$·ha ⁻¹)	232	183
Controles fitosanitarios (\$·ha ⁻¹)	344	501
Cosecha (\$·ha ⁻¹)	450	341
Almacenamiento (\$·ha ⁻¹)	20	8
Arriendo del terreno (\$·ha ⁻¹)	74	63
Total Costos Variables (\$·ha⁻¹):	1,952	1,789
Producción		
Papa comercial (kg·ha ⁻¹)	16,603	13,090
Precio ponderado (\$·kg ⁻¹)	0.22	0.22
Papa segunda (kg·ha ⁻¹)	1,695	2,213
Precio ponderado (\$·kg ⁻¹)	0.15	0.15
Papa cuchi (kg·ha ⁻¹)	604	423
Precio ponderado (\$·kg ⁻¹)	0.08	0.08
Ingreso Bruto (\$·ha⁻¹)	3,955	3,246
Margen Bruto (\$·ha⁻¹)*	2,003	1,457

* Para obtener el beneficio neto se debe contabilizar los Costos fijos.

El análisis de margen bruto indica la diferencia entre el ingreso bruto y los costos variables de una actividad. La suma de los márgenes brutos de varias alternativas en un sistema indica el margen total bruto. La expresión del margen bruto por unidad productiva es una medida de eficiencia.

El uso del análisis de margen bruto puede tender a que el beneficio de la finca sea incrementado por expansión. Sin embargo, debe tenerse en cuenta las restricciones que se hayan tenido en el análisis, especialmente con los costos fijos. Por lo tanto la linealidad del margen bruto no debe ser asumida para hacer extrapolaciones linealizables.

La interpretación del margen bruto debe incluir un análisis del punto de equilibrio, el cual es el punto en que ingreso y costo se igualan. El punto de equilibrio está relacionado con el límite en el que el productor puede recobrar sus costos a un precio dado. El segundo está relacionado con la cantidad de producto con que se puede recuperar los costos. Por ejemplo, con la información descrita en el Cuadro 7.4 se desea determinar el punto de equilibrio de precio y producción para sembrar papa con la alternativa convencional. Los costos totales por área son de 1,789 \$·ha⁻¹. La

producción estimada es de 15,726 kg.ha⁻¹. El punto de equilibrio de precio es dado por:

Total costo de producción (\$·ha⁻¹) = 1,789 = venta de producto

Venta de producto = punto de equilibrio de precio x total de producción

1,789 (\$·ha⁻¹) = punto de equilibrio de precio x 15,726 kg

Punto de equilibrio de precio = 1,789 \$·ha⁻¹ / 15,726 kg·ha⁻¹ = 0.11 \$·kg⁻¹

El precio obtenido (0.11 \$·kg⁻¹) debe ser comparado con el precio en el mercado (0.18 \$·kg⁻¹), el cual al ser reemplazado en la ecuación por el punto de equilibrio de precio proporciona el valor de producción necesaria para cubrir los costos de producción. En el ejemplo, 1,789 \$·ha⁻¹ = 0.18 \$·kg⁻¹ x kg a producir; indica 9,939 kg·ha⁻¹. El valor obtenido indica que con una producción de 9,939 kg·ha⁻¹ se cubren los costos variables.

El uso del análisis del punto de equilibrio conjuntamente con la variabilidad de la producción permite indicar los resultados en términos de probabilidades. La probabilidad se puede expresar indicando los valores calculados que estén por arriba o debajo del nivel de equilibrio establecido. El requisito para este cálculo es conocer la variabilidad de precios y rendimientos de cosecha, los que pueden ser comparados con los cambios en rendimiento o precio que resultan del análisis de una alternativa tecnológica.

Beneficio-Costo y Rentabilidad

Este análisis usa la relación de insumo producto en relación a las siguientes medidas de ganancia:

1. Beneficio neto total, el cual representa la ganancia neta de la finca.
2. Relación Beneficio-Costo calculado como beneficio total por unidad de costo total.
3. Retorno de capital, expresado como la proporción entre el beneficio neto total y los costos totales.

El investigador o extensionista que utilice un análisis de Beneficio-Costo debe considerar la posibilidad de asignar valores marginales en el ingreso y a los cambios en el bienestar familiar. Un criterio a considerar es el deseo del productor de pagar por la tecnología. Sin embargo, este aspecto es difícil debido a que usualmente el productor no conoce el precio del mercado o la disponibilidad de la tecnología, o ambos debido al paternalismo seguido en algunas zonas agropecuarias; también es difícil atribuir cambios marginales en la productividad a un factor único cuando se consideran varias intervenciones. Este aspecto es posible de considerar cuando se prueba una sola alternativa, en el cual el productor puede tener una idea del valor del cambio realizado en el contexto de la asignación de recursos y de su sistema de valores monetarios y no monetarios. Del análisis de Beneficio-Costo es posible determinar el precio de equilibrio y el rendimiento de equilibrio. Ambos se calculan en la forma descrita anteriormente.

A continuación se reporta un ejemplo donde se muestra la estimación de la relación Beneficio-Costo y la Rentabilidad de dos alternativas de manejo en el cultivo de papa en la provincia del Carchi con la variedad I-Fripapa99 (Cuadro 7.5); la primera referida al MIP, y la segunda al manejo convencional que realizan los productores.

Cuadro 7.5. Relación Beneficio-Costo y Rentabilidad de las parcelas de papa con MIP y las convencionales. Provincia del Carchi, Ecuador. 1999-2002.

Rubro	MIP	Convencional
Costos Variables:		
Preparación del terreno (\$/ha ⁻¹)	173	157
Siembra (\$/ha ⁻¹)	417	418
Fertilización (\$/ha ⁻¹)	173	157
Labores culturales (\$/ha ⁻¹)	191	207
Controles fitosanitarios (\$/ha ⁻¹)	186	286
Cosecha (\$/ha ⁻¹)	389	483
Almacenamiento (\$/ha ⁻¹)	20	8
Arriendo del terreno (\$/ha ⁻¹)	74	63
Total Costos Variables:	1,623	1,779
Costos Fijos:		
Interés al capital 18% (\$/ha ⁻¹)	292	320
Administración 5% (\$/ha ⁻¹)	81	89
Total Costos Fijos:	373	409
Total Costos de Producción	1,996	2,188
Producción		
Papa comercial (kg/ha ⁻¹)	12,240	12,244
Precio ponderado (\$/kg ⁻¹)	0.20	0.20
Papa segunda (kg/ha ⁻¹)	2,145	2,213
Precio ponderado (\$/kg ⁻¹)	0.13	0.13
Papa cuchi (kg/ha ⁻¹)	773	582
Precio ponderado (\$/kg ⁻¹)	0.06	0.06
Ingreso Bruto (\$/ha)	2,773	2,771
Ingreso Neto (\$/ha)	777	583
Tasa Beneficio/Costo	1.39	1.27
Rentabilidad (%)	39	27

Las rentabilidades obtenidas con cada uno de los manejos, no difieren apreciablemente, reportándose un 39% con las prácticas de MIP y 27% con la práctica convencional (Cuadro 7.5); la diferencia está proporcionada por la disminución en los costos totales de producción, principalmente por la reducción en los controles fitosanitarios que significa el aplicar el MIP.

CAPITULO VIII

TRANSFERENCIA DE TECNOLOGIA

Difusión e Impacto

La transferencia de tecnología se realiza mediante diferentes métodos y procesos que permiten explicar y poner en uso una alternativa tecnológica en las parcelas o sistema productivo de los productores. Es y debe ser considerado también como un mecanismo de doble vía. Así, por un lado permite conocer si una o varias alternativas, prácticas o métodos agropecuarios han sido puestos en ejecución y/o adoptados por los productores. Por otro lado, las respuestas obtenidas son parte de la retroalimentación del proceso seguido; aspecto básico para replantear, modificar y mejorar las alternativas propuestas. De esta manera, en el esquema de los pasos metodológicos del proceso de la investigación de sistemas se representa la transferencia de tecnología como una de sus etapas denominada difusión o creación de programas de producción. Sin embargo, en algunos casos esta etapa no se completa. Consecuentemente, no permite evaluar la retroalimentación y volver a la etapa de análisis y experimentación. No obstante, en la mayoría de los casos se plantea evaluar y/o medir los efectos de los resultados.

Al respecto, la evaluación y medición del impacto no es fácil, pero tampoco imposible de realizarla. En este documento sólo se presenta y se recomienda ciertos procedimientos de análisis que ayudan en la evaluación e impacto del proceso de transferencia de tecnología.

Encuestas

El uso de encuestas es el método más común para obtener información sobre un tema específico. Al respecto existen innumerables formas y tipos de encuestas como producto de los objetivos y fines que se persigue. En su mayoría contienen preguntas específicas sobre un tema en particular; sin embargo, en algunas ocasiones se exagera el número de preguntas y categorización de ellas. Como consecuencia se pierde el objetivo y el análisis se dificulta. Por lo tanto, toda obtención de información vía encuesta debe considerar solo información pertinente al objetivo planteado.

En toda encuesta se debe tener en cuenta el número de personas entrevistadas; el grado de disgregación y subjetividad de la respuesta con respecto a la pregunta y la forma en que la información será analizada para un objetivo definido. Por lo tanto, en toda encuesta el objetivo debe ser definido antes de formular la encuesta. Asimismo, es necesario definir qué variables son cuantitativas y cuáles son discretas. Es común observar calificativos categorizados desde los más simples, como el "Si y No", el "Aceptable y no Aceptable", hasta los más complejos como "Alto, Mediano, Bajo" o aquellas como "Excelente, Bueno, Regular, Malo". Generalmente, el resultado de estas categorías se expresa en porcentaje sin evidenciar el número de encuestados; asimismo, se tiende a graficar los resultados en forma que indica linealidad, bajo el supuesto que son variables continuas. Lo recomendable es presentar la información cualitativa en forma gráfica mediante barras horizontales o verticales (Figura 8.1). También, se debe tener en cuenta que en la mayoría de

los casos el análisis de las encuestas no es paramétrico, ya que presentan variables discretas. Por lo tanto se debe considerar su análisis en función de estadística no paramétrica (Steel *et. al.*, 1997).

A continuación se describe una forma de estructurar y analizar encuestas basadas en las ventajas, desventajas, servicios o potencial de desarrollo sobre un tipo de esfuerzo o alternativa específica, desarrollada o por desarrollar en una zona agropecuaria. Esta forma también puede ser usada para evaluar los resultados de un proyecto integral de desarrollo agropecuario.

Definir un tema específico como por ejemplo el uso del Rye grass anual (*Lolium multiflorum*), Rye grass perenne (*Lolium perenne*) y trébol blanco (*Trifolium repens*) en las comunidades del Alto Guanujo en la provincia de Bolívar.

1. Expresar oraciones específicas de las ventajas y desventajas, determinadas en las fases de experimentación y validación; también es posible considerar servicios.
2. Determinar las respuestas en categorías. Las categorías pueden ser: T1 = está de acuerdo, T2 = tiende a estar de acuerdo, T3 = no opina, T4 = tiende a no estar de acuerdo, y T5 = no está de acuerdo; los cuales podrían ser resumidos en: "está de acuerdo, indeciso y no está de acuerdo". Otro grupo posible es "excelente, bueno, regular, malo". En todo caso debe existir concordancia entre la oración específica que describe una ventaja, desventaja, servicio y la respuesta.
3. Determinar el grado de ponderación para cada respuesta. La forma de ponderación es en relación al número de categorías formadas. Así, se asigna 1 al de mejor categorización, 2 al subsiguiente y así sucesivamente según las posibles respuestas determinadas en el punto anterior.

El análisis de cada ventaja o desventaja de la alternativa se expresa mediante el siguiente cálculo:

$$S_i = \sum_{j=1}^n P_{ij} T_j$$

Donde:

- S_i = Puntaje total por pregunta i
 P_{ij} = Porcentaje de productor i en la categoría j
 T_j = Valor de ponderación j para cada grupo de P_{ij}
 n = Número de categorías j

La interpretación de los resultados se basa en la ponderación efectuada. El tener un promedio cercano a 1 refleja una relación estrecha con la oración planteada y facilita la interpretación. Así, el menor valor es 1 y el mayor valor será el valor más alto de ponderación, pero no necesariamente el mejor. Así, si "i" va de 1 a 5 (se establecen cinco grupos de categorización de respuesta, donde 1 es la mejor). El puntaje final puede ser relacionado dentro de esta ponderación debido a que el promedio estará entre las categorías.

En el caso del cultivo de Rye grass y trébol blanco fue experimentado y validado en la zona alta del Alto Guanujo. Durante estas fases se observó ventajas y desventajas, las que fueron utilizadas para estructurar una encuesta que refleje el uso por los productores (Cuadro 8.1).

Los resultados descritos en el Cuadro 8.1 indican que la interpretación del puntaje total ponderado por cada pregunta se basa en su aproximación a 1. Cuanto más cerca es a 1, el grupo de productores está relacionado con la oración que expresa ventaja o desventaja. Así en el ejemplo, sobre "si se puede obtener cuatro cortes en el año" el valor ponderado se obtiene de la siguiente forma: $S_1 = 0.65*1 + 0.14*2 + 0.10*3 + 0.07*4 + 0.04*5 = 1.71$

Observe que este valor está entre 1 y 2, y corresponde a una respuesta entre T1 = está de acuerdo y T2 = tiende a estar de acuerdo. En forma similar la expresión "se dispone de forraje verde durante todo el año" es de 1.64, valor que está en relación a la afirmación de que se puede tener tres o cuatro cortes por año. En el uso asociado de ambos forrajes, los valores tienden a indicar que los productores están de acuerdo con esta práctica.

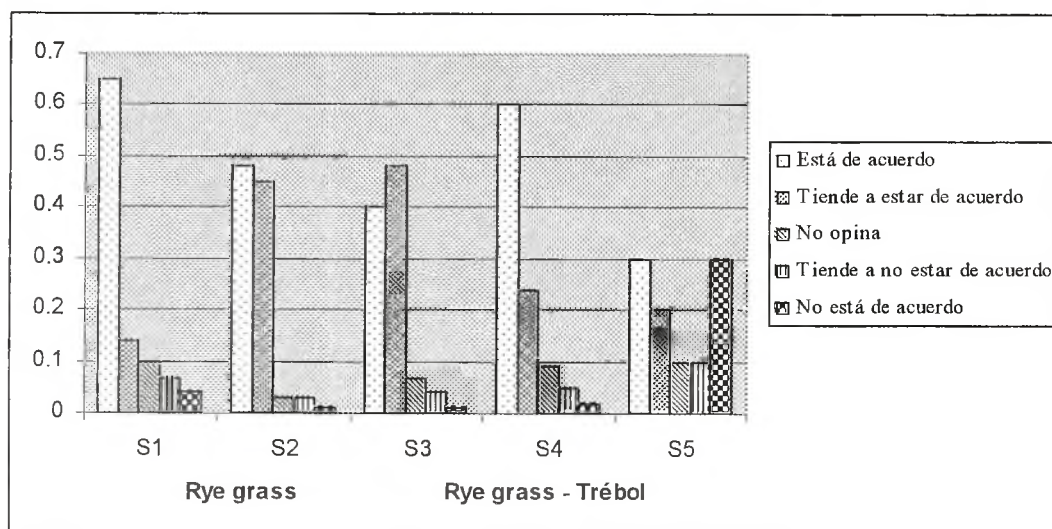
Cuadro 8.1. Análisis del uso de Rye grass anual, Rye grass perenne y de trébol blanco por productores (40) en el Alto Guanujo, provincia de Bolívar, Ecuador, 2001.

Afirmación*	T1	T2	T3	T4	T5	Puntaje total promedio
Ponderación	1	2	3	4	5	
Rye grass anual	Porcentaje de encuestados					
Se puede efectuar hasta cuatro cortes por año	0.65	0.14	0.10	0.07	0.04	1.71
Se dispone de forraje verde durante todo el año	0.48	0.45	0.03	0.03	0.01	1.64
Es resistente a las heladas	0.40	0.48	0.07	0.04	0.01	1.78
Rye grass anual y perenne y trébol blanco						
Es mejor sembrar trébol asociado con Rye grass	0.60	0.24	0.09	0.05	0.02	1.65
El Rye grass es mejor que el trébol blanco	0.30	0.20	0.10	0.10	0.30	2.90

* T1 = Está de acuerdo; T2 = Tiende a estar de acuerdo; T3 = No opina; T4 = Tiende a no estar de acuerdo; T5 = No está de acuerdo

La Figura 8.1 ilustra el uso de gráficas para representar los resultados obtenidos en porcentaje. Observe que al ser ordenados en relación a la ponderación (de 1 a 5) los resultados no siguen una distribución normal, por lo tanto no se puede asumir un análisis paramétrico, aspecto que se encuentra en la mayoría de los análisis de encuestas. El procedimiento descrito tiende a evitar este sesgo.

La representación gráfica permite visualizar los resultados de una encuesta en forma rápida y simple. Para obtener esta ventaja, los resultados deben ser presentados en forma lógica, tanto en ordenamiento como en presentación. No se recomienda el duplicar la información en su presentación como cuadros y figuras. De ser posible se realiza un resumen y se presenta la información dividida, unos en cuadros y otras en figuras. La información presentada en figura tiende a ser captada más rápidamente, por lo tanto debe ser usada para aquellos datos de mayor relevancia de la encuesta en general y del tema dentro de la encuesta en particular.



S1 = Se puede efectuar hasta cuatro cortes al año, S2 = Se dispone de forraje verde todo en año, S3 = Es resistente a las heladas, S4 = Es mejor sembrar trébol asociado con Rye grass anual y perenne, S5 = El Rye grass anual es mejor que el trébol

Figura 8.1. Representación gráfica de los resultados sobre el uso de trébol blanco y del Rye grass anual. Alto Guanujo, provincia de Bolívar, Ecuador, 2001.

Difusión e Impacto

El medir la difusión y aceptación de las alternativas propuestas, así como de la medida del impacto es una de las mayores dificultades de los proyectos de desarrollo agropecuario. Este último, en la mayoría de los casos, es parte de la evaluación final. Sin embargo, en toda planificación de transferencia debe hacerse un ejercicio teórico sobre la incorporación de tecnología por parte de productores; el seguimiento de esta actividad es complementada con las encuestas y la información secundaria obtenida. Con ambas será posible plantear la medición del impacto en términos predefinidos con anterioridad.

Difusión

A continuación se describe un modelo matemático para evidenciar la incorporación de una alternativa por parte de productores. El modelo se basa en la "curva de aprendizaje". La ecuación se basa en dos parámetros b_0 y b_1 : b_0 describe el porcentaje de productores al inicio de la alternativa y b_1 es una constante que representa la tasa de intercambio de información entre productores por acción de los técnicos involucrados en la transferencia de tecnología.

La Figura 8.2 describe la aplicación teórica del modelo descrito:

$$y_t = \frac{b_0 e^{b_1 t}}{1 - b_0 (1 - e^{b_1 t})}$$

Donde:

- b_0 = coeficiente de población inicial
- b_1 = tasa de difusión
- t = tiempo

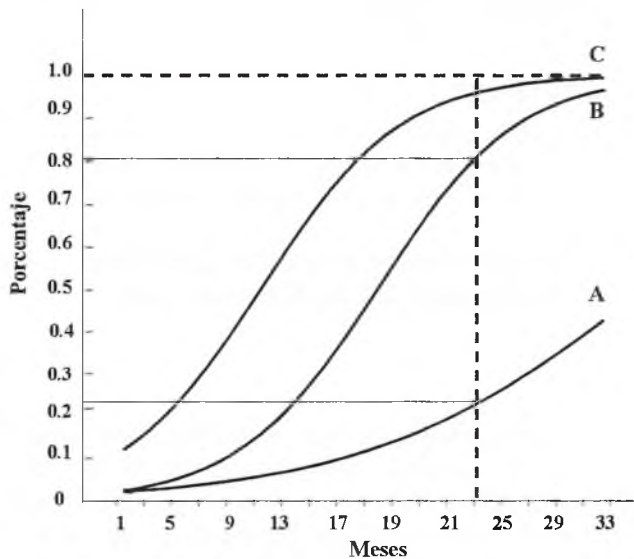


Figura 8.2. Descripción teórica de la curva de aprendizaje adaptado a condiciones de transferencia de tecnología.

Casos:

A ($b_0 = 0.02$ $b_1 = 0.10$);

B ($b_0 = 0.02$ $b_1 = 0.20$);

C ($b_0 = 0.10$ $b_1 = 0.20$).

En la Figura 8.2 se describe el caso A con una participación inicial del 2 por ciento de productores y una tasa de intercambio de 0.10. El caso B es similar en inicio pero con una tasa de 0.20. El caso C se inicia con un 10 por ciento a una tasa de 0.20.

La descripción teórica del modelo indica que el grado de participación inicial no es tan importante en el proceso de investigación en sistemas agropecuarios como si lo es el grado de intercambio de información entre productores. Este aspecto puede ser incrementado de acuerdo al uso de diferentes métodos de extensión para propiciar e incrementar el número de productores en la adopción de una o varias alternativas tecnológicas. El uso de folletos, reuniones, días de campo, programas radiales y otras técnicas contribuyen a que la tasa de intercambio sea mayor y se logre la incorporación de una alternativa en el proceso productivo de los sistemas de producción agropecuaria de una zona en particular. En todo caso se debe tener en cuenta el tiempo en relación con la alternativa, especialmente cuando la producción es sujeta a los cambios estacionales que condicionan períodos cíclicos de producción agropecuaria, caso de agricultura en secano.

En el Cuadro 8.2 se presenta la información de incorporación de productores por año en relación con la alternativa de uso de mezclas forrajeras en la zona del cantón Espejo de la provincia del Carchi. Al respecto la población universo es considerada en 1,110 productores (medianos y pequeños). La acción se planteó sobre una población objetivo del 70% (780 productores). Con los valores de incorporación gradual por año, parte de los productores, se obtiene el acumulado y el

porcentaje de participación anual y total.

Cuadro 8.2. Número y porcentaje de productores en adoptar la alternativa tecnológica de mezclas forrajeras en una zona con 1,110 productores con intervención al 70% de productores. Cantón de Espejo, Carchi, Ecuador.

Año*	Número de productores intervenidos**	Número de Productores Acumulado	Porcentaje acumulado Población objetivo**	Porcentaje acumulado Población universo
1	15	15	0.019	0.014
2	90	105	0.135	0.095
3	120	225	0.288	0.203
4	140	365	0.468	0.329
5	170	535	0.686	0.482
6	65	600	0.769	0.541
7	50	650	0.833	0.586
8	20	670	0.859	0.604
9	15	685	0.878	0.617
10	15	700	0.891	0.626

* 1994 - 2003

** Población objetivo: 70%

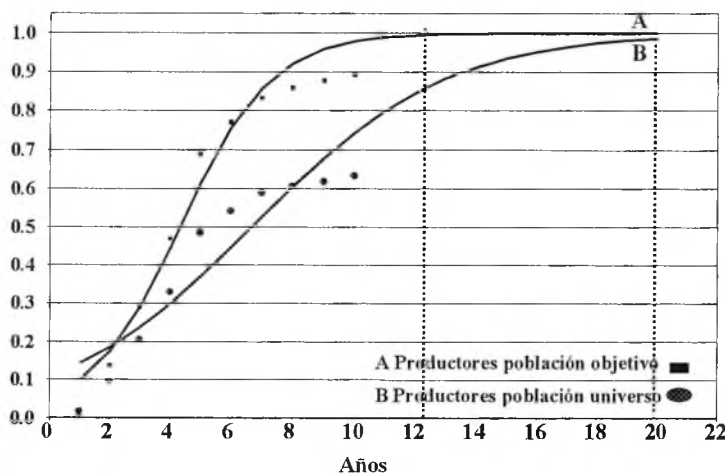


Figura 8.3. Representación de la curva de difusión e incorporación de mezclas forrajera en el cantón Espejo, Carchi.

En la Figura 8.3 se presenta la curva de difusión y los valores de participación con respecto a la población objetivo y universo. Se observa que a los diez años solamente el 89 por ciento de los productores objetivo hacen uso de la alternativa. El modelo estima, en forma teórica, una

participación total entre los 12 y 20 años para cubrir ambas poblaciones. Es de observar que el proceso es lento y aún más lento si no existen los medios adecuados para la transferencia de tecnología.

Impacto

En la investigación de sistemas agropecuarios se debe hacer uso de la información secundaria que existe en una zona en particular. Una información estadística es la referente a:

- Producción total en el área (toneladas, kg, litros)
- Factor productivo expresado en superficie o número de animales (ha, vacas en ordeño, alpacas esquiladas, cabezas de ganado)
- Rendimiento por unidad productiva ($t.ha^{-1}$, $kg.ha^{-1}$, $l.cab^{-1}$, $kg.cab^{-1}$).

La información descrita anteriormente permite la obtención de la tasa de crecimiento anual expresado en porcentaje. La tasa de crecimiento anual es calculada por medio de una ecuación semi logarítmica: $(\ln Y = b_0 + b_1 X)$, sin intercepto. Los valores deben estar en la misma unidad. Los coeficientes son relacionados mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta P = \Delta FP + \Delta PU$$

Donde:

ΔP = Tasa de incremento anual de la producción total (%); expresa el crecimiento total alcanzado en relación al factor de producción con la tecnología y crédito entre otros,

ΔFP = Tasa de incremento del factor productivo (%); refleja la expansión de la frontera agropecuaria; incluye la incorporación de tierras o el aumento de animales.

ΔPU = Tasa de incremento por unidad productiva (%); básicamente refleja el uso de tecnología. En algunos casos es difícil hacer una separación del apoyo del crédito agropecuario y precios de mercado, ya que el mismo puede inducir a la expansión agropecuaria pero no al aumento por unidad productiva.

En la interpretación de los valores obtenidos se recomienda conocer y describir el sistema productivo de cada rubro. Por fines explicativos para cada factor considerado en la ecuación, se presenta en el Cuadro 8.3 la tasa de crecimiento anual de algunos cultivos (papa, trigo) y producción de leche en el Ecuador.

Cuadro 8.3. Tasa de crecimiento anual para papa, trigo y producción de leche en el Ecuador; valores expresados en por ciento.

Rubro de producción	Años	Producción Total	Factor de producción	Rendimiento producción
Papa	36; 1965-2000	0.5344	0.4436	0.0908
Trigo	29; 1965-1993	0.5282	0.5360	-0.0078
Leche	22; 1972-1993	0.9413	0.9681	-0.0268

Para cada caso se debe definir una interpretación analizada en forma particular sobre la base del sistema productivo de cada rubro. En general, se observa que el crecimiento anual de la producción total de papa, trigo y leche fue bajo. En el caso de la papa, trigo y leche el crecimiento se debe al incremento del factor productivo (frontera agropecuaria) es decir mayor número de hectáreas sembradas y vacas en ordeño. Para el caso de la papa se observa un ligero incremento en rendimiento por hectárea. En el caso del trigo y leche los rendimientos por unidad productiva son negativos, reflejando que la tecnología (variedades, razas, manejo) no aportó a la producción total. Una interpretación gráfica se presenta en la Figura 8.4.

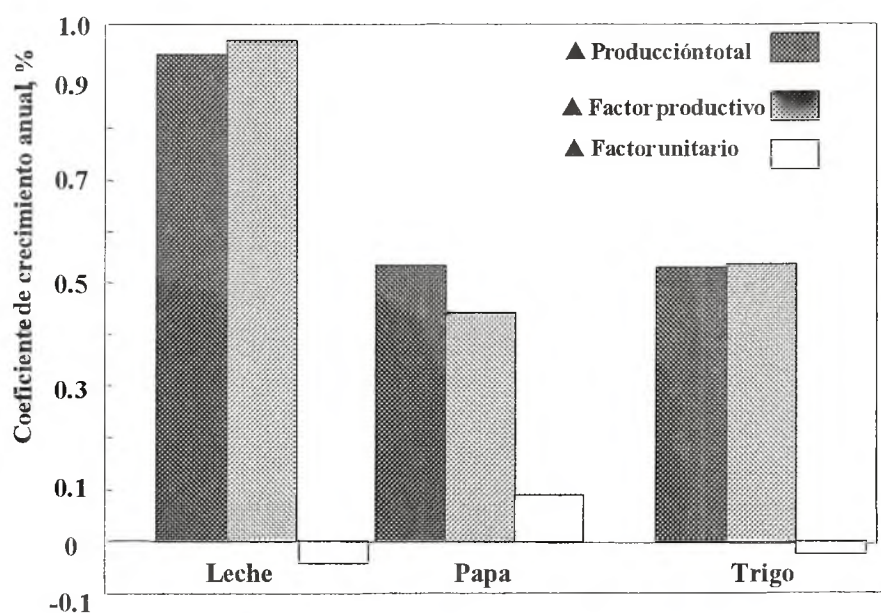


Figura 8.4. Representación gráfica del aumento de producción total en porcentaje anual basado en factor productivo y rendimiento por rubro de producción.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AGUILAR, C. Y BARRERA, V. 1997. Evaluación de la sostenibilidad de una alternativa de manejo en el sistema de producción de pequeños productores de Carchi, Ecuador. Experimentación con un modelo de simulación. En Archivos Latinoamericanos de Producción Animal. Publicado por Asociación Latinoamericana de Producción Animal. San Juan, Puerto Rico. Volumen 5, Número 1, pp. 1-20.
- AGUILAR, C. Y CAÑAS, R. 1992. Simulación de Sistemas: Aplicaciones en producción animal. In Simulación de Sistemas Pecuarios. RISPAL. San José, Costa Rica. pp. 189-284.
- AGUILAR, C. Y CAÑAS, R. 1980. Algunas consideraciones del uso de análisis de sistemas en ciencias agrícolas. Ciencia Interamericana OEA, 10(1-2): 8.
- ARCE, B.; BARRERA, V. Y SUQUILLO, J. 1993. Caracterización del Sistema de Producción del Pequeño Productor del Cantón Espejo, Provincia del Carchi: Resultados de la Encuesta Estática. Quito, Ecuador. 46 p.
- ARCE, B. 1989. Análisis del sistema de producción de alpacas en pequeños productores de Puno-Perú. Tesis MSc. Santiago, Chile, Programa de Postgrado de la Facultad de Agronomía, Departamento de Zootecnia de la Pontificia Universidad Católica de Chile. 222 p.
- BARRERA, V.; ESCUDERO, L.; NORTON, G. Y SHERWOOD, S. 2002. "Validación y difusión de modelos de manejo integrado de plagas y enfermedades en el cultivo de la papa. Una experiencia de capacitación participativa en la provincia del Carchi, Ecuador". Revista INIAP (16): 25-28.
- BARRERA, V.; GRIJALVA, J. Y LEON-VELARDE, C. 2002. Mejoramiento de los sistemas de producción de leche en la Ecoregión Andina del Ecuador. (Premio Fabián Portilla). En Archivos Latinoamericanos de Producción Animal. En Publicación Asociación Latinoamericana de Producción Animal.
- BARRERA, V.; GRIJALVA, J.; LLANGARI, P.; MONAR, C.; PADRON, G. Y TAPIA, R. 2001. Caracterización de los sistemas de producción mixtos: cultivos-ganadería en la ecoregión andina del Ecuador. INIAP-CIP-PROMSA. Documentos de Trabajo.
- BARRERA, V. Y GRIJALVA, J. 2000. Maximización de beneficios en el sistema de producción agropecuaria de pequeños productores del Carchi-Ecuador. Uso de un modelo de Optimización. En Cuadernos del Instituto Superior de Investigaciones Pecuarias. Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Quito, Ecuador. Volumen 1, No.1, pp. 19-28.

- BARRERA, V.; GRIJALVA, J.; LLANGARI, P.; SUQUILLO, J.; MERINO, F; INCA, F.; LOBATO, O. Y LEON-VELARDE, C. 2000. Mejoramiento de los sistemas de producción lechera en la Eco región Andina del Ecuador. Reporte Final de Actividades 1997-2001. Quito, Ecuador. 37 p.
- BARRERA, V. Y AGUILAR, C. 1997. Modelo de simulación para el estudio de la sostenibilidad del sistema de producción de pequeños productores de Carchi, Ecuador. Desarrollo del Modelo y Validación. En Archivos Latinoamericanos de Producción Animal. Publicado por Asociación Latinoamericana de Producción Animal. San Juan, Puerto Rico. Volumen 4, Número 2, pp. 135-166.
- BARRERA, V.; AGUILAR, C.; CAÑAS, R.; CUBILLOS, G. Y CAMIRUAGA, M. 1995. Comparación de cuatro alternativas de manejo de un sistema de producción de leche de pequeños productores de la zona del Carchi-Ecuador. Modelo de Simulación (Experimentación). Revista Argentina de Producción Animal. Memorias XIV Reunión Latinoamericana de Producción Animal. Mar del Plata, Argentina. Volumen 15 No.3/4: 1112-1114.
- CENTRO DE INVESTIGACION DE RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE (CIRNMA). 1994. Análisis de Sistemas Agropecuarios: Uso de métodos bio-matemáticos. Carlos León-Velarde y Roberto Quiroz. Editorial EFI-GRAF. La Paz, Bolivia. 238 pp.
- COCHRAN, W. and COX, G. 1957. Experimental design. 2nd edition. John Willey & Sons. 611 pp.
- CONOVER, W.J. 1999. Practical nonparametric statistics. Third edition. John Willey & Sons. Series, New York. 584 pp.
- DE DATTA, S.K. 1990. Some definitions of sustainability. In Technical Advisory Committee's (TAC). CGIAR.
- DRAPER, N.R.; SMITH, H. 1981. Applied regression analysis. 2nd ed. New York, John Wiley & Sons. 709 pp.
- FINLAY, K. and WILKINSON, G. 1963. The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. Australian Journal of Agricultural Research 14:742-754.
- FRANCE, J. and THORNLEY, J.H. 1984. Mathematical models in agriculture. London, Butterworths. 335 pp.
- GAINES, W. 1927. Persistency of lactation in dairy cows. Bulletin of the Illinois Agricultural Experimental Station No. 288, 355-424.

- GAINES, W. 1927. Interpretation of the lactation curve. *Journal of General Physiology* 10:27-31.
- GNANADESIKAN, R. 1977. *Methods for statistical data analysis of multivariate observations*. John Wiley & Sons. New York. 311 pp.
- GRAYBILL, F. and KNEEBONE, W. 1959. Determining minimum populations for initial evaluation of breeding material. *Agronomy Journal* 51:4-6.
- GRIJALVA, J. 2002. Producción y utilización de pasturas para el mejoramiento de los sistemas de producción mixtos en la ecoregión andina. INIAP. 30 pp. (en publicación).
- GRIJALVA, J., ESPINOSA, F. e HIDALGO, M. 1995. Producción y utilización de pastizales en la región interandina del Ecuador. Manual No 30, Estación Experimental Santa Catalina del INIAP.
- HART, R. 1980. *Agroecosistemas: conceptos básicos*. CATIE, Turrialba-Costa Rica. 211 pp.
- HILLIER, F. and LIEBERMAN, G. 1986. *Introduction to operations research*. 4th. Edition. Hoden-Day, Inc. Oakland, California. 887 pp.
- INCA, F. 2000. Opciones Bio-económicas para el mejoramiento de los sistemas de producción de las comunidades campesinas de Chimborazo. Tesis de Grado de Ingeniero Agrónomo. Escuela Superior Politécnica del Chimborazo. Facultad de Recursos Naturales. Escuela de Ingeniería Agronómica. Riobamba, Ecuador. 107 pp.
- INIAP-CIP-PROMSA. 2001-2003. Proyecto "Mejoramiento de la productividad y sostenibilidad de los sistemas de producción mixtos: cultivos-ganadería, en la ecoregión andina del Ecuador". 50 pp.
- INIAP-CIP. 1997-2001. Proyecto "Mejoramiento de los sistemas de la producción lechera en la ecoregión andina del Ecuador. 25 pp.
- JENKINS, T.G. and FERRELL, C.L. 1984. A note on lactation curves of crossbred cows. *Animal Production* 39:479.
- KALTON, G. 1983. *Introduction to survey sampling. Quantitative applications in the social sciences*. Sage University Paper No. 35. London. 96 pp.
- LEON-VELARDE and QUIROZ, R. 1998. Selecting optimum ranges of technological alternatives by using response surface designs in system analysis. In *Impact on a changing world*. Report 1997-1998 International Potato Center, CIP, Lima, Peru. pp. 387-394.
- LEON-VELARDE, C.; McMILLAN, I.; GENTRY, R.D and WILTON, J.W. 1995. Estimating typical lactation curves in dairy cattle. *Journal Animal Breeding Genetics*. 112: 333-340.

- LEON-VELARDE, C.; MUÑOZ, H.; DAVIS, P and ARCE, B. 1994. Measuring bio-economic sustainability: Use of simulation and case study in Latin America. In Symposium International Researches-Systems in Agriculture and Development Rural. Montpellier, France. pp. 584 - 585.
- LEON-VELARDE y QUIROZ, R. 1993. Uso de modelos bio-matemáticos para medir sostenibilidad: caso de la producción de alpacas. Reunión Latino Americana sobre Sistemas y Extensión. Quito, Ecuador. Abstract.
- LEON-VELARDE, C. 1991. A simulation model to analyze the bio-economic function of cows in intensive dairy farms using a systems approach. Ph.D. dissertation. University of Guelph. 255 pp.
- LEON-VELARDE, C. 1984. Manejo de los sistemas de producción de leche. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 60 pp.
- LITTLE, T. and JACKSON HILLS, F. 1978. Agricultural experimentation: design and analysis. John Wiley and Sons. New York. 350 pp.
- LLANGARI, P. 1999. El análisis ex-ante permite evaluar alternativas de solución y estimar el comportamiento de sistemas de producción de pequeños productores de Chimborazo a fin de obtener una maximización de beneficios netos. Tesis de Grado de Maestría en Administración de Negocios. Universidad Internacional SEK. Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas. Quito, Ecuador. 243 pp.
- LYNAM, J. and HERDT, R. 1989. Sense and sustainability: sustainability as an objective in international agricultural research. *Agricultural Economics* 3:381-398.
- McMILLAN, I. 1981. Compartmental model analysis of poultry egg production curves. *Poultry science* 60:1549-1551.
- MERTENS, D.R. and ELY, L.O. 1982. Relationship of rate and extent of digestion to forage utilization - A dynamic model of evaluation. *Journal of Animal Science* 54:895-905.
- MONTGOMERY, D.C. 1984. Design and analysis of experiments. 2nd Edition. John Willey & Sons, Inc. 538 pp.
- MORRISON, D.F. 1976. Multivariate statistical methods. McGraw-Hill Book Co. N. Y. 415 pp.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. 2001. Nutrient requirements of Dairy Cattle 7 ed. rev. Washington, D.C., EE.UU., National Academy Press. 363 pp.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. 1984. Nutrient requirements of beef cattle. 6th ed. rev. Washington, D.C., EE.UU., National Academy Prees. 90 pp.

- NELDER, J. 1966. Inverse polynomials, a useful group of multi-factor response functions. *Biometrics* 22:128-141.
- QUIROGA, V. 1976. Manual práctico para el análisis de experimentos de campo. IICA. San José, Costa Rica. Serie de Publicaciones Misceláneas No. 142. 113 pp.
- RAWLINGS, J.O. 1988. Applied regression analysis; a research tool. Wadsworth & Brook/Cole Statistical/Probability series. California. 553 pp.
- RUEDA, G. 2002. Optimización económica de los sistemas de producción de medianos productores en el Alto Guanujo, provincia de Bolívar 2001. Tesis de Grado de Ingeniero Agropecuario. Escuela Superior Politécnica del Ejército. Quito, Ecuador. 136 pp.
- STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM. 1988. SAS/STAT User's guide. Release 6.03 edition. SAS institute INC. Cary N.C. 1029 pp.
- SHANNON, R. 1975. Systems simulation: the art and science. New York, EE.UU., Prentice Hall Inc. Englewood cliffs. 387 pp.
- SMITH, H.F. 1938. An empirical law describing heterogeneity in the yields of agricultural crops. *Journal of Agricultural Science*. 28:1-23.
- SNEDECOR, G. and COCHRAN, W. 1980. Statistical methods. 17th edition. The Iowa State University Press. Ames, Iowa. 506 pp.
- SPEEDING, C.R.W. 1975. The biology of agricultural systems. Academic press, Inc. London. 261 pp.
- STEEL, R.G.; TORRIE, J.H. and DICKEY, D.A. 1997. Principles and procedures of statistics: A biometrical approach. Third edition. McGraw-Hill New York. 394 pp.
- VON BERTALANFY, L. 1957. Quantitative laws for metabolism and growth. *Quarterly Reviews of Biology* 32:217.
- WOOD, P.D.P. 1967. Algebraic model of the lactation curve in cattle. *Nature (London)* 216:164.
- WOOD, P.D.P. 1981. Lactation curves. In computers in Animal Production. Occasional publication No. 5. British Society of Animal Production.
- ZARATE, J. 2002. Optimización de los sistemas de producción mixtos: cultivos-ganadería en las comunidades campesinas de Molobog y Chuguín, provincia de Cañar. Tesis de Grado de Ingeniero Agrónomo. Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Facultad de Recursos Naturales. Escuela de Ingeniería Agronómica. Riobamba, Ecuador. 88 pp.

ANEXO 1

En esta sección se describe un resumen de los conceptos básicos necesarios para entender los procedimientos estadísticos de mayor uso en el análisis de los Sistemas Agropecuarios. Para mayor información se recomienda consultar textos especializados en estadística, algunos de ellos se describen en la sección de referencias.

REGLAS DE SUMACION

Terminología

Esta sección describe, en forma resumida, las reglas de sumación utilizadas en la mayoría de textos de estadística e información científica.

La suma es indicada por el símbolo Σ (letra mayúscula griega sigma), la cual es utilizada para indicar una serie de operaciones sobre las observaciones de una variable Y . Las observaciones son descritas como:

$$y_1, y_2, y_3, y_4, y_5$$

La variable Y_i se lee como "y sub uno", y significa el primer elemento de un conjunto. Y_2 es el valor del segundo y así sucesivamente. Para especificar una observación cualquiera se usa la expresión Y_i . Donde i indica una observación sobre un rango de valores observados. El rango de observaciones se describe como $i = 1, \dots, n$. Por lo tanto una sumación (Σ) de observaciones se escribe como:

$$y_1 + y_2 + y_3 + \dots + y_n = \sum_{i=1}^n y_i$$

De esta forma la suma de una serie de observaciones de una variable Y puede ser descrita por la expresión arriba descrita. Esta última forma es usada sólo cuando todos los valores de la variable intervienen. Su uso simplifica un trabajo demostrativo y rápido. Sin embargo, siempre debe expresarse el rango sobre la cual la sumación de observaciones es realizada.

En estadística generalmente la información es tabulada en cuadros de doble entrada. En los cuales se considera hileras (r) y columnas (c). Estos cuadros tienen una forma matricial que permite la identificación de los elementos de una variable dentro de la matriz por medio de dos subscritos que indican su posición con respecto a la hilera (r) y la columna (c) en que se encuentran. Las letras más comunes para representar la hilera y columna son la i y la j . El término de ΣY_{i2} indica una suma de $i = 1, \dots, r$ hileras sobre la columna 2. El término ΣY_{2j} indica una suma de $j = 1, \dots, c$ columnas sobre la hilera 2. La suma de todas las hileras (r) y columnas (c) es expresado por doble sumación $\Sigma \Sigma x_{ij}$.

Reglas de sumación

Regla 1.- La suma de una constante. Una constante (C) en n términos puede ser escrita como el producto del límite superior de la sumación, n , y C :

$$\sum_{i=1}^n C = C + C + \dots + Cn = nC$$

Regla 2.- La suma de una variable. Asuma una variable Y con valores $Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, \dots, Y_n$. La suma sobre $i = 1, \dots, n$ valores de la variable es:

$$\sum_{i=1}^n Y_i = Y_1 + Y_2 + \dots + Y_n$$

Regla 3.- La suma del producto de una constante y una variable ($\sum cY_i$), puede ser escrita como el producto de la constante y la suma de la variable:

$$\sum_{i=1}^n cY_i = c \sum_{i=1}^n Y_i$$

Regla 4.- En operaciones que incluyen sumaciones el orden es sobre la variable en operación a menos que se especifique la operación matemática como exponente, multiplicación o división, suma y resta:

$$\sum_{i=1}^n Y_i^2 = Y_1^2 + Y_2^2 + \dots + Y_n^2$$

$$\neq (Y_1 + Y_2 + Y_3 + \dots + Y_n)^2$$

$$\left(\sum_{i=1}^n Y_i \right)^2 = (Y_1 + Y_2 + \dots + Y_n)^2$$

$$\sum_{i=1}^n X_i Y_i = X_1 Y_1 + X_2 Y_2 + \dots + X_n Y_n$$

$$\neq \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n Y_i$$

Regla 5.- Distribución de una sumación. Si la operación a realizar es solamente suma o resta, éstas pueden ser expresadas en términos separados. Asuma X y Y dos variables (similar al caso

mencionado anteriormente).

$$\sum_{i=1}^n (X_i + Y_i) = \sum_{i=1}^n X_i + \sum_{i=1}^n Y_i$$

Esta regla aplica para cualquier número de términos y combinaciones de las regla 1, 2 y 3:

$$\sum_{i=1}^n (X_i + cY_i - tW_i) + C = \sum_{i=1}^n X_i + c \sum_{i=1}^n Y_i - t \sum_{i=1}^n W_i + n + C$$

Regla 6.- Si una variable (X_j) de un producto de dos variables ($X_i Y_{ij}$) al ser sumadas solamente sobre el índice externo de la sumación se puede factorizar fuera de la sumación:

$$\sum_{j=1}^r \sum_{i=1}^n X_i Y_{ij} = \sum_{j=1}^r X_j \sum_{i=1}^n Y_{ij}$$

Valor esperado

El valor esperado de una variable discreta al azar es la suma obtenida por el valor del producto de la variable por la probabilidad asociada a ella:

$$E(Y) = \sum_{i=1}^N Y_i p(Y_i)$$

Donde: E significa el operador para valor esperado y

$$\sum_{i=1}^N P(Y_i) = 1$$

Para una variable al azar continua:

$$\int_{-\infty}^{\infty} Yf(Y) d(Y) \quad \text{donde} \quad \int_{-\infty}^{\infty} f(Y) d(Y) = 1$$

A continuación se describe las reglas para encontrar el valor esperado de una constante y de una variable al azar.

Regla 1.- El valor esperado de una variable al azar. Si se considera una población con μ_y , el valor esperado de la variable al azar en: $E(Y) = \mu_y$.

Regla 2.- El valor esperado de una constante: $E(c) = c$.

Regla 3.- Valor esperado de una constante por una variable al azar: $E(cY) = c E(Y)$. Puede ser escrito como: $c \mu_y$.

Regla 4.- Valor esperado de una constante más una variable al azar: $E(c+Y) = c + E(Y)$. Puede ser escrito como: $c + \mu_y$

Regla 5.- Valor esperado de la suma o resta de variables al azar: $E(X + Y) = E(X) + E(Y)$. $E(X - Y) = E(X) - E(Y)$. Puede ser expresado como: $\mu_x - \mu_y$.

Regla 6.- Valor esperado del producto de variables al azar independientes: $E(XY) = E(X)E(Y)$. Si las variables no son independientes: $E(XY) = E(X)E(Y)$.

Regla 7.- Valor esperado de la suma de observaciones de una población común.

$$E\left(\sum_{i=1}^n Y_i\right) = E(Y_1 + Y_2 + \dots + Y_n) = n \mu_y$$

Regla 8.- El valor esperado de una variable al cuadrado. $E(Y^2) = \mu_y^2 + \sigma_y^2$. Esta expresión es demostrada en relación a la variancia de una constante:

$$E(Y^2) - [E(y)]^2 = \sigma_y^2. \text{ y } E(Y^2) = [E(y)]^2 + \sigma_y^2.$$

pero $E(Y) = \mu_y$. Por lo tanto: $E(Y^2) = \mu_y^2 + \sigma_y^2$.

Regla 9.- El valor esperado de la suma de cuadrados de observaciones al azar de una población con media igual a μ_y y una variancia σ_y^2 es:

$$E\left(\sum_{i=1}^n Y_i^2\right) = E(Y_1^2 + \dots + Y_n^2) = n (\mu_y^2 + \sigma_y^2)$$

Regla 10.- El valor esperado del cuadrado de la suma de observaciones al azar de una población con media igual a μ y una variancia σ_y^2 es:

$$E\left(\sum_{i=1}^n Y_i\right)^2 = E(Y_1 + Y_2 + \dots + Y_n)^2 = n(n \mu_y^2 + \sigma_y^2)$$

Sea Y un vector aleatorio con una matriz de variancia-covariancia $\text{Var}(Y)$, y sea $U = a'Y$ cualquier función lineal del vector Y , donde a' es el vector de los coeficientes que definen la función lineal. Entonces, la variancia de U está dada por: $\sigma^2(U) = a' \text{Var}(Y) a$; Si $\text{Var}(Y) = I\sigma^2$, tal como se asume en la técnica de cuadrados mínimos ordinarios, $\sigma^2 = a'(I\sigma^2)a = a'a \sigma^2$. Observe que $a'a$ es la suma de cuadrados de los coeficientes de la función lineal.

Si se considera K funciones lineales simultáneamente, expandiendo a' a una matriz $K \times n$ de coeficientes, donde cada hilera proporciona los coeficientes para cada función lineal. Entonces, $U = AY$ es un vector columna que contiene K variables aleatorias obtenidas de las funciones lineales en un vector aleatorio Y . La matriz variancia-covariancia $K \times K$, para U , es dada por:

$$\text{Var}(U) = A \text{Var}(Y) A' = AA' \sigma^2, \text{ cuando } \text{Var}(Y) = I\sigma^2$$

El i ésimo elemento de la diagonal de AA' es la suma de cuadrados de los coeficientes de la i ésima función lineal. El elemento ij fuera de la diagonal es la suma de productos de los coeficientes de las funciones lineales i y j . Por definición, la matriz variancia-covariancia de un vector aleatorio Y es:

$$\text{Var}(Y) = E\{[Y - E(Y)][Y - E(Y)]'\}$$

Donde: E denota el esperado de los elementos de la matriz que sigue. El producto de los vectores entre las llaves, $\{ \}$, da una matriz $n \times n$ con los términos $[Y_i - E(Y_i)]^2$ en la diagonal, y $[Y_i - E(Y_i)][Y_j - E(Y_j)]$ en las posiciones fuera de la diagonal. Las esperanzas de estos elementos son, por definición, las variancias y covariancias, respectivamente. Usando esta definición, se deriva la variancia de $U=AY$. Por definición: $\text{Var}(U) = E\{[U - E(U)][U - E(U)]'\}$. Sustituyendo AY por U se tiene: $\text{Var}(U)=E\{[AY-E(AY)][AY - E(AY)]'\}= A \text{Var}(Y) A'$.

Variancia y covariancia

Regla 1.- La variancia (V) de una variable (Y) al azar es: $V(Y)=\sigma^2_Y$.

Regla 2.- La variancia (V) de una constante es cero: $V(c)=0$.

Regla 3.- La variancia (V) del producto de una constante (c) y una variable al azar (Y) con una variancia σ^2_Y es: $V(cY) = c^2 \sigma^2_Y$.

Regla 4.- La variancia de una constante (c) más una variable al azar (Y); ($c+Y$) es: $V(c + Y)= V(c) + V(Y) = \sigma^2_Y$.

Regla 5.- La covariancia (Cov) de dos variables al azar (X, Y); es: $Cov(X, Y)= E(XY) - E(X)E(Y)$. Si X e Y son independientes la covariancia es cero.

El cálculo de la variancia y covariancia de funciones lineales se basa en las reglas anteriormente mencionadas.

CONCEPTOS DE ALGEBRA MATRICIAL

El uso de matrices facilita el proceso estadístico. Su uso es necesario para entender los conceptos básicos del álgebra de matrices, especialmente en la solución de modelos lineales que representan un grupo de ecuaciones simultáneas. En esta sección se presenta los conceptos básicos y necesarios para un adecuado entendimiento de expresiones matriciales comunes en la literatura científica.

Definiciones y notación

El álgebra de matrices utiliza una notación especial para simplificar la descripción de un arreglo matricial de números.

Una matriz (A) es un arreglo de elementos en hileras (r) y columnas (c). Se describe como $A_{(r \times c)}$. Donde A es una matriz cualquiera con un orden de r hileras y c columnas ($r \times c$):

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & \dots & a_{1c} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{r1} & \dots & a_{rc} \end{pmatrix}$$

Letras mayúsculas son usadas para representar matrices que tienen más de una hilera y una columna. Letras minúsculas son usadas para representar vectores, los cuales son matrices de una sola hilera y una sola columna. Un valor escalar es una matriz de una sola hilera y una sola columna ($[a]_{1 \times 1}$).

Como ejemplo se presenta las matrices $Y_{(3 \times 2)}$, $B_{(2 \times 4)}$ y el vector $Z_{(5 \times 1)}$

$$Y = \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 7 \\ 5 & 3 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 3 & -1 & 4 & 8 \\ 2 & -3 & 5 & 7 \end{bmatrix} \quad Z = \begin{bmatrix} 2 \\ 5 \\ 3 \\ 7 \\ 9 \end{bmatrix}$$

Cada elemento de la matriz tiene una posición, la cual es especificada con subíndices. Estos indican la hilera (r) y la columna (c) del elemento dentro de la matriz. Por ejemplo, en la matriz B se tiene el elemento $b_{2,3}$, el cual lo describe en la posición de la segunda hilera y tercera columna. Nótese que la hilera siempre se indica primero.

El tamaño de una matriz está dado por su *orden*, dado por el número de hileras y columnas. La matriz Y es de orden (3,2) ó 3×2 , ya que tiene tres hileras y dos columnas.

La transpuesta de una matriz es el reverso de hileras y columnas:

Si $A = \{ a_{ij} \}_{r \times c}$ luego $A' = \{ a_{ji} \}_{c \times r}$.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 5 \\ 4 & 6 & 8 \\ 5 & 7 & 8 \end{bmatrix} \quad A' = \begin{bmatrix} 1 & 4 & 5 \\ 2 & 6 & 7 \\ 5 & 8 & 8 \end{bmatrix}$$

Ejemplo: $A = \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 4 \\ 5 & 6 \\ 7 & 8 \end{bmatrix}$, la transpuesta de A es $A' = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 & 7 \\ 2 & 4 & 6 & 8 \end{bmatrix}$

Observe que A no es igual A' . Sólo las matrices simétricas, que contienen elementos iguales por abajo y arriba de la diagonal, son iguales en su transpuesta.

La diagonal de una matriz son los elementos dentro de igual hilera y columna. Los elementos fuera de la diagonal son los restantes.

TIPOS DE MATRICES

Rectangular.- Una matriz es rectangular si el número de hileras (r) es diferente al número de columnas (c). Todos los vectores son matrices rectangulares. Ejemplo:

$$V = \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 5 \\ 4 & 8 \\ 2 & 8 \end{bmatrix}$$

Cuadrada.- Una matriz es cuadrada si el número de hileras (r) es igual al número de columnas (c). Ejemplo:

$$C = \begin{bmatrix} 2 & 5 \\ 3 & 6 \end{bmatrix}$$

Simétrica.- Una matriz simétrica es aquella en que el elemento dentro de la i -ésima hilera y la j -ésima columna es igual al elemento en la j -ésima hilera y i -ésima columna para toda i y j . La transpuesta de una matriz simétrica es la misma matriz. Ejemplo:

$$A = \begin{bmatrix} 5 & -2 & 4 \\ -2 & 3 & 0 \\ 4 & 0 & 7 \end{bmatrix}$$

Matriz diagonal.- Una matriz es diagonal cuando los elementos fuera de la diagonal son ceros. Se puede representar como $D = \text{diagonal}(d_1, d_2, \dots, d_n)$. Ejemplo:

$$A = \begin{bmatrix} 3 & 0 & 0 \\ 0 & 5 & 0 \\ 0 & 0 & 7 \end{bmatrix}$$

Matriz de identidad.- Es una matriz cuadrada, simétrica y diagonal en que todos los elementos de la diagonal son unos. Se representa como I_N . El subíndice n denota el orden de la matriz.

$$I_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Matriz nula.- Es una matriz de cualquier orden en que sus elementos son ceros.

$$N = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Matriz triangular.- (abajo o arriba), es una matriz cuadrada con todos los elementos (arriba o abajo) de la diagonal son ceros.

$$T = \begin{bmatrix} 3 & 0 & 0 \\ 0 & 5 & 0 \\ 0 & 0 & 7 \end{bmatrix}$$

Matriz tridiagonal.- Es una matriz cuadrada en que todos los elementos son ceros excepto la diagonal y aquellos elementos que están inmediatamente próximos a los elementos de la diagonal dentro de una hilera o columna.

$$L = \begin{bmatrix} 3 & 4 & 0 \\ 2 & 5 & 6 \\ 0 & 3 & 7 \end{bmatrix}$$

Matriz J.- Una matriz J es una matriz de cualquier orden en el cual todos los elementos son unos. También un I es un vector con todos los elementos iguales a uno.

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Matriz idempotente.- Es aquella matriz que al multiplicarse por sí misma, produce la matriz original. Es decir, $A^2 = A \times A = A$. El rango de una matriz idempotente es igual a la suma de los elementos de la diagonal. La suma de los elementos de la diagonal de la matriz se conoce como la

traza de la matriz. Ejemplo: sea,

$$A = \begin{bmatrix} 1/2 & 1/2 \\ 1/2 & 1/2 \end{bmatrix} \quad AxA = \begin{bmatrix} 1/2 & 1/2 \\ 1/2 & 1/2 \end{bmatrix}$$

La utilidad básica de las matrices es que permite la solución de múltiples ecuaciones simultáneas. Su uso es continuo y necesario en estadística y en especial en genética y mejoramiento animal. Un concepto que se usa en la solución de ecuaciones simultáneas es el rango de la matriz. Rango se define como el número de columnas linealmente independientes de una matriz. Por ejemplo, sea $A_{3 \times 3}$ una matriz:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 4 \\ 3 & 0 & 6 \\ 5 & 3 & 13 \end{bmatrix}$$

Si se multiplica la primera columna por dos y se añade la segunda, se produce la tercera. La tercera columna es, por tanto, una combinación lineal de las dos primeras, dejando sólo dos columnas independientes; entonces, el rango de la matriz A, denotado como $r(A)$, es dos. Si no hay independencia lineal entre las columnas de una matriz, se dice que la matriz es de *rango completo* y es posible invertirla y conseguir (A^{-1}) . Si una matriz no es de rango completo, se dice que es *singular* y su determinante es cero, por lo tanto no es posible invertirla.

A continuación se presenta una corta revisión de las operaciones del cálculo matricial.

Suma y resta matricial

Dos matrices A y B pueden ser sumadas o restadas si tienen el mismo número de hileras (r) y columnas (c). Ejemplo:

$$\begin{bmatrix} 2 & 4 \\ 6 & 8 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 3 & 6 \\ 9 & 2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 5 & 10 \\ 15 & 10 \end{bmatrix}$$

Nótese que la adición es conmutativa: $A + B = B + A$.

Multiplicación

Dos matrices $A_{r \times c}$ y $B_{c \times r}$ pueden ser multiplicadas si el número de columnas (c) en la primera matriz es igual al número de hileras (r) de la segunda matriz.

Sea, $A_{(1 \times 3)} = (a_1 \ a_2 \ a_3)$ y $B'_{(3 \times 1)} = (b_1 \ b_2 \ b_3) \implies$ el producto de A y B' es:

$$A \times B' = (a_1 \ a_2 \ a_3) \times \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix} = a_1 b_1 + a_2 b_2 + a_3 b_3$$

El ejemplo planteado describe la multiplicación de una matriz A de 1×3 por una de B de 3×1 . El resultado es la suma de productos de los elementos correspondientes y será un sólo número, escalar, o una matriz 1×1 . Las dimensiones internas (3) deben ser iguales, e indican el número de productos en suma. Las dimensión externa (1), define el orden de la matriz resultante.

La multiplicación de matrices no es conmutativa. Es decir, $AB \neq BA$ El primer paso en multiplicación de matrices es verificar si el orden es correcto, para poder proceder a multiplicar:

$$\text{sea } A_{2 \times 3} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \end{bmatrix} \text{ y } B_{3 \times 2} = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \\ b_{31} & b_{32} \end{bmatrix}$$

El producto de A y B es una matriz C de orden 2×2 :

$$AB = C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} \\ c_{21} & c_{22} \end{bmatrix}$$

Donde:

$$C_{11} = \sum_{j=1}^3 a_{1j} b_{j1} = a_{11} b_{11} + a_{12} b_{21} + a_{13} b_{31}$$

$$C_{12} = \sum_{j=1}^3 a_{1j} b_{j2} = a_{11} b_{12} + a_{12} b_{22} + a_{13} b_{32}$$

$$C_{21} = \sum_{j=1}^3 a_{2j} b_{j1} = a_{21} b_{11} + a_{22} b_{21} + a_{23} b_{31}$$

$$C_{22} = \sum_{j=1}^3 a_{2j} b_{j2} = a_{21} b_{12} + a_{22} b_{22} + a_{23} b_{32}$$

Nótese que la matriz C tiene el número de hileras igual que el número de hileras en A y el número de columnas igual al número de columnas en B. Para multiplicar una matriz por una constante se multiplica cada elemento de la matriz por el escalar.

Ejemplos: sea $B = 4$

$$(1) \quad A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -5 \end{bmatrix} \quad x \quad B = C = \begin{bmatrix} 4 & 0 & -20 \end{bmatrix}$$

$$(2) \quad A = \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 4 & 5 \\ 3 & 0 \end{bmatrix} \quad x \quad B = C = \begin{bmatrix} 4 & 8 \\ 16 & 20 \\ 12 & 0 \end{bmatrix}$$

La transpuesta de un producto es el producto de las transpuestas de las dos matrices en orden reverso; es decir, $(AB)' = B'A'$

$$\text{Sea} \quad A = \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 4 & 5 \\ 3 & 0 \end{bmatrix} \quad y \quad B = \begin{bmatrix} -1 \\ 3 \end{bmatrix}; \quad AB = C = \begin{bmatrix} 5 \\ 11 \\ -3 \end{bmatrix} \quad C' = \begin{bmatrix} 5 & 11 & -3 \end{bmatrix}, \text{ verificar;}$$

$$(AB)' = C' = B'A':$$

$$B'A' = \begin{bmatrix} -1 & 3 \end{bmatrix} \quad x \quad \begin{bmatrix} 1 & 4 & 3 \\ 2 & 5 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 5 & 11 & -3 \end{bmatrix} = C'$$

Si el producto de dos vectores es igual a cero, estos vectores son ortogonales entre sí. Dos vectores son ortogonales si $V_1'V_2 = 0$

$$\text{Sea} \quad V_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ -1 \\ 4 \end{bmatrix} \quad y \quad V_2 = \begin{bmatrix} 3 \\ 4 \\ -1 \\ -1 \end{bmatrix}$$

$$V_1'V_2 = 3 + 0 + 1 - 4 = 0$$

$$\therefore V_1 \text{ y } V_2 \text{ son ortogonales}$$

Inversión

La división no existe en álgebra de matrices. Sin embargo, el equivalente a división es llamado inversión. La inversa de una matriz A , designado por A^{-1} , es una matriz tal que al ser multiplicada por la matriz A da una matriz de identidad I ; o sea que $A^{-1}A = AA^{-1} = I$. Los elementos de A^{-1} pueden ser obtenidos por medio de programas computarizados. Por lo tanto existe poca razón de conocer cómo exactamente se calcula una inversa; sin embargo, es importante saber qué es una inversa y cuál es su importancia dentro del álgebra matricial en la solución de ecuaciones

simultáneas con diferentes incógnitas descritas por un modelo lineal en forma matricial. Asuma que $A b = Y$, donde A es la matriz de valores, b el vector de coeficientes y Y el vector de respuesta. La solución de este sistema es $b = A^{-1}Y$. Si A es singular el sistema no tiene solución ya que A no tiene inversa. Para obtener una solución se usa una inversa generalizada que se describe como A^{-1} . Sólo una matriz cuadrada no singular (que el determinante de matriz no sea cero) es posible de inversión.

El *determinante* de una matriz es un escalar computado a partir de los elementos de la matriz. El determinante de una matriz 2×2 es:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix}$$

Se computa $(a_{11} \times a_{22}) - (a_{21} \times a_{12})$.

$$\text{si } A = \begin{bmatrix} 1 & 6 \\ -2 & 10 \end{bmatrix}$$

El determinante de A , se designa por $|A|$ y es igual a $(1)(10) - (6)(-2) = 22$.

Las determinantes de matrices más grandes son complicadas y generalmente se requiere del uso de computadoras. El determinante de una matriz se usa para indicar si la matriz es o no singular. Si el determinante de una matriz es cero, la matriz es singular (no es de rango completo). Si no es así, se dice que la matriz es no-singular y tiene inversa.

Para que una matriz tenga un inverso único, la matriz debe ser cuadrada y no-singular. Así que, un inverso único existe sí, y solo sí, su determinante no es cero. El inverso de una matriz $A_{2 \times 2}$ se computa de la siguiente manera:

$$\text{Sea } A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix}$$

$$A^{-1} = \frac{1}{|A|} \begin{bmatrix} a_{22} & -a_{12} \\ -a_{21} & a_{11} \end{bmatrix}$$

Nótese el rearreglo de los elementos y el uso del determinante de A como el escalar. Por ejemplo:

$$A = \text{determinante es } (4 \times 2) - (1 \times 3) = 5 \begin{bmatrix} 4 & 3 \\ 1 & 2 \end{bmatrix}; \text{ el}$$

$$A^{-1} = \frac{1}{|5|} \begin{bmatrix} 2 & -3 \\ -1 & 4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2/5 & -3/5 \\ -1/5 & 4/5 \end{bmatrix}$$

La matriz inversa obtenida de A se verifica, multiplicando $A \times A^{-1}$ para obtener una matriz de identidad (I):

$$\begin{bmatrix} 4 & 3 \\ 1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 2/5 & -3/5 \\ -1/5 & 4/5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Cuando una matriz no tiene inversa se busca una matriz generalizada A^+ . Esta se calcula considerando el rango de la matriz. Detalle completo de inversión y la obtención de una matriz generalizada no son explicadas en este manual. Para una mayor información se recomienda libros específicos sobre álgebra matricial.

ANEXO 2

PROCEDIMIENTO SIMPLIFICADO PARA CALCULAR LOS COSTOS E INGRESOS EN UN SISTEMA DE PRODUCCION DE LECHE

A continuación se presenta un procedimiento para el cálculo de los costos de producción de un sistema lechero. El mismo puede ser modificado para calcular los costos de producción agrícola.

Consideraciones básicas

Todo sistema de producción de leche constituye una inversión que requiere un conocimiento técnico y una mentalidad administrativa con orientación al mercado. Se estima que los costos de producción en una empresa lechera corresponden aproximadamente a:

Rubro	Por ciento
Reemplazo de vacas	3.3
Cargo de intereses por vacas	7.2
Alimentación	52.4
Materiales y servicios	4.4
Mano de obra	20.3
Depreciación y reparaciones	3.5
Administración	5.4
Sanidad	3.5
Total	100

Se observa que el rubro de alimentación constituye el valor más alto y en algunos casos llega a 58%. Se estima que del valor indicado se gasta aproximadamente el 60% en forrajes y el 40% en suplementos o concentrados; aunque en algunos casos esta relación se encuentra invertida. Por lo tanto, al ser la alimentación uno de los costos más altos en el sistema, es necesario conocer técnicamente los métodos de alimentación más adecuados para el ganado lechero; así como, las prácticas de manejo para los dos componentes principales, el pasto y el animal, aspectos de vital importancia en el análisis de los ingresos y egresos de una sistema.

En forma general, en el análisis de los ingresos y egresos de un sistema, la utilidad anual está dada por la siguiente ecuación:

$$\text{Ingreso neto total}^7 = \text{Ingreso Total} - \text{Costo Total} \quad [1]$$

⁷ En algunos cálculos económicos no se considera la totalidad de costos e ingresos; tales como el costo de la tierra y su plusvalía, respectivamente. Por lo tanto el ingreso neto total es considerado como "Margen Bruto", el cual no invalida el análisis de costos y beneficios, pero debe ser señalado su terminología y uso.

Al considerar la ecuación planteada se presentan tres alternativas de aumentar el ingreso neto total (utilidad):

- a) Con los mismos costos totales y precio de venta del producto hacer un uso racional de la tecnología y de los recursos disponibles para aumentar el volumen de producción; lo cual significa un aumento del ingreso y por consiguiente de la utilidad.
- b) Con el mismo ingreso constante (productividad constante), bajar los costos totales mediante el uso racional de los recursos disponibles.
- c) Con la misma producción y costos totales, aumentar el precio de venta del producto. Con esta alternativa también es posible obtener un aumento del ingreso y de las utilidades; sin embargo en la práctica no es la más viable, debido a que en la mayoría de las zonas el precio de la leche puede regirse por disposiciones gubernamentales o con base al precio internacional en forma competitiva en el mercado de libre demanda y oferta. Por lo tanto, las formas anteriores deben ser consideradas a fin de obtener un mayor ingreso. Un análisis semejante se podrá hacer con la ecuación [2]:

$$\text{Costo de producción por unidad de leche producida} = \frac{\text{Costo total} - \text{Valor de venta de vacas y terneras}}{\text{Producción total de leche al año}} \quad [2]$$

En todo análisis se debe considerar la inversión y los costos de producción. Los cuales en un sistema de producción de leche deben estar de acuerdo con la disponibilidad de recursos. Para el cálculo de los índices de eficiencia económica, en forma reducida, se considera lo siguiente:

Inversión

Tierra.
Establecimiento de potreros.
Cercas.
Bebederos, saladeros y comedores.
Semovientes.
Sala de ordeño.
Equipo de ordeño y campo.
Equipo de inseminación.

Costos fijos anuales

Administración.
Costo de oportunidad de la tierra (alquiler).
Depreciación de todos los equipos sin considerar los animales, más el interés anual sobre toda la inversión (esta figura se usa cuando el productor invierte su propio dinero). En caso de préstamo bancario para inversión, se considera el pago de amortización anual más el interés correspondiente; y en algunos casos el valor de depreciación también. Aspectos que aumenta los costos; sin embargo, la depreciación es un valor relativo de uso en forma contable, que en la práctica tiende a

utilizarse pero no cumple el objetivo verdadero del concepto de depreciación. Es de considerar que en algunos casos, el préstamo puede ser cuantioso, de tal manera que una amortización a corto plazo incide sobre el ingreso neto, obligando a los productores a readecuar su deuda hacia rubros similares de una depreciación real.

Costos variables anuales

Mano de obra.
Fertilizantes.
Alimentación (subproductos, sales, concentrados).
Electricidad.
Inseminación artificial (nitrógeno, pajillas, semen).
Materiales de campo (sogas, baldes, palas, carretillas, etc.).
Medicinas; costos veterinarios.
Otros costos.

Ingreso total anual

Ventas de leche; queso.
Ventas de vacas de desecho y terneros.
Venta de estiércol.
Otras ventas.

Precio unitario de venta en el mercado

Se considera el valor unitario de venta del producto en el mercado.

Indices de eficiencia económica

El cálculo de estos índices permite conocer y plantear alternativas para el mejor uso de los recursos disponibles en la finca:

Costo total anual = Costos fijos + Costos variables

Ingreso neto total = Ingreso total – Costo total + Administración

$$\text{Retorno a la inversión} = \frac{\text{Ingreso total} - \text{Costo total} + \text{Intereses de inversión}}{\text{Inversión total}} \times 100$$

$$\text{Costos de producción por unidad de leche producida} = \frac{\text{Costo total} - \text{Venta de vacas y terneros}}{\text{Producción total de leche al año}}$$

$$\text{Ganancia o pérdida por unidad de leche producida} = \text{Precio unitario de venta en el mercado} - \text{Costo de producción por unidad de leche producida}$$

A continuación se describe un procedimiento simplificado para estimar los costos e ingresos de un sistema de producción de leche⁸.

Estimación de los costos de producción por año

Para estimar los costos de producción por unidad de leche producida se considera los siguientes rubros:

1. Costo de alimentación	(CA)
2. Costo de mano de obra y de administración	(CM) y (CAd)
3. Costo de medicinas y atención veterinaria	(CV)
4. Costo de reproducción	(CR)
5. Depreciación de las vacas	(DV)
6. Interés promedio de vacas	(IP)
7. Costo de mortalidad	(MV)
8. Interés promedio del capital circulante	(IC)
9. Costo de instalaciones y mantenimiento	(CI)

1. Costo de alimentación

El nivel de producción de una vaca se relaciona con la alimentación que se le proporciona y se basa fundamentalmente en forrajes (Cf) y suplementos (Cs).

$$CA = Cf + Cs \quad [3]$$

En sistemas estabulados, el costo total de forrajes puede ser calculado por:

$$Cf (\text{día}) = \text{No. de kilos por día} \times \text{costo por kilogramo}$$

$$Cf (\text{año}) = Cf (\text{día}) \times 365 \text{ días} \quad [4a]$$

En sistemas al pastoreo, el costo de forrajes puede ser calculado a partir del costo de instalación de los potreros (Cip), la vida útil de las pasturas (Vip) y el mantenimiento anual de pasturas (mp).

$$Cf (\text{año}) = (Cip / Vip) + mp \quad [4b]$$

⁸ Puede ser realizado por Unidad Bovina Adulta (UBA), previa conversión de la estructura del hato o unidades bovinas (Capítulo VII).

Para el cálculo del costo de suplementos se debe tener en cuenta:

- Que el uso de suplementos es proporcional al nivel de producción por vaca.año⁻¹, por lo que se espera que a mayor nivel de producción mayor suplemento.
- Que existe una relación entre el uso de suplemento y la producción de leche, para lo cual se debe estimar la relación que existe entre kilos de suplemento (S) y producción de leche (l). Esta relación es calculada a partir de la diferencia de los nutrimentos aportados por el pasto y los requerimientos totales de mantenimiento y producción.

Al tener la razón S/l, se puede estimar el costo de suplemento por año.

$$C_s = \frac{\text{Producción total de leche al año (kg)}}{\text{kg leche}} \times \frac{\text{kg suplemento}}{\text{kg leche}} \times \text{Precio kg suplemento} \quad [5]$$

Posteriormente, previo los cálculos anteriores se reemplazan los valores en la ecuación [3]:

$$CA = C_f + C_s$$

2. Costo de mano de obra (CM) y de Administración (CA_d)

Cuando se registra el número de jornales remunerados y utilizados es posible de calcularla por:

$$CM = \text{No. de jornales al año} \times \text{valor de jornal diario} \quad [6a]$$

Para el costo de administración se debe asumir el valor del trabajo del productor y de la familia si esta interviene; aunque en la mayoría de los casos este valor no es remunerado tácitamente, pero sí representa un costo que debe ser contabilizado. [6b]

3. Costo de medicinas y atención veterinaria (CV)

En este costo se incluye todas las medicinas y servicios de atención veterinaria que recibe el hato durante el año. Se calcula por:

Nº Vacunas x precio unitario	= subtotal ₁
Nº Dosificaciones x precio unitari	= subtotal ₂
Nº Antibióticos x precio unitario	= subtotal ₃
Medicinas x precio unitario	= subtotal ₄
Otros productos x precio unitario	= subtotal _n
Total costo medicinas	∑ subtotales

En caso de no conocer el valor exacto de los servicios de medicina veterinaria, éstos pueden ser estimados en un 60-80% del valor total de las medicinas.

$$CV = \text{Costo medicinas} + \text{Costo servicio veterinario} \quad [7]$$

4. Costo de reproducción (CR)

La reproducción se realiza en forma de inseminación artificial o por monta directa. En el caso de monta directa puede ser con toros alquilados o con toros propios; en el caso de toros alquilados, se considera el alquiler más la alimentación del toro y medicinas. En el caso de toro propio se debe considerar sus propios costos anuales.

En la inseminación artificial (IA) se debe tener en cuenta el costo del semen, transporte, conservación y el servicio operacional. Se debe calcular:

$$\text{Costo de inseminación} = \text{No. de inseminaciones realizadas en el año} \times \text{Valor unitario de cada inseminación} + \text{Costo de material de la I.A.} \quad [8]$$

5. Depreciación de las vacas/año (DV)

La depreciación de las vacas es un costo fijo a corto plazo. Por lo tanto lo que corresponde hacer es una distribución del valor inicial (invertido en la compra) a través de los años productivos de la vaca. En caso de animales nacidos en la finca se utiliza el valor de vaquilla al primer parto. El valor de DV se calcula por el método de depreciación lineal.

$$DV = \frac{\text{Valor inicial de la vaca} - \text{Valor residual de la vaca}}{\text{Años de vida productiva de las vacas}} \times \text{No. de vacas} \quad [9]$$

En la mayoría de los establos las vacas son compradas inicialmente mediante un préstamo bancario; esta depreciación, puede ser estimada para el pago del préstamo (amortización).

6. Interés promedio de vacas (IP)

Es un costo fijo que corresponde al valor que se tiene que pagar en caso de usar un capital de compra para las vacas. En el caso de un préstamo, se pagará un interés (tasa de interés anual en el mercado) por las vacas compradas con dicho préstamo.

$$IP = \text{Valor de vacas} \times \text{interés} \quad [10a]$$

El interés promedio por vacas puede variar si el interés del préstamo es al rebatir. Otra manera de calcular el interés promedio por vaca es:

$$IP = \frac{VI - VR}{2} \times i \times \text{No. de vacas} \quad [10b]$$

7. Costo de mortalidad promedio (MV)

En un sistema existe una tasa de mortalidad calculada por el número de animales muertos al año; el valor de ellos debe de ser cargado a las demás vacas. Se puede calcular de dos formas:

$$MV = \frac{VI - VR}{2} \times \text{Tasa mortalidad} \times \text{No. de vacas muertas} \quad [11a]$$

Esta fórmula estima un costo de previsión, pero no el costo real, el cual sería dado por:

$$MV = \text{Valor real de vacas muertas} \quad [11b]$$

8. Costo de interés del capital circulante (IC)

Todo productor mantiene en un almacén o depósito una cantidad de alimentos, medicinas, etc., para el abastecimiento en el año. En ellos se tiene dinero invertido, por lo que la inversión requiere de un interés, debido a que existe dinero circulante y debe de ser pagado por la producción.

$$IC = (Vif + Vis + Vim + \dots + Vio) \times r \quad [12]$$

Donde:

- Vif = Valor inventario forrajes
- Vis = Valor inventario suplementos
- Vim = Valor inventario medicinas
- Vio = Valor inventario otros
- r = Tasa de interés

El valor de inventario de cada uno de los rubros mencionados es igual a una parte proporcional del consumo anual de cada uno de ellos por su respectivo precio. Así, si se desea mantener 1/3 del suplemento, el valor del inventario será:

$$Vis = \text{Consumo anual del suplemento} \times 1/3 \times \text{Precio unitario} \quad [13]$$

En los hatos en pastoreo se considera como el valor del inventario de forrajes (Vif), el inventario de mantenimiento (fertilizantes, herbicidas, etc.).

9. Costo de instalaciones y equipos (CI)

Se refiere a los gastos que se tiene que pagar por las instalaciones que tiene el sistema, para lo cual se considera: la depreciación, el interés y el mantenimiento de las instalaciones y equipo. Se estima por el cálculo de:

- La depreciación de las instalaciones y del equipo (de); se distribuye la inversión de base entre los posibles años de vida.
- El interés promedio de las instalaciones y equipo (ie); es el uso alternativo del capital invertido, por el interés del mercado.
- El gasto del mantenimiento del establo (me). Se puede estimar por el cálculo de porcentaje del total de la inversión o por la asignación del valor real del mantenimiento anual de las instalaciones y equipo.

$$CI = de + ie + me \quad [14]$$

Con los valores calculados en cada rubro se procede al cálculo del costo total del año:

$$CT = CA + CM + CV + CR + DV + IP + MV + IC + CI \quad [15]$$

Estimación de los ingresos anuales (IA)

El ingreso anual del sistema de producción por año, proviene de:

$$IA = ip + it + ie + iv \quad [16]$$

Donde:

- ip = ingreso por producción de leche
- it = ingreso debido a las crías o terneros
- ie = ingreso por producción de estiércol
- iv = ingreso por venta de vacas o vaquillas

Ingreso por producción (ip)

$ip = (\text{kg leche producidos} - \text{kg leche usado en terneros}) \times \text{precio unidad de producto vendido}$

Ingreso por cría (it)

El ingreso atribuido a la cría (it) es una ganancia que se espera obtener cada año productivo de las vacas. Debido a que la probabilidad de ser macho o hembra es 0.50 se toma un promedio del valor de ambos:

$$it = \frac{\text{Valor de ternero} + \text{Valor de ternera}}{2} \times \text{Tasa de fertilidad} \times \text{No. de vacas}$$

La tasa de fertilidad de las vacas está en función de las prácticas de manejo del sistema (pasto-animal), de la raza, de la edad, etc. El valor del ternero es un estimado de venta al nacer o en el futuro como reproductor o para carne. El valor de la ternera es como base del nivel esperado de producción, que está en función de la calidad genética productiva de la madre y del padre.

Ingreso por estiércol (ie)

El ingreso por estiércol (ie), es sólo en sistemas donde se puede colectar el estiércol producido; en caso de sistemas al pastoreo, puede hacerse un estimado de la mejora en materia orgánica de los terrenos, debido a las heces, más lo que se recoja de un estercolero, si es que existiera.

Ingreso por venta de vacas o vaquillas (iv)

El ingreso por ventas de vacas es calculado sólo por la venta real en vacas, vaquillas y terneros.

Estimación del Ingreso Neto Total

El ingreso neto total, expresado en la ecuación [1] será positivo cuando el costo total es menor que el ingreso total. Con los valores calculados se puede obtener el costo medio por kg de leche producida:

$$\text{Costo medio (Cm)} = \frac{\text{Costo total anual (\$)}}{\text{Producción de leche anual (kg)}}$$

Para estimar el costo real por unidad de producción de leche se utiliza el procedimiento descrito al inicio o el del capítulo referente a las consideraciones bio-económicas.

El siguiente esquema ayuda a visualizar el análisis que se debe hacer en forma periódica con el objeto de tener los elementos de juicio que permita una mayor eficiencia bio-económica del sistema de producción de leche.

Egresos	Ingresos
1. Alimentación	1. Volumen producido al año
2. Mano de obra y administración	2. Crías nacidas
3. Medicinas y atención veterinaria	3. Venta de animales
4. Reproducción	4. Otras ventas
5. Depreciación de vacas	
5. Interés promedio de vacas	
6. Mortalidad promedio de vacas	
7. Interés promedio del capital circulante	
8. Depreciación instalaciones y mantenimiento	
Costos totales	Ingresos

$$\% \text{ rentabilidad} = \frac{\text{Ingresos} - \text{costos totales} + \text{intereses de inversión}}{\text{Capital invertido}} \times 100$$

ANEXO 3

EJEMPLO DE PROGRAMACION LINEAL

En este Anexo se presenta el procedimiento completo para el cálculo de la optimización del sistema de producción del Alto Guanujo, en la provincia de Bolívar, Ecuador (Rueda, 2002). Esta optimización permite la maximización de los beneficios y minimización de los costos de ese sistema en particular. Para los lectores que deseen utilizar de base este ejemplo, únicamente deben cambiar los coeficientes relacionados con cada sistema de producción e introducir la información en programas computacionales que realizan la optimización como por ejemplo, el Solver del programa Excel.

Procesos

Los componentes del sistema de producción con sus respectivas variables utilizadas para el estudio de estas comunidades son: papa, producción de leche, ovinos, cuyes, porcinos, haba, cebada, melloco, oca y cebolla de rama.

Variables utilizadas para el cultivo de papa

- X_1 = hectáreas de papa
- X_2 = consumo de papa en kg
- X_3 = semilla de papa en kg
- X_4 = fertilización para papa en kg
- X_5 = fungicidas aplicados para papa en kg
- X_6 = insecticidas aplicados para papa en kg
- X_7 = fertilización foliar para papa en kg
- X_8 = preparación del suelo para papa en horas
- X_9 = mano de obra familiar para papa

Variables utilizadas para la producción de leche

- X_{10} = número de vacas en producción
- X_{11} = consumo de leche en kg
- X_{12} = venta de leche en kg
- X_{13} = nacimientos de terneros
- X_{14} = número de terneros que quedan
- X_{15} = venta de terneros
- X_{16} = venta de vacas por descarte
- X_{17} = semilla de pastos en kg
- X_{18} = preparación del suelo para pastos en horas
- X_{19} = fertilización para pastos en kg
- X_{20} = sal mineral para animales en kg
- X_{21} = alimento suplementario para animales en kg

- X_{22} = tratamientos sanitarios para animales
 X_{23} = mano de obra familiar para producción de leche

Variables utilizadas para la producción de ovinos

- X_{24} = número de ovinos
 X_{25} = consumo de carne de ovino en kg
 X_{26} = venta de carne de ovino en kg
 X_{27} = consumo de lana en kg
 X_{28} = venta de lana en kg
 X_{29} = alimento para ovinos en kg
 X_{30} = mano de obra familiar para producir ovinos

Variables utilizadas para la producción de cuyes

- X_{31} = número de cuyes
 X_{32} = consumo de carne de cuy en kg
 X_{33} = venta de carne de cuy en kg
 X_{34} = alimento para cuyes en kg
 X_{35} = mano de obra familiar para producir cuyes

Variables utilizadas para la producción de porcinos

- X_{36} = número de porcinos
 X_{37} = consumo de carne de porcino en kg
 X_{38} = venta de carne de porcino en kg
 X_{39} = alimento para porcino en kg
 X_{40} = mano de obra familiar para producir porcinos

Variables utilizadas para el cultivo de haba

- X_{41} = hectáreas del cultivo de haba
 X_{42} = consumo de haba en kg
 X_{43} = semilla de haba en kg
 X_{44} = fertilización para haba en kg
 X_{45} = insecticidas aplicados para haba en kg
 X_{46} = fungicidas aplicados para haba en kg
 X_{47} = preparación del suelo para haba en horas
 X_{48} = mano de obra familiar para haba

Variables utilizadas para el cultivo de oca

- X_{49} = hectáreas del cultivo de oca
 X_{50} = consumo de oca en kg
 X_{51} = semilla de oca en kg

- X_{52} = fertilización para oca en kg
- X_{53} = fungicidas aplicados para oca en kg
- X_{54} = insecticidas aplicados para oca en kg
- X_{55} = preparación del suelo para oca en horas
- X_{56} = mano de obra familiar para oca

Variables utilizadas para el cultivo de melloco

- X_{57} = hectáreas del cultivo de melloco
- X_{58} = consumo de melloco en kg
- X_{59} = semilla de melloco en kg
- X_{60} = fertilización para melloco en kg
- X_{61} = fungicidas aplicados para melloco en kg
- X_{62} = insecticidas aplicados para melloco en kg
- X_{63} = preparación del suelo para melloco en horas
- X_{64} = mano de obra familiar para melloco

Variables utilizadas para el cultivo de cebada

- X_{65} = hectáreas del cultivo de cebada
- X_{66} = consumo de cebada en kg
- X_{67} = semilla de cebada en kg
- X_{68} = fertilización para cebada en kg
- X_{69} = fungicidas aplicados para cebada en kg
- X_{70} = insecticidas aplicados para cebada en kg
- X_{71} = preparación del suelo para cebada en horas
- X_{72} = mano de obra familiar para cebada

Variables utilizadas para el cultivo de cebolla de rama

- X_{73} = hectáreas del cultivo de cebolla de rama
- X_{74} = consumo de cebolla de rama en kg
- X_{75} = semilla de cebolla de rama en kg
- X_{76} = fertilización para cebolla de rama en kg
- X_{77} = fungicidas aplicados para cebolla de rama en kg
- X_{78} = insecticidas aplicados para cebolla de rama en kg
- X_{79} = preparación del suelo para cebolla de rama en horas
- X_{80} = mano de obra familiar para cebolla de rama

La función lineal objetivo

La función a maximizar son los beneficios totales en consideración a 80 procesos de diez alternativas de producción y los ingresos netos de cada alternativa. La función económica, es la siguiente:

$$Z = 1,579 X_1 - 0.18 X_2 - 0.18 X_3 - 0.22 X_4 - 15 X_5 - 10 X_6 - 2 X_7 - 12 X_8 - 3 X_9 - 0.18 X_{11} + 0.18 X_{12} + 100 X_{15} + 200 X_{16} - 3 X_{17} - 12 X_{18} - 0.22 X_{19} - 0.30 X_{20} - 0.40 X_{21} - 2.50 X_{22} - 3 X_{23} - 2.20 X_{25} + 2.20 X_{26} - 0.50 X_{27} + 0.50 X_{28} - 0.02 X_{29} - 3 X_{30} - 4 X_{32} + 4 X_{33} - 0.02 X_{34} - 2 X_{35} - 2.50 X_{37} + 2.50 X_{38} - 0.10 X_{39} - 3 X_{40} + 360 X_{41} - 0.36 X_{42} - 0.36 X_{43} - 0.22 X_{44} - 15 X_{45} - 10 X_{46} - 12 X_{47} - 3 X_{48} + 420 X_{49} - 0.12 X_{50} - 0.12 X_{51} - 0.22 X_{52} - 15 X_{53} - 10 X_{54} - 12 X_{55} - 3 X_{56} + 480 X_{57} - 0.15 X_{58} - 0.15 X_{59} - 0.22 X_{60} - 15 X_{61} - 10 X_{62} - 12 X_{63} - 3 X_{64} + 126 X_{65} - 0.14 X_{66} - 0.14 X_{67} - 0.22 X_{68} - 15 X_{69} - 10 X_{70} - 12 X_{71} - 3 X_{72} + 900 X_{73} - 0.18 X_{74} - 0.18 X_{75} - 0.22 X_{76} - 15 X_{77} - 10 X_{78} - 12 X_{79} - 3 X_{80}$$

Coefficientes

Variables utilizadas para el cultivo de papa

- 1,579 X_1 = La producción por hectárea de 8,770 kg por el precio del kg de papa que es \$ 0.18
 0.18 X_2 = Precio del kg de papa para el consumo es \$ 0.18
 0.18 X_3 = Precio del kg de papa para la semilla es \$ 0.18
 0.22 X_4 = Precio del kg de fertilizante para papa es \$ 0.22
 15 X_5 = Precio del kg de fungicida para papa es \$ 15
 10 X_6 = Precio del kg de insecticida para papa es \$ 10
 2 X_7 = Precio del kg de fertilizante foliar para papa es \$ 2
 12 X_8 = Precio de la hora de labranza para papa es \$ 12
 3 X_9 = Precio del jornal para papa es \$ 3

Variables utilizadas para la producción de leche

- 0.18 X_{11} = Precio del kg de leche para el autoconsumo es \$ 0.18
 0.18 X_{12} = Precio del kg de leche para la venta es \$ 0.18
 100 X_{15} = Precio de la venta de un ternero es \$ 100
 200 X_{16} = Precio de la venta de una vaca de descarte es \$ 200
 3 X_{17} = Precio del kg de semilla de pasto es \$ 3
 12 X_{18} = Precio de la hora de labranza para pasto es \$ 12
 0.22 X_{19} = Precio del kg de fertilizante para pasto es \$ 0.22
 0.30 X_{20} = Precio del kg de sal mineral es \$ 0.30
 0.40 X_{21} = Precio del kg de alimento suplementario es \$ 0.40
 2.50 X_{22} = Precio del tratamiento sanitario \$ 2.5
 3 X_{23} = Precio del jornal para producción de leche es \$ 3

Variables utilizadas para la producción de ovinos

- 2.20 X_{25} = Precio del kg de ovino para el autoconsumo es \$ 2.2
 2.20 X_{26} = Precio del kg de ovino para la venta es \$ 2.2
 0.50 X_{27} = Precio del kg de lana para utilizarlo en la familia es \$ 0.5
 0.50 X_{28} = Precio del kg de lana para la venta es \$ 0.5
 0.01 X_{29} = Precio del kg de alimento para ovinos es \$ 0.01
 3 X_{30} = Precio del jornal para producción de ovinos es \$ 3

Variables utilizadas para la producción de cuyes

- 4 X₃₂ = Precio del kg de cuy para el autoconsumo es \$ 4
- 4 X₃₃ = Precio del kg de cuy para la venta es \$ 4
- 0.01 X₃₄ = Precio del kg de alimento para cuyes es \$ 0.01
- 3 X₃₅ = Precio del jornal para producción de cuyes es \$ 3

Variables utilizadas para la producción de porcinos

- 2.50 X₃₇ = Precio del kg de porcinos para el autoconsumo es \$ 2.5
- 2.50 X₃₈ = Precio del kg de porcinos para la venta es \$ 2.5
- 0.10 X₃₉ = Precio del kg de alimento para porcinos es \$ 0.10
- 3 X₄₀ = Precio del jornal para producción de porcinos es \$ 3

Variables utilizadas para el cultivo de haba

- 360 X₄₁ = La producción por hectárea de 1,000 kg por el precio del kg de haba que es \$ 0.36
- 0.36 X₄₂ = Precio del kg de haba para el consumo es \$ 0.36
- 0.36 X₄₃ = Precio del kg de haba para semilla es \$ 0.36
- 0.22 X₄₄ = Precio del kg de fertilizante para haba es \$ 0.22
- 15 X₄₅ = Precio del kg de fungicida para haba es \$ 15
- 10 X₄₆ = Precio del kg del insecticida para haba es \$ 10
- 12 X₄₇ = Precio de la hora de labranza es \$ 12
- 3 X₄₈ = Precio del jornal para haba es \$ 3

Variables utilizadas para el cultivo de oca

- 420 X₄₉ = La producción por hectárea de 3,500 kg por el precio del kg de oca que es \$ 0.12
- 0.12 X₅₀ = Precio del kg de oca para el consumo es \$ 0.12
- 0.12 X₅₁ = Precio del kg de oca para la venta es \$ 0.12
- 0.22 X₅₂ = Precio del kg de fertilizante para oca es \$ 0.22
- 15 X₅₃ = Precio del kg de fungicida para oca es \$ 15
- 10 X₅₄ = Precio del kg del insecticida para oca es \$ 10
- 12 X₅₅ = Precio de la hora de labranza es \$ 12
- 3 X₅₆ = Precio del jornal para oca es \$ 3

Variables utilizadas para el cultivo de melloco

- 480 X₅₇ = La producción por hectárea de 3,200 kg por el precio del kg de melloco \$ 0.15
- 0.15 X₅₈ = Precio del kg de melloco para el consumo es \$ 0.15
- 0.15 X₅₉ = Precio del kg de melloco para la venta es \$ 0.15
- 0.22 X₆₀ = Precio del kg de fertilizante para melloco es \$ 0.22
- 15 X₆₁ = Precio del kg de fungicida para melloco es \$ 15
- 10 X₆₂ = Precio del kg del insecticida para melloco es \$ 10
- 12 X₆₃ = Precio de la hora de labranza es \$ 12

$3 X_{64} =$ Precio del jornal para melloco es \$ 3

Variables utilizadas para el cultivo de cebada

$126 X_{65} =$ La producción por hectárea de 900 kg por el precio del kg de cebada \$ 0.14
 $0.14 X_{66} =$ Precio del kg de cebada para consumo es \$ 0.14
 $0.14 X_{67} =$ Precio del kg de cebada para la venta es \$ 0.14
 $0.22 X_{68} =$ Precio del kg de fertilizante para cebada es \$ 0.22
 $15 X_{69} =$ Precio del kg de fungicida para cebada es \$ 15
 $10 X_{70} =$ Precio del kg del insecticida para cebada es \$ 10
 $12 X_{71} =$ Precio de la hora de labranza es \$ 12
 $3 X_{72} =$ Precio del jornal para cebada es \$ 3

Variables utilizadas para el cultivo de cebolla de rama

$900 X_{73} =$ La producción por hectárea de 5,000 kg por el precio del kg de cebolla de rama \$ 0.18
 $0.18 X_{74} =$ Precio del kg de cebolla de rama para consumo es \$ 0.18
 $0.18 X_{75} =$ Precio del kg de cebolla de rama para la venta es \$ 0.18
 $0.22 X_{76} =$ Precio del kg de fertilizante para cebolla de rama es \$ 0.22
 $15 X_{77} =$ Precio del kg de fungicida para cebolla de rama es \$ 15
 $10 X_{78} =$ Precio del kg del insecticida para cebolla de rama es \$ 10
 $12 X_{79} =$ Precio de la hora de labranza es \$ 12
 $3 X_{80} =$ Precio del jornal para cebolla de rama es \$ 3

Restricciones

Para el cultivo de papa

$$X_1 \leq 0.7$$

Las hectáreas del cultivo de papa deben ser menores o iguales a 0.7 ha, debido a que es un cultivo de subsistencia familiar.

$$8,770 X_1 \geq 548$$

La producción del cultivo de papa de $8,770 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ debe ser mayor o igual a 548 kg, que es la cantidad para autoconsumo, la familia está formada por seis miembros, una persona consume 0.25 kg al día

$$X_2 \geq 548$$

Los kg de papa para autoconsumo de la familia de seis miembros deben ser mayores o iguales a 548 kg por año, una persona consume 0.25 kg al día.

$$X_3 - 1,136 X_1 \geq 0$$

Los kg de semilla de cultivo de papa deben ser mayores o iguales a 1,136 por ha, que representa 25 qq de semilla por hectárea.

$$X_4 - 328 X_1 \geq 0$$

Los kg de fertilizante para el cultivo de papa deben ser mayores o iguales a 328 por ha, ya que se emplea 8 sacos del fertilizante 10-30-10 en la siembra y 4 sacos del fertilizante 18-46-00 en el aporque, por hectárea.

$$X_5 - 7 X_1 \geq 0$$

Los kg de fungicidas para el cultivo de papa deben ser mayores o iguales a 7 por ha en cuatro aplicaciones; la primera aplicación al 80% de emergencia de las plantas y las siguientes pasando 15 o 21 días dependiendo de la incidencia de las enfermedades (1.75 kg.ha⁻¹ por aplicación).

$$X_6 - 3 X_1 \geq 0$$

Los kg de insecticidas para el cultivo de papa deben ser mayores o iguales a 3 por ha en cuatro aplicaciones, que las hacen en conjunto con los fungicidas y fertilizante foliar (0.75 kg.ha⁻¹ por aplicación).

$$X_7 - 4 X_1 \geq 0$$

Los kg de fertilizante foliar para el cultivo de papa deben ser mayores o iguales a 4 por ha en cuatro aplicaciones, que las hacen en conjunto con los fungicidas e insecticidas (1 kg.ha⁻¹ por aplicación).

$$X_8 - 8 X_1 \geq 0$$

Las horas de tractor para labores de labranza en el cultivo de papa deben ser mayores o iguales a 8 horas.ha⁻¹. En el arado utilizan 4 horas.ha⁻¹ y para la rastra 4 horas.ha⁻¹.

$$X_9 - 135 X_1 \geq 0$$

La mano de obra familiar para el cultivo de papa debe ser mayor o igual a 135 jornales por ha. Para la siembra 30 jornales, para el aporque 25 jornales, para la deshierba 25 jornales, para los controles fitosanitarios 15 jornales y para la cosecha 40 jornales.

Para la producción de leche

$$X_{10} \leq 4$$

El número de vacas en producción debe ser menor o igual a 4, debido a que se toma en consideración 2.86 ha para producción de leche con una carga animal de 1.4 UBA.ha⁻¹ (2.86 ha * 1.4 UBA.ha⁻¹ = 4 UBA).

$$X_{11} \geq 730$$

El consumo de leche por familia debe ser mayor o igual a 730 kg por año; la familia está formada por seis miembros, cada miembro de la familia consume 0.33 kg de leche al día.

$$X_{11} + X_{12} - 2,190 X_{10} \leq 0$$

El consumo de leche por familia más la venta de la leche deben ser menores o iguales a 2,190 kg que produce una UBA en producción por año; una UBA al día produce 6 kg.

$$X_{13} - 0.7 X_{10} \leq 0$$

Los nacimientos de terneros deben ser menores o iguales al 70% de natalidad de las vacas.

$$X_{14} - 0.5 X_{13} \geq 0$$

El número de terneros que quedan con el productor deben ser mayores o iguales al 50% de los animales que nacen.

$$X_{15} - 0.5 X_{13} \leq 0$$

El número de terneros que se vende debe ser menor o igual al 50% de los animales que nacen.

$$X_{16} - 0.1 X_{10} \leq 0$$

El número de vacas que se vende como desecho debe ser menor o igual al 10% del número de vacas.

$$X_{17} \geq 40$$

Los $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de semilla que se utilizan para la siembra del pasto deben ser mayores o iguales a 40 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$.

$$X_{18} \geq 4$$

Las horas de tractor $\cdot \text{ha}^{-1}$ que se utilizan para la siembra del pasto deben ser mayores o iguales a 4 $\text{horas} \cdot \text{ha}^{-1}$, porque aprovechan la cosecha del cultivo de papa en donde se trabaja adecuadamente el suelo.

$$X_{19} \geq 0$$

No realizan fertilización en los pastos; debido a que se aprovechan los residuos de los fertilizantes del cultivo de papa.

$$X_{20} - 18 X_{10} - 9 X_{14} \geq 0$$

Los kg de sal mineral utilizada para vacas y terneros deben ser mayores o iguales a 18 kg ($0.05 \text{ kg} \cdot \text{vaca}^{-1} * 365 \text{ días}$) que es el consumo de las vacas, más 9 kg ($0.025 \text{ kg} \cdot \text{ternero}^{-1} * 365 \text{ días}$) que es el consumo de los terneros que quedan con el productor.

$$X_{21} - 50 X_{10} \geq 0$$

Los kg de alimento suplementario utilizado para vacas deben ser mayores o iguales a 50 kg ($0.42 \text{ kg} \cdot \text{vaca}^{-1} * 120 \text{ días}$ que es la época seca).

$$X_{22} - 2 X_{10} - X_{14} \geq 0$$

Los tratamientos sanitarios para vacas y terneros deben ser mayores o iguales a 2 $\text{tratamientos} \cdot \text{vaca}^{-1}$ más un $\text{tratamiento} \cdot \text{ternero}^{-1}$ que queda con el productor.

$$X_{23} - 30 X_{10} \geq 0$$

La mano de obra familiar para la producción de leche debe ser mayor o igual a 30 jornales por vaca. Este valor resulta de la siguiente conversión realizada: Si en una ha de potrero se mantiene una carga animal de 1.4 UBA, para traducirlo a ha, se realiza una regla de tres y se obtiene un valor igual a 0.7 ha, o sea, una UBA en 0.7 ha; entonces si se necesita 43 jornales por ha, al realizar la transformación queda $43 \text{ jornales.ha}^{-1} * 0.7 \text{ ha} = 30 \text{ jornales}$. Se utilizan 7 jornales para la siembra del pasto y 23 jornales (una persona trabajando 0.5 horas por día durante 365 días da 184 horas; si se considera que un jornal es una persona que trabaja 8 horas al día, al dividir $184/8 = 23 \text{ jornales}$) para cuidados de los animales.

Para la producción de ovinos

$$X_{24} \leq 10$$

El número de ovinos debe ser menor o igual a 10.

$$X_{25} \geq 40$$

El consumo de carne de ovino por familia, que está formada por seis miembros, debe ser mayor o igual a 40 kg.año^{-1} .

$$X_{25} + X_{26} - 50 X_{24} \leq 0$$

El consumo más la venta de carne de ovino debe ser menor o iguales a los kg producidos por año.

$$X_{26} \leq 80$$

La venta de carne de ovino debe ser menor o igual a 80 kg por año.

$$X_{27} \geq 10$$

El consumo de lana de ovino por familia por año debe ser mayor o igual a 10 kg.

$$X_{27} + X_{28} - X_{24} \leq 0$$

El consumo más la venta de lana de ovino debe ser menor o igual a 1 kg por ovino por año.

$$X_{29} - 584 X_{24} \geq 0$$

El consumo de forraje por ovino debe ser mayor o igual a 584 kg por año. Un ovino consume el 4% de su peso vivo.

$$X_{30} - 4 X_{24} \geq 0$$

La mano de obra familiar para la producción de ovinos debe ser mayor o igual a 4 jornales por año.

Para la producción de cuyes (cobayos)

$$X_{31} \leq 20$$

El número de cuyes que se produce debe ser menor o igual a 20 por año.

$$X_{32} \geq 6$$

El consumo de carne de cuy al año, por familia de seis miembros, debe ser mayor o igual a 6 kg.

$$X_{32} + X_{33} - 0.5 X_{31} \leq 0$$

El consumo más la venta de carne de cuy debe ser menor o igual a los kg producido por año.

$$X_{34} - 22 X_{31} \geq 0$$

El consumo de forraje por parte de los cuyes debe ser mayor o igual a 22 kg.cuy⁻¹ por año (un cuy consume el 6% de su peso vivo, entonces 0.06 kg.cuy⁻¹ * 365 días= 22 kg.cuy⁻¹).

$$X_{35} - 0.5 X_{31} \geq 0$$

La mano de obra familiar para la producción de cuyes debe ser mayor o igual a 0.5 jornales por cuy por año. Un jornal dedica 0.22 horas.día⁻¹ para el manejo de los cuyes.

Para la producción de porcinos

$$X_{36} \leq 4$$

El número de porcinos debe ser menor o igual a 4 por año.

$$X_{37} \geq 50$$

El consumo de carne de porcino por año, por familia de seis miembros, debe ser mayor o igual a 50 kg. Un porcino pesa en promedio 50 kg.

$$X_{37} + X_{38} - 50 X_{36} \leq 0$$

El consumo de carne más la venta de carne de porcino debe ser menor o igual a los kg producidos por año.

$$X_{39} - 730 X_{36} \geq 0$$

El consumo de alimento por parte de los porcinos debe ser mayor o igual a 730 kg.porcino⁻¹ por año. Un porcino consume 2 kg.día⁻¹.

$$X_{40} - 4 X_{36} \geq 0$$

La mano de obra familiar para la producción de porcinos debe ser mayor o igual a 4 jornales por porcino por año.

Para el cultivo de haba

$$X_{41} \leq 0.3$$

Las hectáreas del cultivo de haba deben ser menores o iguales a 0.3 ha.

$$1,000 X_{41} \geq 18$$

La producción del cultivo de haba 1,000 kg.ha⁻¹ debe ser mayor o igual a 18 kg, que es la cantidad para autoconsumo; la familia está formada por seis miembros, una persona consume 0.01 kg por día.

$$X_{42} \geq 18$$

Los kg para autoconsumo de haba deben ser mayores o iguales a 18 kg por año por familia.

$$X_{43} - 110 X_{41} \geq 0$$

Los kg de semilla de haba deben ser mayores o iguales a 110 kg.ha⁻¹.

$$X_{44} \geq 0$$

No realizan fertilización en el cultivo de haba, porque se siembra en parcelas en donde se ha cosechado papa.

$$X_{45} \geq 2$$

Los kg de fungicidas para el cultivo de haba deben ser mayores o iguales a 2 kg.ha⁻¹ en una aplicación.

$$X_{46} \geq 0$$

No realizan aplicación de insecticidas en el cultivo de haba.

$$X_{47} \geq 0$$

No preparan el suelo para el cultivo de haba debido a que siembran después de la cosecha del cultivo de papa aprovechando que el suelo queda libre de malezas y suelto.

$$X_{41} - 70 X_{48} \geq 0$$

La mano de obra familiar para el cultivo de haba debe ser mayor o igual a 70 jornales por ha. Para la siembra 25, para la deshierba 10, para los controles fitosanitarios 5 y para la cosecha 30 jornales.

Para la producción de oca

$$X_{49} \leq 0.12$$

Las hectáreas de cultivo de oca deben ser menores o iguales a 0.12 ha.

$$3,500 X_{49} \geq 150$$

La producción de oca 3,500 kg.ha⁻¹ debe ser mayor o igual a 150 kg, que es la cantidad para autoconsumo; la familia está formada por seis miembros, una persona consume 0.42 kg por día.

$$X_{50} \geq 150$$

Los kg de oca para autoconsumo de la familia deben ser mayores o iguales a 150 kg por año.

$$X_{51} - 550 X_{49} \geq 0$$

Los kg de semilla de oca, deben ser mayores o iguales a 550 kg.ha⁻¹.

$$X_{52} \geq 0$$

No realizan fertilización en el cultivo de oca, porque se siembra en parcelas en donde se ha cosechado papa.

$$X_{53} \geq 0$$

No realizan aplicación de fungicidas en el cultivo de oca.

$$X_{54} \geq 0$$

No realizan aplicación de insecticidas en el cultivo de oca.

$$X_{55} \geq 0$$

No preparan el suelo para el cultivo de oca, debido a que siembran después de la cosecha de papas aprovechando que el suelo queda libre de malezas y suelto.

$$X_{56} - 80 X_{49} \geq 0$$

La mano de obra familiar para el cultivo de oca debe ser mayor o igual a 80 jornales por ha. Para la siembra 30, para el aporque 20 y para la cosecha 30 jornales.

Para la producción de melloco

$$X_{57} \leq 0.15$$

Las hectáreas de cultivo de melloco deben ser menores o iguales a 0.15 ha.

$$3,200 X_{57} \geq 150$$

La producción del cultivo de melloco $3,200 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ debe ser mayor o igual a 150 kg, que es la cantidad para autoconsumo; la familia está formada por seis miembros, una persona consume 0.42 kg por día.

$$X_{58} \geq 150$$

Los kg de melloco para autoconsumo de la familia deben ser mayores o iguales a 150 kg por año.

$$X_{59} - 500 X_{57} \geq 0$$

Los kg de semilla de melloco deben ser mayores o iguales a $500 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$.

$$X_{60} \geq 0$$

No realizan fertilización en el cultivo de melloco, porque se siembra en parcelas en donde se ha cosechado papa.

$$X_{61} \geq 0$$

No realizan aplicación de fungicidas en el cultivo de melloco.

$$X_{62} \geq 0$$

No realizan aplicación de insecticidas en el cultivo de melloco.

$$X_{63} \geq 0$$

No preparan el suelo para el cultivo de melloco debido a que siembran después de la cosecha de papas aprovechando que el suelo queda libre de malezas y suelto.

$$X_{64} - 80 X_{57} \geq 0$$

La mano de obra familiar para el cultivo de melloco debe ser mayor o igual a 80 jornales por ha. Para la siembra 30, para el aporque 20 y para la cosecha 30 jornales.

Para la producción de cebada

$$X_{65} \geq 0.15$$

Las hectáreas de cultivo de cebada deben ser mayores o iguales a 0.15 ha.

$$900 X_{65} \geq 50$$

La producción de cebada $900 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ debe ser mayor o igual a 50 kg, que es la cantidad para autoconsumo; la familia está formada por seis miembros, una persona consume 0.14 kg por día.

$$X_{66} \geq 50$$

Los kg de cebada para autoconsumo de la familia deben ser mayores o iguales a 50 kg por año.

$$X_{67} - 90 X_{65} \geq 0$$

Los kg de semilla de cebada deben ser mayores o iguales a $90 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$.

$$X_{68} \geq 0$$

No realizan fertilización en el cultivo de cebada, porque se siembra en parcelas en donde se ha cosechado papa.

$$X_{69} \geq 0$$

No realizan aplicación de fungicidas en el cultivo de cebada.

$$X_{70} \geq 0$$

No realizan aplicación de insecticidas en el cultivo de cebada.

$$X_{71} \geq 0$$

No preparan el suelo para el cultivo de cebada debido a que siembran después de la cosecha de papa aprovechando que el suelo queda libre de malezas y suelto.

$$X_{72} - 40 X_{65} \geq 0$$

La mano de obra familiar para el cultivo de cebada debe ser mayor o igual a 40 jornales. Para la siembra 15, control de malezas 10 y 15 jornales para la cosecha y trilla.

Producción de cebolla de rama

$$X_{73} \leq 0.1$$

Las hectáreas de cultivo de cebolla de rama deben ser menores o iguales a 0.1 ha.

$$5,000 X_{73} \geq 50$$

La producción del cultivo de cebolla de rama $5,000 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ debe ser mayor o igual a 50 kg, que es la cantidad para autoconsumo, la familia está formada por seis miembros, una persona consume 0.02 kg por día.

$$X_{74} \geq 50$$

Los kg de cebolla de rama para autoconsumo de la familia deben ser mayores o iguales a 50.

$$X_{75} - 1,000 X_{73} \geq 0$$

Los kg de semilla de cebolla de rama deben ser mayores o iguales a 1,000 kg.ha⁻¹.

$$X_{76} \geq 0$$

No realizan fertilización en el cultivo de cebolla de rama, porque se siembra en parcelas en donde se ha cosechado papa.

$$X_{77} \geq 0$$

No realizan aplicación de fungicidas en el cultivo de cebolla de rama.

$$X_{78} \geq 0$$

No realizan aplicación de insecticidas en el cultivo de cebolla de rama.

$$X_{79} \geq 0$$

No preparan el suelo para el cultivo de cebolla de rama debido a que siembran después de la cosecha de papas aprovechando que el suelo queda libre de malezas y suelto.

$$X_{80} - 90 X_{73} \geq 0$$

La mano de obra familiar para el cultivo de cebolla de rama debe ser mayor o igual a 90 jornales por ha. Para la siembra 30, para la deshierba 20 y para la cosecha 40 jornales.

Restricciones Generales

$$X_1 + 0.7 X_{10} + 0.1 X_{24} + X_{41} + X_{49} + X_{57} + X_{65} + X_{73} \leq 7$$

Las hectáreas de papa más las hectáreas de potreros (traducidas por carga animal de vacas y ovinos) más las hectáreas de los cultivos de haba, oca, melloco, cebada y cebolla de rama deben ser menores o iguales a 7 ha.

$$X_9 + X_{23} + X_{30} + X_{35} + X_{40} + X_{48} + X_{56} + X_{64} + X_{72} + X_{80} \leq 600$$

La mano de obra en general (familiar, contratada, prestada, etc.) para el cultivo de papa, producción de leche, cultivos de haba, oca, melloco, cebada, cebolla de rama, producción de porcinos, ovinos y cuyes debe ser menor o igual a 600 jornales.

ANEXO 4

UNIDADES DE LONGITUD, SUPERFICIE, PESO, CAPACIDAD Y VOLUMEN

A continuación se describe las principales unidades de pesos y medidas utilizadas en los sistemas agropecuarios. Así mismo se presenta los factores para convertir valores de una medida a otra. Detalles mayores pueden ser encontrados en el sistema internacional de pesas y medidas.

Medidas de Longitud

1 kilómetro (km)	1,000m
1 metro (m)	100cm
1 centímetro	10mm
1 milímetro (mm)	1,000 μ
1 micrón (μ)	1,000m μ
1 milimicrón (m μ)	10A
1 Angstroem (A)	0.000001mm
1 pulgada	0.0254m o 2.54cm
1 pie	0.3048m; 2 pulgadas
1 vara	0.836m; 83.6 cm ó 32.91 pulgadas
1 yarda	0.9144m; 3 pies
1 braza	6 pies
1 cable	1,220 brazas
1 milla ("statute")	1,609m ó 1,760 yardas
1 milla (USA)	1,855.3m ó 6,080.27 pies
1 nudo	1,851.85m

Medidas de Superficie

1 kilómetro cuadrado (km ²)	1'000,000m ²
1 hectárea (ha)	10,000m ²
1 Area (a)	100m ²
1 metro cuadrado (m ²)	10,000cm ²
1 centímetro cuadrado (cm ²)	100mm ²
1 milímetro cuadrado (mm ²)	0.01cm ²
1 pulgada cuadrada	6.452cm ²
1 pie cuadrado	929.0cm ² ó 144pulgadas
1 vara cuadrada	0.698896m ²
1 yarda cuadrada	0.8361m ²
1 acre	4,046.71m ²
1 caballería	45.25 ha ó 64.75manzanas
1 manzana (Mz)	0.698 ha
1 tarea	628.9 m ² ó 0.006289ha

Medidas de Peso

1 tonelada (Tm)	1,000kg
1 quintal métrico (qq)	100kg
1 kilogramo (kg)	1,000g
1 gramo (g)	1,000mg
1 miligramo (mg)	0.001g
1 libra (lb)	460g ó 16 onzas
1 Arroba (@)	25 libras
1 onza	28.35g

Medidas de Capacidad

1 kilolitro (kl)	1,000 l ó 1m ³
1 hectolitro (hl)	100 l
1 litro (l)	10 dl ó 1,000cm ³
1 decilitro (dl)	100cm ³
1 litro	1.49 botellas
1 botella	0.670 litros
1 galón americano	3.78 litros
1 cuartillo	4.161 litros

Medidas de Volumen

1 metro cúbico (m ³)	1'000,000cm ³
1 centímetro cúbico (cm ³)	1,000cm ³
1 milímetro cúbico (mm ³)	0.001cm ³
1 pulgada cúbica	16.39cm ²
1 pie cúbico	0.02832m ³
1 yarda cúbica	0.7646m ³

Conversiones medidas de Volumen

Convertir	A	Multiplicar por
Centímetros ³	Pulgadas ³	0.0610
Metros ³	Pies ³	36.3145
Metros ³	Yardas ³	1.3079
Metros ³	Galones USA	264.178
Metros ³	Galones UK	219.976
Pulgadas ³	Centímetros ³	16.3872
Pies ³	Metros ³	0.0283
Yardas ³	Metros ³	0.7646
Galones USA	Metros ³	0.003785
Galones UK	Metros ³	0.004545

Conversiones medidas de Longitud

Convertir	A	Multiplicar por
Milímetros	Pulgadas	0.0394
Centímetros	Pulgadas	0.3937
Metros	Pies	3.2808
Metros	Yardas	1.0936
Metros	Brazas	0.5468
Kilómetros	Millas Tierra	0.6214
Kilómetros	Millas Mar USA	0.5399
Kilómetros	Millas Mar UK	0.5396
Pulgadas	Milímetros	25.401
Pulgadas	Centímetros	2.5401
Pies	Metros	0.3048
Yardas	Metros	0.9144
Brazas	Metros	1.8288
Millas Tierra	Kilómetros	1.6093

Conversiones medidas de Superficie

Convertir	A	Multiplicar por
Milímetros ²	Pulgadas ²	0.001550
Centímetros ²	Pulgadas ²	0.1550
Metros ²	Pies ²	10.7642
Metros ²	Yardas ²	1.1960
Kilómetros ²	Acres	247.105
Kilómetros ²	Millas ²	0.3861
Hectáreas	Acres	2.471
Pulgadas ²	Milímetros ²	645.160
Pulgadas ²	Centímetros ²	6.4516
Pies ²	Metros ²	0.0929
Yardas ²	Metros ²	0.8361
Acres	Kilómetros ²	0.004047
Millas ²	Kilómetros ²	2.5900
Acres	Hectáreas	0.4047

Conversiones medidas de Peso

Convertir	A	Multiplicar por
Gramos	Onzas (Av)	0.0353
Gramos	Onzas (Troy)	0.0321
Kilogramos	Libras (Av)	2.2046
Kilogramos	Libras (Troy)	2.6792
Tonelada Métrica	Libras	2,204.62
Tonelada Métrica	Tonelada USA	1.1023
Tonelada Métrica	Tonelada UK	0.9842
Onzas (Av)	Gramos	28.3495
Onzas (Troy)	Gramos	31.1035
Libras (Av)	Kilogramos	0.4536
Libras (Troy)	Kilogramos	0.3732
Libras	Tonelada Métrica	0.0004535
Tonelada USA	Tonelada Métrica	0.9072
Tonelada UK	Tonelada Métrica	1.0160

Conversiones medidas de Capacidad

Convertir	A	Multiplicar por
Litros	Pulgadas ³	61.0238
Litros	Pies ³	0.03531
Litros	Galones USA	0.2642
Litros	Galones UK	0.2200
Litros	Pintas Líquidas	2.1134
Litros	Quarter Líquidos	1.0567
Hectolitros	Galones USA	26.4178
Hectolitros	Galones UK	21.9976
Hectolitros	Bushels USA	2.8378
Hectolitros	Bushels UK	2.7497
Pulgadas ³	Litros	0.01639
Pies ³	Litros	28.3205
Galones USA	Litros	3.7850
Galones UK	Litros	4.5454
Pintas Líquidas	Litros	0.4732
Quarter Líquidos	Litros	0.9463
Galones USA	Hectolitros	0.03785
Galones UK	Hectolitros	0.04545
Bushels USA	Hectolitros	0.3524
Bushels UK	Hectolitros	0.3636

Carlos U. León-Velarde R. es Ph.D. en Genética/Sistemas agropecuarios. En su carrera profesional se desempeñó como profesor en la Universidad de Costa Rica y como especialista en producción animal, en Costa Rica y República Dominicana, con el Instituto Interamericano de Cooperación para Agricultura, IICA-OEA y del Centro Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE, Turrialba. Oficial de enlace CIID-INIA en el proyecto de Investigación de Sistemas Agropecuarios Andinos, PISA, Convenio INIA-CIID-ACDI. Coordinador del Proyecto de Desarrollo Sostenido del Altiplano, Puno, Perú, PRODASA. Líder del Proyecto de Investigación Ecoregional de Producción Animal, convenio ILRI-CIP. Actualmente especialista en análisis de sistemas agropecuarios y coordinador de proyectos relativos a sistemas de producción agropecuarios en el Departamento de Sistemas de Producción y Manejo de Recursos Naturales del Centro Internacional de la Papa, CIP.

Víctor H. Barrera M. es MSc. en Sistemas de Producción Agropecuarios. Se ha desempeñado durante toda su carrera profesional como Investigador Agropecuario del INIAP. Ha sido profesor de la cátedra de Sistemas de Producción en Postgrados de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y en la Universidad de Cuenca. Autor y coordinador de varios proyectos de investigación/desarrollo en alianzas estratégicas con instituciones nacionales e internacionales, como el Centro Internacional de la Papa, el Programa Colaborativo de Soporte a la Investigación IPMCRSP-USAID, Programa de Modernización de los Servicios Agropecuarios PROMSA, entre otros. Ganador del Premio Fabián Portilla Rocha al mejor trabajo de investigación otorgado por el INIAP en el año 2001. Actualmente es el responsable de dirigir las actividades de Validación, Transferencia de Tecnología y Capacitación de la Estación Experimental Santa Catalina del INIAP.

El contenido de este libro es de responsabilidad exclusiva de los autores y no representa necesariamente el punto de vista de las instituciones o personalidades que han colaborado en su formulación y edición.