



## Utilización de los Modelos de Simulación para Evaluación Ex-ante



Rubén Darío Estrada  
Oscar Chaparro  
Bernardo Rivera

S  
540  
.A3  
.S5  
E8

ONDESAN

COLCIENCIAS

U. de CALDAS

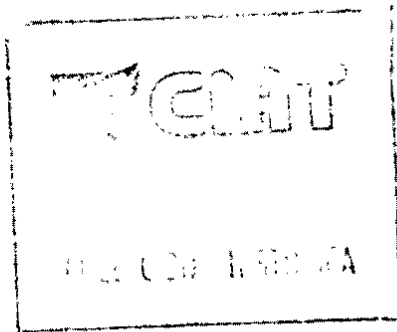
COSUDE

CIID

BID

# Instrumentos Metodológicos para la Toma de Decisiones en el Manejo de los Recursos Naturales

S  
540  
• A3  
• S5  
E8



8

## Utilización de Modelos de Simulación para Evaluación Ex-ante

94486

Ruben Darío Estrada  
Oscar Chaparro  
Bernardo Rivera

CIAT

COSUDE

CIID

BID

CODESAN

COLCIENCIAS

UNIVERSIDAD DE CALDAS

El material consignado en estas páginas puede reproducirse por cualquier medio reprográfico o visual para fines sin ánimo de lucro. El CIAT agradece a los usuarios incluir el crédito institucional respectivo en los documentos y eventos en los que se utilice.

Centro Internacional de Agricultura Tropical  
Cali, Colombia.

ISBN: 958-694-020-9  
958-694-012-8

Abril de 1999

Impreso en Cali, Colombia.

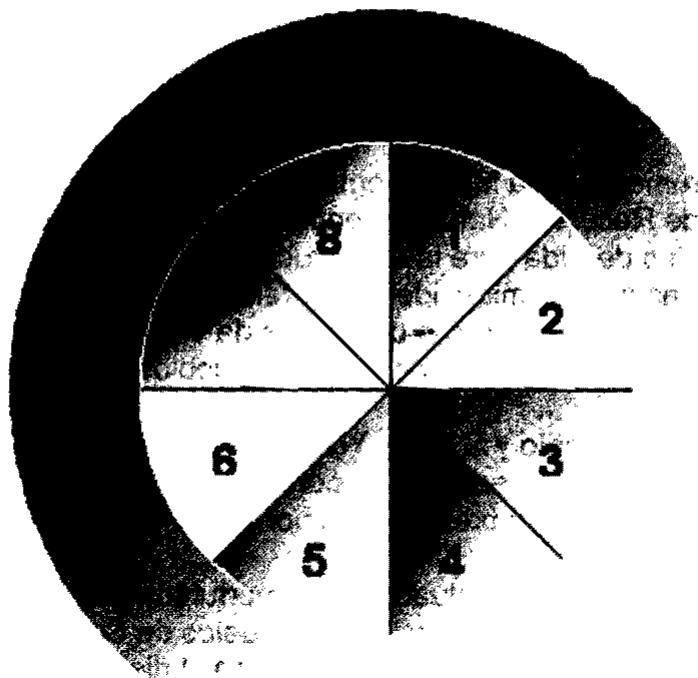
Coordinación de la Producción: Vicente Zapata S., Ed. D.

Estrada, Ruben Darío; Chaparro, Oscar; Rivera, Bernardo. 1999. Utilización de Modelos de Simulación para Evaluación Ex-ante. Guía 8. En: Instrumentos para la toma de decisiones en el manejo de los recursos naturales. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia. 208 p.

Incluye 53 originales para transparencias en papel.

1. Simulación
2. Evaluación Ex-ante
3. Modelos de Simulación
4. Modelos de programación lineal

## Instrumentos Metodológicos para la Toma de Decisiones en el Manejo de los Recursos Naturales



- 1. Método Participativo para identificar y Clasificar Indicadores Locales de Calidad del Suelo a Nivel de Microcuenca.**
- 2. Análisis Fototopográfico (AFT) de Tendencias en el Uso del Suelo en Laderas.**
- 3. Mapeo, Análisis y Monitoreo Participativo de los Recursos Naturales en una Microcuenca.**
- 4. Metodología de Análisis de Grupos de Interés para el Manejo Colectivo de Suelo a Nivel de Microcuenca.**
- 5. Identificación de Niveles de Vida para la Construcción de Perfiles Locales de Pobreza Rural.**
- 6. Atlas de Yorito y Sulaco, Yoro (Honduras).**
- 7. Identificación y Evaluación de Oportunidades de Mercado para Pequeños Productores Rurales.**
- 8. Utilización de Modelos de Simulación para Evaluación Ex-ante.**
- 9. Desarrollo de Procesos Organizativos a Nivel Local para el Manejo Colectivo de los Recursos Naturales.**

La Figura representa el conjunto de los instrumentos metodológicos de la serie. En el centro se encuentran ocho instrumentos que se pueden agrupar de la manera siguiente: en color verde, Método Participativo para Identificar y Clasificar Indicadores

**Indicadores Locales de Calidad del Suelo a Nivel de Microcuenca; Análisis de Tendencias de uso de tierra; Mapeo, Análisis y Monitoreo Participativos de los Recursos Naturales en una Microcuenca, son los instrumentos que permiten identificar, analizar y priorizar los componentes biofísicos, o sea, los recursos naturales a nivel de finca, microcuenca y subcuenca.**

**De color azul, al instrumento para Metodología de Análisis de Grupos de Interés para el Manejo Colectivo de Recursos Naturales en Microcuencas y el que se refiere a Identificación de Niveles de Vida para la Construcción de Perfiles Locales de Pobreza Rural, son herramientas que permiten identificar relaciones entre distintos usuarios de los recursos naturales. La identificación de niveles de vida permite clasificar los componentes socioeconómicos a nivel de veredas, pueblos y comarcas.**

**De color amarillo, Atlas de Yorito y Sulaco, Yoro (Honduras), es el instrumento que tipifica la integración, análisis y presentación por medio de mapas de los datos generados por los instrumentos representados por los colores verde y azul.**

**De color naranja, Identificación y Evaluación de Oportunidades de Mercado para Pequeños Productores Rurales y Utilización de Modelos de Simulación para Evaluación Ex-ante, son los instrumentos que facilitan el diseño de escenarios alternativos para planificar la producción a nivel de finca y microcuenca.**

**Englobando estos ocho instrumentos y de color mora, Desarrollo de Procesos Organizativos a Nivel Local para el Manejo Colectivo de los Recursos Naturales, es la herramienta que permite: (a) definir el uso colectivo de los otros instrumentos, y (b) divulgar los resultados que se obtienen de la aplicación de éstos. Es el instrumento útil para la organización de la comunidad en orden a mejorar la toma de decisiones sobre el manejo colectivo de los recursos naturales a nivel de cuenca.**

# Contenido

	Página
Introducción .....	1
Usuarios de las Guías .....	3
Modelo de Aprendizaje .....	4
Estructura General de la Guía .....	7
Autoevaluación .....	9
Autoevaluación – Información de Retorno .....	10
Objetivos .....	13
Originales para Transparencias.....	15
<b>Sección 1. Marco Conceptual para la Evaluación Ex-ante .....</b>	<b>1-1</b>
Estructura de la Sección.....	1-5
Objetivos.....	1-6
Preguntas Orientadoras.....	1-6
1.1 Enfoque de Sistemas .....	1-7
1.2 Jerarquía de Sistemas .....	1-7
1.3 El Enfoque de Sistemas y la Simulación.....	1-8
1.4 ¿Qué es un Modelo?.....	1-10
1.5 ¿Porque son Utiles los Modelos?.....	1-11
1.6 ¿Cómo se Hacen y Emplean los Modelos? .....	1-12
1.7 ¿Cómo se Clasifican los Modelos? .....	1-13
1.8 ¿Qué es la Simulación en Sistemas de Producción?.....	1-15
1.9 Evaluación Ex-ante en el Diseño de Alternativas Tecnológicas.....	1-16
Ejercicio 1.1 Construcción del Concepto: Uso de Modelos de Simulación para la Evaluación Ex-ante en el Manejo de los Recursos Naturales.....	1-21
Bibliografía .....	1-24
Originales para Transparencias.....	1-27
<b>Sección 2. Modelos para la Simulación de Sistemas de Producción .....</b>	<b>2-1</b>
Estructura de la Sección.....	2-5
Objetivos.....	2-6
Preguntas Orientadoras.....	2-6
Introducción .....	2-6

2.1	Modelos para Simular Tecnologías de Conservación de Suelos .....	2-6
2.2	Un Modelo para Simular Tecnologías que Involucran el Recurso Hídrico ..	2-11
2.3	Modelo Integrador para Evaluación Ex-ante de Tecnologías en Laderas ...	2-14
2.3.1	Objetivos del modelo LADERA.....	2-14
Ejercicio 2.1 Utilización de Modelos de Simulación EPIC y CROPWAT.....		2-29
Bibliografía .....		2-33
Originales para Transparencias.....		2-35

### **Sección 3. Construcción de Modelos: La Programación Lineal como una Herramienta ..... 3-1**

Estructura de la Sección.....		3-5
Objetivos.....		3-6
Preguntas Orientadoras.....		3-6
Introducción.....		3-6
Introducción.....		3-6
3.1	Programación Lineal .....	3-7
3.2	Ventajas y Limitaciones en el Uso de los Modelos de Programación Lineal .....	3-8
3.3	Modelo Matemático de Programación Lineal .....	3-8
3.4	Construcción del Modelo.....	3-10
3.5	Utilización de la Hoja Electrónica para la Construcción del Modelo de Programación Lineal .....	3-14
3.6	Informe al Programa sobre la Estructura del Modelo .....	3-17
3.7	Análisis de Sensibilidad.....	3-21
3.8	Ejemplos de Construcción de Modelos a Nivel de Finca.....	3-22
Ejercicio 3.1 Construcción de un Modelo de Optimización para la Evaluación Ex-ante de Alternativas Tecnológicas.....		3-29
LINGO .....		3-40
Bibliografía .....		3-43
Originales para Transparencias.....		3-45

### **Sección 4. Aplicación de Modelos de Programación Lineal en la Evaluación Ex-ante ..... 4-1**

Estructura de la Sección.....		4-5
Objetivos.....		4-6
Preguntas Orientadoras.....		4-6

Introducción.....	4-7
4.1 Análisis de Opciones de Desarrollo en la Cuenca del Río Doña Juana.....	4-8
4.2. Términos de Intercambio entre Criterios de Política en la Cuenca del Río San Antonio.....	4-16
4.3 Cuantificación Ex-ante del Intercambio entre Equidad, Productividad y Sostenibilidad para el Diseño de Alternativas Tecnológicas en el Cultivo de Arracacha.....	4-26
Ejercicio 4.1 Análisis y Evaluación Ex-ante en el Manejo de los Recursos Naturales – Aplicaciones.....	4-31
Bibliografía.....	4-38
Originales para Transparencias.....	4-41
<b>Anexos.....</b>	<b>A-1</b>
Anexo 1. Evaluación Final de Conocimientos.....	A-5
Anexo 2. Evaluación Final de Conocimientos - Información de Retorno .....	A-7
Anexo 3. Evaluación del Evento .....	A-10
Anexo 4. Autoevaluación del Desempeño del Instructor .....	A-13
Anexo 5. Evaluación de los Materiales de Capacitación .....	A-17
Anexo 6. Anexos Técnicos .....	A-18
Anexo 6.1 Referencias sobre Aplicación del Modelo EPIC.....	A-18
Anexo 6.2 Simulación del CROPWAT en los Cultivos de Maíz, Frijol y Tomate en la Región del Carchi, Ecuador.....	A-23
Anexo 6.3 Diferentes Parámetros en el Modelo LADERA.....	A-35





## **Agradecimientos**

Agradecemos a varias instituciones y personas que han trabajado estrechamente con CONDESAN Colombia y que de una forma u otra han hecho contribuciones que se reflejan en la presente guía.

A COLCIENCIAS, a Ecofondo y a la Fundación Eduquemos por su aporte financiero para apoyar los estudios de La Miel y Dona Juana citados en el texto. A la Universidad de Caldas por el apoyo científico en varios de los análisis realizados, por su contribución a la validación de los modelos de simulación y por la flexibilidad académica que le permitió a los alumnos de pregrado participar en este tipo de estudios.

A Corpoica y al Creced del Magdalena medio Caldense por su apoyo en la realización de las encuestas a nivel de campo y el levantamiento de la información cartográfica necesaria para hacer los modelos digitales de elevación.

A los colegas del CIAT por la revisión de varios de los modelos, la introducción de ajustes a los modelos de elevación y por la crítica constructiva que permitió simplificar los modelos iniciales de simulación.

A los colegas de la Universidad Nacional de Colombia – Sede Palmira, por el ajuste en los balances hídricos y transporte de sedimentos.

Nuestro especial reconocimiento al profesor Oscar Chaparro Anaya, de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira, quién además de su participación como autor de este material, tuvo a su cargo la validación del mismo en los talleres realizados en Managua y en la Universidad Nacional.

A la coordinación de CONDESAN en Lima, que permanentemente estuvo estimulando este tipo de análisis y la elaboración de esta guía.

Un reconocimiento especial merece el grupo de estudiantes de investigación en análisis de sistemas de producción de la Universidad de Caldas, quienes permanentemente estuvieron en el campo llevando una voz de aliento a las comunidades marginadas, en zonas conflictivas y que además de un excelente trabajo técnico comprendieron la importancia de implementar acciones para que, lo poco que sabemos, preste un beneficio a los demás. Sin el valioso aporte de todas estas personas habría sido imposible la realización de este trabajo.



## **Introducción**

La investigación y el desarrollo agropecuario enfrentan retos cada día más complejos, que exigen al investigador y al agente de desarrollo un acercamiento diferente al análisis de la problemática o del potencial de un sistema.

Hoy, existe la necesidad de aplicar nuevas estrategias en el desarrollo las de tecnologías para el manejo de los recursos naturales, en las cuales los investigadores y agentes de desarrollo puedan integrar diferentes niveles jerárquicos, y tengan en cuenta la asignación total de recursos y las interacciones de los subsistemas, en especial el suelo y la productividad.

En la generación de metodologías que faciliten información útil para investigadores y agricultores sobre los intercambios entre sostenibilidad equidad y productividad a diferentes niveles jerárquicos de los sistemas de producción, el empleo de modelos es un instrumento que facilita el análisis en áreas de interés sobre el manejo de los recursos naturales. Entre ellos, las opciones de desarrollo en una cuenca, la identificación de los términos de intercambio ente sostenibilidad y equidad, y la cuantificación ex-ante de alternativas tecnológicas.

El desarrollo y utilización de modelos ha llevado a grupos de investigadores de CIAT, CONDENSAN y de universidades latinoamericanas a resolver cuellos de botella en la toma de decisiones para el manejo de los recursos naturales. Las experiencias en diferentes cuencas ecológicas de Colombia, Perú y Ecuador permiten documentar este proceso y motivar la conformación de un material de capacitación que potencialice la utilización de modelos de simulación en la toma de decisiones en el manejo de los recursos naturales.

La presente guía propone la utilización de modelos de simulación como una estrategia metodológica que permite a los equipos de investigadores y agentes de desarrollo explorar diferentes propuestas para la construcción de sistemas de producción más eficientes desde el punto de vista físico-biológico, económico, social y energético.

La propuesta se basa en la construcción y uso de modelos matemáticos que generen información que permita anticipar de la bondad de los resultados de la tecnología diseñada y analizar las posibilidades de que esta tecnología cumpla con los objetivos del proyecto y contribuya a satisfacer las inquietudes que plantea la sociedad sobre el uso racional de los recursos naturales, la protección del ambiente, el crecimiento económico y la capacidad de competencia en una economía globalizada.

Los modelos que aquí se presentan permiten la integración entre los enfoques disciplinarios y el de sistemas permitiendo la descripción y comprensión del uso de la tierra y su dinámica temporal y espacial, el análisis de los patrones de distribución espacial de las actividades agrícolas en el paisaje y en la región, y la sensibilidad del uso de la tierra a cambios en las políticas de precios, y de fomento, entre otras.

El propósito de la guía es proponer a los usuarios una estrategia metodológica de trabajo que les permita, mediante el uso y construcción de modelos de simulación, tomar decisiones en el manejo de los recursos naturales en zonas de ladera. Se espera, igualmente, contribuir significativamente a mejorar la capacidad de análisis de los equipos de trabajo, al brindarles la oportunidad de disponer de herramientas para la integración de aspectos como productividad, equidad, sostenibilidad y competitividad en una dimensión temporal de corto, mediano y largo plazos.

Esta guía está estructurada en cuatro secciones, en la primera se desarrolla la fundamentación conceptual sobre modelos de simulación y evaluación ex-ante; en la segunda se exponen modelos de simulación existentes para la toma de decisiones en el manejo de los recursos agua, suelo y planta en zonas de laderas. Estos modelos son EPIC, CROPWAT y LADERA. Para cada uno se dan instrucciones para su comprensión y aplicación. En la sección tres se plantean los procedimientos para que los usuarios puedan construir modelos de simulación mediante la programación lineal y, finalmente, en la sección cuatro se presentan a manera de ejemplo, tres casos de aplicación de modelos de simulación en la toma de decisiones para el manejo de los recursos naturales en ladera.

La guía ha sido diseñada de tal forma que pueda ser accesible a todos los grupos de investigadores y agentes de desarrollo que enfrentan día a día los problemas relacionados con el manejo sostenible de los recursos naturales en zonas de laderas latinoamericanas se ha empleado para ello un lenguaje sencillo y una estructura didáctica que parte de lo simple y fundamental hasta lo complejo y amplio.

## **Usuarios de las Guías**

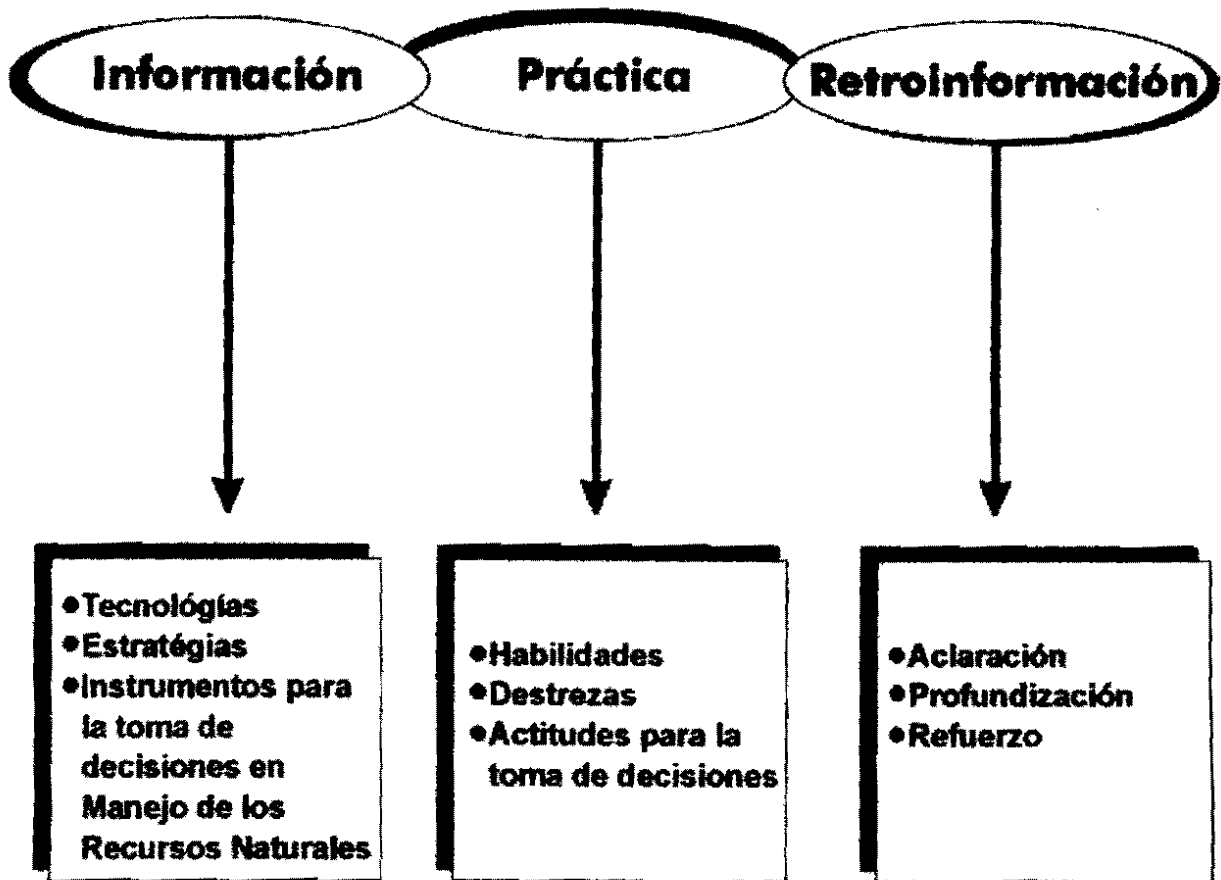
La serie de nueve Guías sobre Instrumentos Metodológicos para la Toma de Decisiones en el Manejo de los Recursos Naturales está dirigida a dos tipos de usuarios específicos.

El primero, compuesto por profesionales y técnicos que trabajan en organismos e instituciones de los sectores público y privado, dedicados a la investigación, al desarrollo y a la capacitación en el manejo de los recursos naturales renovables. Este nivel de usuarios puede aprovechar las guías para apoyar la planeación, ejecución, seguimiento y evaluación de sus iniciativas en esos tres campos de acción. Pero, sobretodo, se espera que este grupo, una vez capacitado en la aplicación de las metodologías, ejerza un papel multiplicador para cientos de profesionales, técnicos, voluntarios y productores en la promoción, análisis y adaptación de dichas metodologías a la toma de decisiones en el manejo de los recursos naturales en los ámbitos local, regional y nacional.

El segundo grupo de usuarios está conformado por quienes, en última instancia son herederos legítimos de las propuestas para el manejo de los recursos naturales generadas a través de la investigación y presentadas en las guías: los habitantes de las cuencas y subcuencas de América Tropical. Estos, a través de la capacitación, asesoría y apoyo de una variedad de organismos no gubernamentales y agencias del estado, podrán apropiarse de los métodos y estrategias que aquí se ofrecen, para participar activamente en el manejo y conservación de los recursos naturales.

Este material tiene una especial dedicación para los docentes de las facultades y escuelas de ciencias agrarias, ambientales y de los recursos naturales. Son ellos quienes forman profesionales y técnicos, que acompañarán a las comunidades agrícolas, en el futuro inmediato, en la ardua tarea de mantener o recuperar los recursos naturales, puestos a su custodia, para las próximas generaciones.

## Modelo de Aprendizaje



La serie de *Guías de Capacitación sobre Instrumentos Metodológicos para la Toma de Decisiones* está basada en un modelo didáctico fundamentado en el aprendizaje a través de la práctica. Este modelo propone a los usuarios inmediatos de estas guías —capacitadores y multiplicadores— un esquema de capacitación en el cual los insumos de información resultantes de la investigación en campo sirven de materia prima para el desarrollo de habilidades, destrezas y actitudes requeridas por los usuarios finales para la toma de decisiones acertadas y relacionadas con el manejo de los recursos naturales.

Los usuarios de estas guías observarán que sus componentes metodológicos se diferencian de otros materiales de divulgación de tecnologías. Cada una de las secciones en que se dividen las guías, contiene elementos de diseño que le facilitan al capacitador ejercer su labor de facilitador del aprendizaje.

Las Guías están orientadas por un conjunto de objetivos que le sirven al instructor y al participante para dirigir los esfuerzos de aprendizaje. Este se lleva a cabo a través de ejercicios en el campo o en otros escenarios, en los que se practican los procesos de análisis y toma de decisiones, usando para ello caminatas, simulaciones,

dramatizaciones y aplicación de diferentes instrumentos de recolección y análisis de información.

Otros componentes incluyen las sesiones de información de retorno, en las cuales los participantes en la capacitación, junto con los instructores, tienen la oportunidad de revisar las prácticas realizadas y profundizar en los aspectos que deben ser reforzados. La información de retorno constituye la parte final de cada una de las secciones de la guía y es el espacio preferencial para que el instructor y los participantes lleven a cabo la síntesis conceptual y metodológica de cada aspecto estudiado.

En resumen, el modelo consta de tres elementos: (1) la información técnica y estratégica, que es producto de la investigación y constituye el contenido tecnológico necesario para la toma de decisiones; (2) la práctica, que toma la forma de ejercicios en el sitio de entrenamiento y de actividades de campo y que está dirigida al desarrollo de habilidades, destrezas y actitudes para la toma de decisiones; y (3) la información de retorno que es un tipo de evaluación formativa que asegura el aprendizaje y la aplicación adecuada de los principios subyacentes en la teoría que se ofrece.

Las prácticas son el eje central del aprendizaje y simulan la realidad que viven quienes utilizan los instrumentos para la toma de decisiones presentados en cada guía. A través de los ejercicios los participantes en la capacitación experimentan el uso de los instrumentos, las dificultades que a nivel local surgen de su aplicación y las ventajas y oportunidades que representa su introducción en los distintos ambientes de toma de decisiones en el ámbito local o regional de cada país.

Los ejercicios que se incluyen en las guías fueron extractados de las experiencias locales de investigación de los autores en microcuencas de Honduras, Nicaragua y Colombia. Sin embargo, los instructores de otros países y regiones podrán extraer de sus propios proyectos de investigación y de sus experiencias en el campo excelentes ejemplos y casos con los cuales reconstruir las prácticas y adaptarlas al contexto de su localidad. Cada instructor tiene en sus manos guías que son instrumentos de trabajo flexibles que pueden adaptar a las necesidades de distintas audiencias en diferentes escenarios.

### **Usos y adaptaciones**

Es importante que los usuarios (instructores, multiplicadores) de estas guías conozcan el papel funcional que brinda su estructura didáctica para que la utilicen en beneficio de los usuarios finales. Son ellos quienes, van a tomar las decisiones de introducir los instrumentos presentados, en los procesos de desarrollo a nivel local.

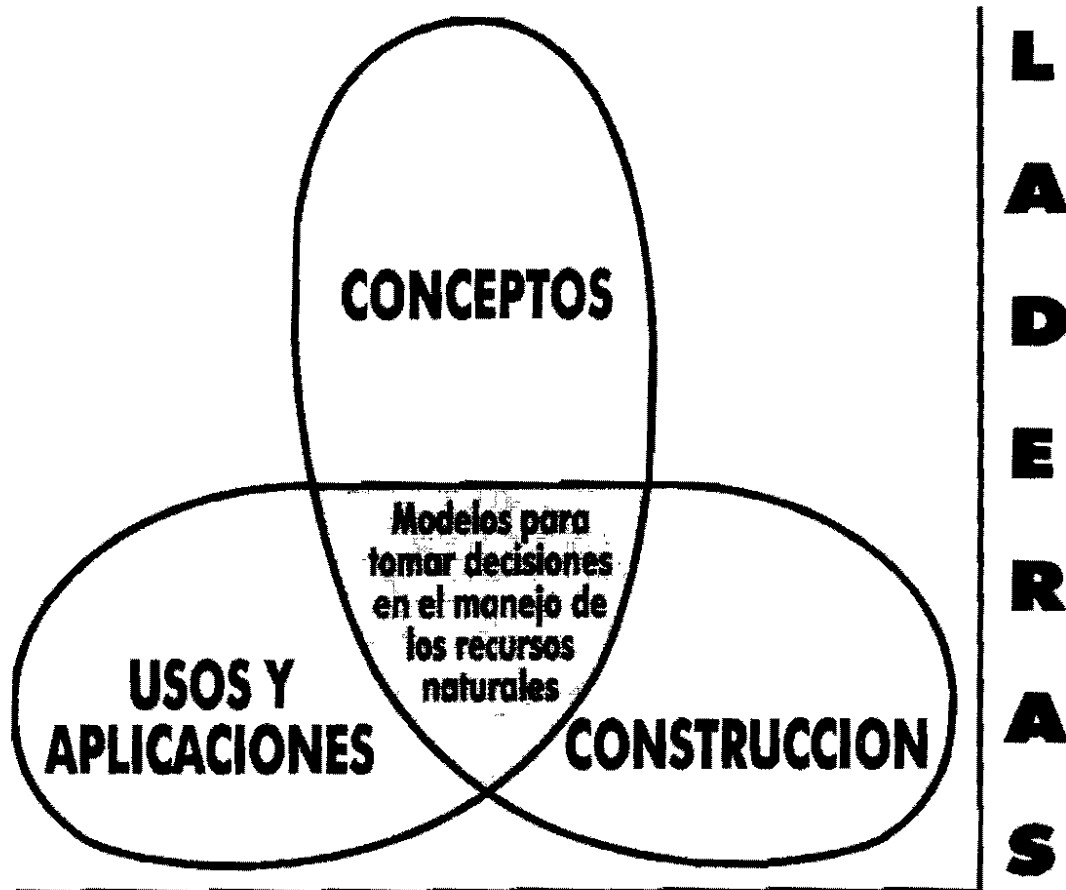
Por ello, se hace énfasis en el empleo de los flujogramas por los instructores a quienes les sirven para presentar las distintas secciones; las preguntas orientadoras, que les permiten establecer un diálogo y promover la motivación de la audiencia antes de profundizar en la teoría; los originales para las transparencias, los cuales



pueden adaptarse a diferentes necesidades, introduciendo ajustes en su presentación; los anexos citados en el texto que ayudan a profundizar aspectos tratados brevemente dentro de cada sección; los ejercicios y las prácticas sugeridos, los cuales, como se dijo antes, pueden ser adaptados o reemplazados por prácticas sobre problemas relevantes a la audiencia local; las sesiones de información de retomo, en las cuales también es posible incluir datos locales, regionales o nacionales que hagan más relevante la concreción de los temas y los anexos didácticos (postest, evaluación del instructor, evaluación del evento, evaluación del material, etc.) que ayudan a complementar las actividades de capacitación.

Finalmente, se quiere dejar una idea central con respecto al modelo de capacitación que siguen las guías: Si lo más importante en el aprendizaje es la práctica, la capacitación debe disponer del tiempo necesario para que, quienes acuden a ella tengan la oportunidad de desarrollar las habilidades, destrezas y actitudes que reflejen los objetivos del aprendizaje. Sólo así es posible esperar que la capacitación tenga el impacto esperado en quienes toman decisiones sobre el manejo de los recursos naturales.

## Estructura General de la Guía



### Explicación

Aprender significa incorporar nuevas formas de relacionarse con la realidad. Esa incorporación se realiza a través de dos procesos complementarios: la asimilación de datos de la realidad al sujeto, y la redefinición de la realidad del sujeto con esa realidad.

Bajo este contexto la guía reconoce la existencia de conocimientos y experiencias por parte de los usuarios y se preocupa por la generación de espacios para que se integren los conceptos previos con las nuevas propuestas en el campo de la utilización de modelos de simulación para la evaluación ex-ante.

La estructura de la guía responde a la de generación de oportunidades para que los usuarios puedan apropiarse de los conceptos e instrumentos en el uso y construcción de modelos de simulación, así como su utilización para responder a los nuevos retos en cuanto a la toma de decisiones en el manejo de los recursos naturales en zonas de ladera.

La estructura se fundamenta en los elementos siguientes: los conceptos sobre modelación, el uso de modelos, su construcción y sus aplicaciones los cuales se expresan a través de las preguntas fundamentales: ¿Cuál es la fundamentación conceptual sobre la utilización de modelos en la evaluación ex-ante? ¿Cuáles modelos existen y como se pueden usar para responder a mis necesidades? ¿Cómo se pueden construir los modelos de simulación? ¿Cuáles han sido las aplicaciones de los modelos de simulación para la toma de decisiones en el manejo de los recursos naturales en ladera? Cada una de las preguntas es analizada en una sección separada.

La primera pregunta se aborda en la sección uno y en ella se propone un marco teórico básico, donde se responde a las preguntas: ¿Qué es un modelo? ¿Por que son útiles los modelos? ¿Cómo se clasifican los modelos? ¿Cuáles son las ventajas y limitaciones? y ¿Qué es la evaluación ex-ante?.

En la sección 2 se presentan las características de tres modelos de simulación que se han empleado con éxito en proyectos de investigación y desarrollo en América Latina y en cada uno de ellos se propone al usuario elementos para su comprensión y uso.

En la sección 3 se propone la aplicación de la programación lineal para la construcción de modelos de simulación. En ella se dan los pasos para que el usuario pueda, con el uso de hojas electrónicas 'Excel' construir y emplear modelos para responder a las necesidades de un sistema de producción en la toma de decisiones para el manejo de los recursos naturales en zona de ladera.

La sección 4 presenta tres aplicaciones de los modelos de simulación en la toma de decisiones en la evaluación ex-ante. En cada una de las aplicaciones se resalta la elaboración del modelo mental, la recuperación de información, la descripción del modelo, y el análisis de sensibilidad.

La guía le da al usuario, de acuerdo con su estructura, la oportunidad de involucrarse en un continuo proceso de innovar, inventar, cuestionar, ponderar, discutir, planear, fracasar, tener éxito, repensar e imaginar los conocimientos planteados en cada uno de los ejemplos y ejercicios propuestos.

Se espera que este ejercicio colectivo de construcción de conocimiento por parte de investigadores y agentes de desarrollo en el área del uso de modelos de simulación se proyecte en acciones concretas en el desarrollo de las zonas de laderas latinoamericanas.

## Autoevaluación

### Instrucciones

A continuación se le pide a los participantes que contesten algunas preguntas. Esta no es una evaluación sino un ejercicio que permite saber cuáles son las percepciones y conocimientos sobre los aspectos presentados en esta guía.

### Preguntas

1. ¿Qué entiende por modelo de simulación?

---

---

2. ¿Cuál considera usted que es la utilidad de los modelos para la toma de decisiones en el manejo de los recursos naturales?

---

---

3. ¿Qué entiende usted por evaluación ex-ante?

---

---

4. ¿Cuáles modelos de simulación conoce usted, y que experiencias ha tenido en su uso?

---

---

5. ¿Cuál es el procedimiento metodológico en la aplicación de modelos de simulación para la toma de decisiones en la evaluación ex-ante?

---

---

## **Autoevaluación – Información de Retorno**

### **Instrucciones**

Ahora el participante ha examinado sus conocimientos sobre los temas relacionados con las simulaciones ex-ante. A continuación se comparan las respuestas con las sugerencias para responder presentados por el instructor.

### **Respuestas**

#### **Para la pregunta 1**

El modelo de simulación es una representación de un objeto, concepto o sistema real de tal forma que, aun siendo distinto a la entidad que representa, puede imitar su funcionamiento y uno o varios atributos de éste.

En el enfoque de sistemas de producción, el término 'modelo' puede entenderse como la abstracción o representación simplificada de la unidad productiva (órgano, planta, animal, finca, microcuenca, cuenca, región.)

El modelo ideal, sería aquel que se aproxima cada vez más al objeto o sistema considerado. Esto implicaría que paulatinamente el modelo, al menos en las últimas etapas, sería inútil al ser accesible al propio sistema. Al parecer esta posibilidad es tan remota que el asunto de la desaparición del modelo como mediador necesario aún no se plantea.

#### **Para la pregunta 2**

Los modelos de simulación pueden servir para explicar y comprender el sistema o para predecir o duplicar el comportamiento característico de un sistema. Estos se han usado en el medio para simular un componente del sistema, una finca como un todo, una cuenca, o una región.

En el área del análisis de los recursos naturales, los modelos son un importante aporte ya que permiten incorporar la variable 'tiempo' en el análisis y simular la toma de decisiones en la unidad de producción, con respecto a la función objetivo, entendida ésta como aquella situación deseable por los productores o centro decisorio.

#### **Para la pregunta 3**

La evaluación ex-ante es un componente del diseño de alternativas tecnológicas que busca, anticipar alguna idea sobre la bondad de los resultados de la tecnología diseñada y analizar las posibilidades de que esta tecnología cumpla con los objetivos del proyecto y contribuya a satisfacer los retos de manejo sostenible, equitativo y

competitivo de la agricultura en zonas de laderas. En la toma de decisiones en proyectos de investigación y desarrollo rural, la etapa del diseño de alternativas tecnológicas es un componente básico, en la cual el equipo de investigadores explora diferentes propuestas para el diseño de sistemas de producción más eficientes, desde el punto de vista físico-biológico, económico, social y energético.

#### **Para la pregunta 4**

Existe un considerable número de modelos que simulan la erosión en función de las características del suelo, su uso, las condiciones climáticas y topográficas, y las estructuras de costos y mercadeo. Estos modelos permiten simular la pérdida de suelo y la productividad agrícola, al igual que el efecto de implementar prácticas conservacionistas sobre la disminución de la erosión, la escorrentía y la productividad biológica y económica de los sistemas de producción. Entre los modelos más empleados: Epic ( Environmental Policy Integrated Climate), Wepp (wind Erosion Prediction System), el Calsite (Calibrated Simulation of Transported Erosión), DSSAT (Decisiones para el manejo de agroecosistemas), CROPWAT y LADERA.

#### **Para la pregunta 5**

En términos generales, la aplicación de modelos de programación lineal implica un procedimiento metodológico que incorpora las fases siguientes:

1. **Elaboración de un modelo de una manera mental.** Constituye este modelo el punto de partida que determina la utilidad del modelo matemático y que es específico a cada caso particular. Los modelos no son universales, sino que se construyen para que respondan preguntas concretas bajo condiciones específicas. El modelo mental guarda relación con el tipo de preguntas que quisiera responder el modelo. La estructura y la función del modelo se orientan justamente a responder tal o tales inquietudes.
2. **Recuperación de información.** El equipo de investigadores o de agentes de desarrollo debe tomar una decisión sobre la disponibilidad de información para alimentar el modelo, de tal forma que adquiera la capacidad para responder las distintas inquietudes que plantea el modelo mental. Existe un rango muy amplio de condiciones específicas en las cuales la información puede estar totalmente disponible o ausente en fuentes secundarias. Quienes construyen el modelo deben evaluar la calidad de la información disponible y las implicaciones para la captura en fuentes primarias de la información faltante.
3. **Actividades y restricciones.** Con la información recolectada se definen las restricciones del modelo y las actividades alternativas que se pueden desarrollar.
4. **Análisis de sensibilidad.** Una de las mayores fortalezas que tienen los modelos de programación lineal es la capacidad para responder de manera inmediata a cualquier cambio en los parámetros utilizados. Mediante cambios en los

parámetros de actividades y las restricciones se puede plantear un sinnúmero de escenarios potenciales, muchos de ellos imposibles de llevar a cabo en la práctica que por su alto costo sería imposible de asumir. Estos escenarios potenciales constituyen la información más importante que aportará los modelos al análisis.

## Objetivos

Al terminar la guía los participantes en la capacitación estarán en capacidad de :

- ✓ Describir los conceptos, utilidades y metodología para la simulación mediante modelos.
- ✓ Describir los conceptos, enfoques y procesos en que se fundamenta la evaluación ex-ante.
- ✓ Presentar un marco de referencia para la evaluación ex-ante de tecnologías en el manejo de recursos naturales. Caso: Conservación de suelos.
- ✓ Presentar las limitaciones y alcances de tres modelos de simulación para el manejo de recursos naturales: EPIC, CROPWAT y LADERA.
- ✓ Presentar la estructura y funciones de los modelos de simulación: EPIC, CROPWAT y LADERA.
- ✓ Adquirir destreza en el manejo básico de los programas de simulación EPIC, CROPWAT y LADERA.
- ✓ Explicar los principales conceptos y la estructura de los modelos de simulación basados en la programación lineal.
- ✓ Adquirir destreza en la construcción de modelos mediante el uso de la hoja Excel.
- ✓ Reconocer las aplicaciones en el uso de los modelos de simulación en la toma de decisiones en el manejo de recursos naturales en una zona de ladera.
- ✓ Describir los pasos metodológicos de la aplicación de modelos de simulación en la toma de decisiones en el manejo de recursos naturales.
- ✓ Identificar la aplicación de modelos de simulación para el análisis de opciones de desarrollo de una cuenca.
- ✓ Identificar la aplicación de modelos de simulación en el cálculo de los términos de intercambio entre criterios de política; sostenibilidad, equidad y productividad.
- ✓ Identificar la aplicación de modelos en la cuantificación del intercambio entre equidad, productividad y sostenibilidad en el diseño de alternativas tecnológicas.





Originales para Transparencias

INFORMACION DOCUMENTAL



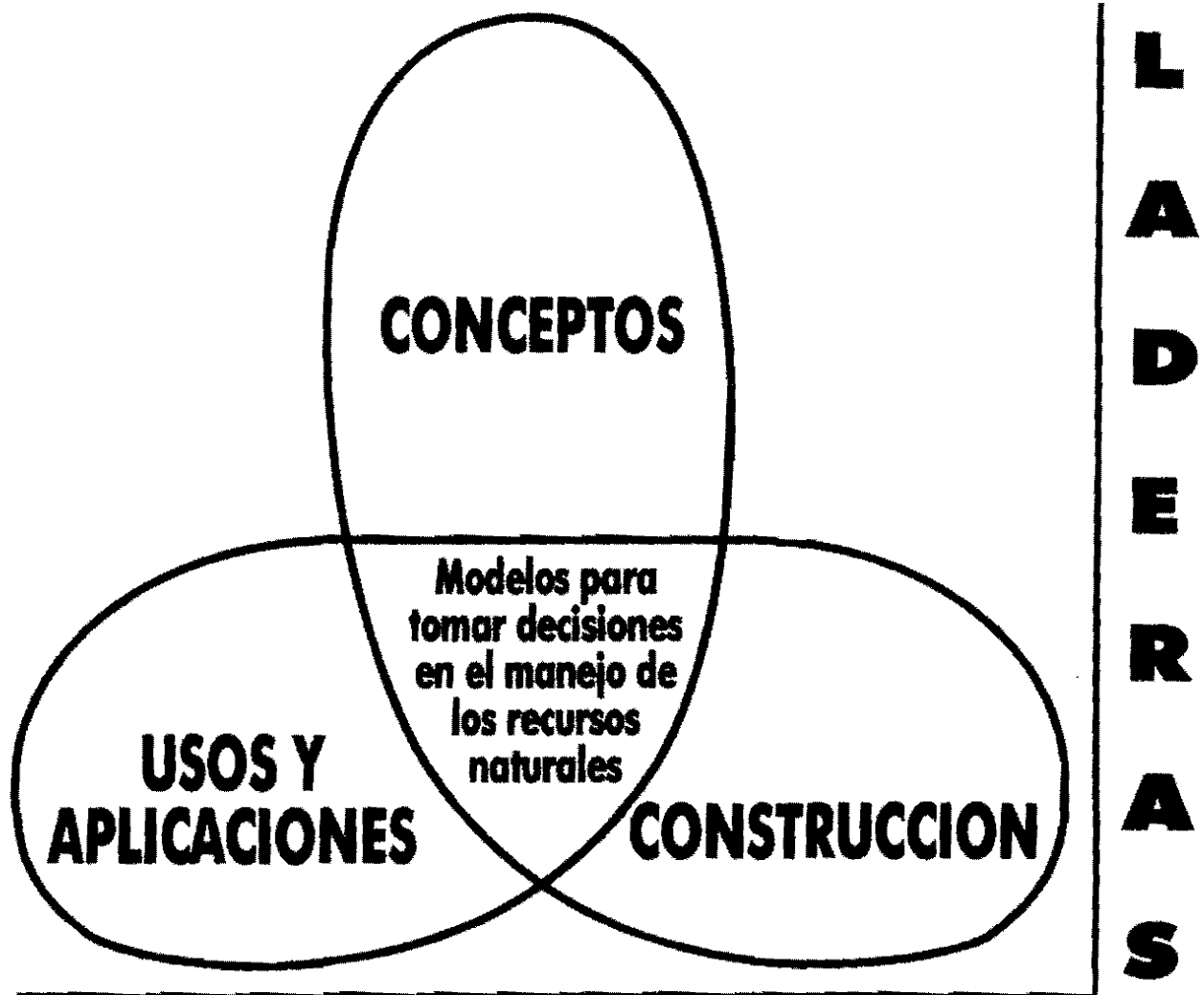
# Utilización de Modelos de Simulación para la Evaluación Ex-ante



**Presente = Pasado + Futuro**



# Estructura de la Guía





# Objetivos Generales

- ✓ **Describir los conceptos, enfoques y procesos en que se fundamenta la evaluación ex-ante.**
- ✓ **Describir los conceptos, utilidades y metodología para la simulación mediante modelos.**
- ✓ **Presentar un marco de referencia para la evaluación ex-ante de tecnología en el manejo de recursos naturales. Caso: Conservación de suelos.**
- ✓ **Presentar las limitaciones y alcances de tres modelos de simulación para el manejo de recursos naturales: EPIC, CROPWAT y LADERA.**
- ✓ **Presentar la estructura y funciones de los modelos de simulación EPIC, CROPWAT y LADERA.**





# **Objetivos Generales**

- ✓ Adquirir destreza en el manejo básico de los programas de simulación EPIC, CROPWAT y LADERA.**
- ✓ Explicar los principales conceptos y la estructura de los modelos de simulación basados en la programación lineal.**
- ✓ Adquirir destreza en la construcción de modelos mediante el uso de la hoja Excel.**
- ✓ Reconocer las aplicaciones en el uso de los modelos de simulación en la toma de decisiones en el manejo de recursos naturales en Ladera.**
- ✓ Describir los pasos metodológicos de la aplicación de modelos de simulación en la toma de decisiones en el manejo de recursos naturales.**



# Objetivos Generales

- ✓ **Identificar la aplicación de modelos de simulación para el análisis de opciones de desarrollo de una cuenca.**
- ✓ **Identificar la aplicación de modelos de simulación en el cálculo de los términos de intercambio entre criterios de política; sostenibilidad, equidad y productividad.**
- ✓ **Identificar la aplicación de modelos en la cuantificación del intercambio entre equidad, productividad, y sostenibilidad en el diseño de alternativas tecnológicas.**



# Autoevaluación

**1** ¿Cuáles son las fases metodológicas para la aplicación de un modelo de simulación en la toma de decisiones para el manejo de los recursos naturales?

**2** ¿Cuáles son algunas características relevantes en el uso de modelos de simulación para el análisis de opciones de desarrollo en una cuenca?

**3** ¿Cuáles son las características relevantes en el uso de modelos de simulación para la identificación de los términos de intercambio entre los criterios de sostenibilidad, productividad y equidad en una cuenca?

**4** ¿Cuáles son las características relevantes en el uso de modelos de simulación para la cuantificación ex-ante del intercambio entre equidad, productividad y sostenibilidad en el diseño de alternativas tecnológicas?



## Sección 1

# Marco Conceptual para la Evaluación Ex-ante





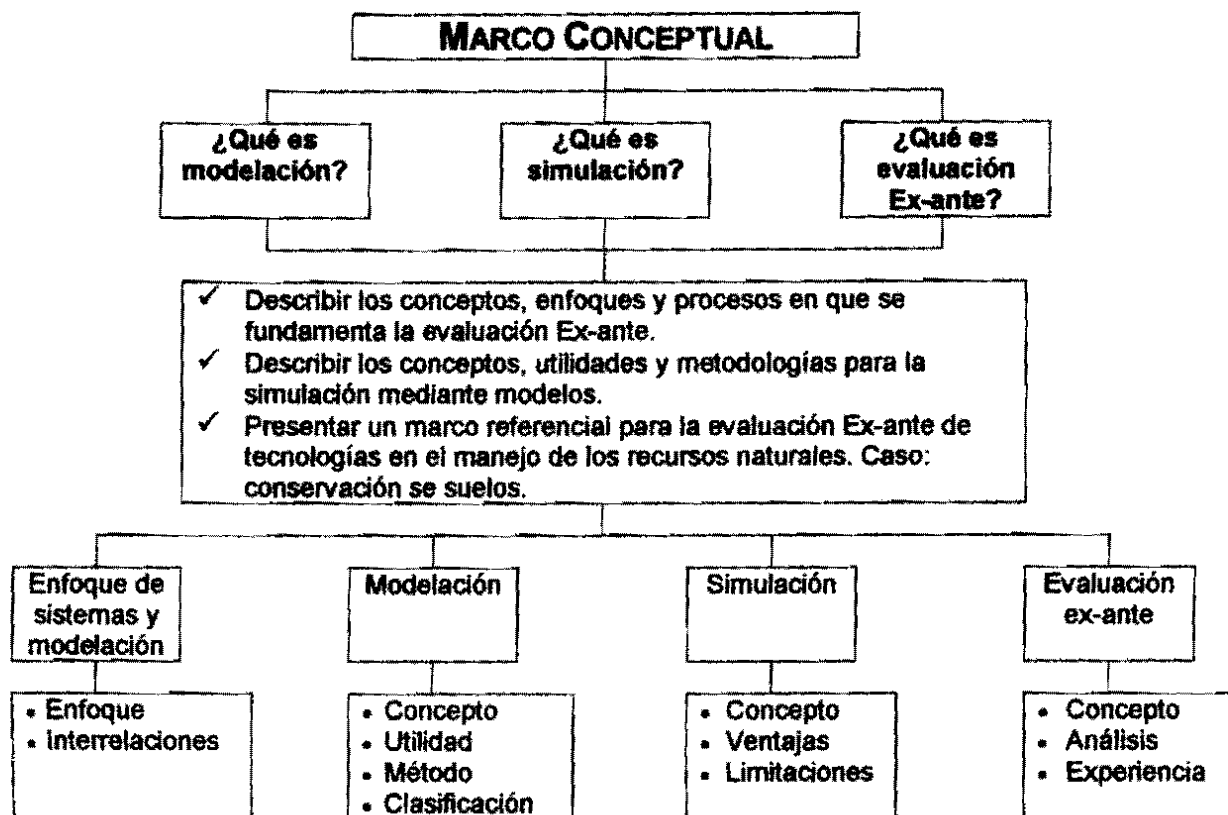


# Sección 1. Marco Conceptual para la Evaluación Ex-ante

	Página
Estructura de la Sección.....	1-5
Objetivos.....	1-6
Preguntas Orientadoras.....	1-6
1.1 Enfoque de Sistemas .....	1-7
1.2 Jerarquía de Sistemas .....	1-7
1.3 El Enfoque de Sistemas y la Simulación.....	1-8
1.4 ¿Qué es un Modelo?.....	1-10
1.5 ¿Porque son Utiles los Modelos?.....	1-11
1.6 ¿Cómo se Hacen y Emplean los Modelos? .....	1-12
1.7 ¿Como se Clasifican los Modelos?.....	1-13
1.8 ¿Qué es la Simulación en Sistemas de Producción?.....	1-15
1.8.1 Ventajas y limitaciones de los modelos de simulación .....	1-15
1.9 Evaluación Ex-ante en el Diseño de Alternativas Tecnológicas.....	1-16
1.9.1 Análisis de la evaluación Ex-ante en proyectos de investigación y desarrollo agropecuario .....	1-17
1.9.2 Aplicación de la evaluación Ex-ante de tecnologías: Conservación de suelos en sistemas de pequeños productores .....	1-18
Ejercicio 1.1 Construcción del Concepto: Uso de Modelos de Simulación para la Evaluación Ex-ante en el Manejo de los Recursos Naturales .....	1-21
Bibliografía .....	1-24
Originales para Transparencias.....	1-27



## Estructura de la Sección



La sección esta conformada por tres componentes que en su conjunto proporcionan elementos para la fundamentación teórica necesaria tendiente a la utilización de modelos de simulación en la evaluación ex-ante.

El primer componente trata el enfoque y la metodología de sistemas de producción como una propuesta para la toma de decisiones en el manejo de los recursos naturales, estableciendo relaciones entre modelación, simulación, evaluación ex-ante y el enfoque de sistemas.

El segundo componente presenta el marco teórico en el que se sustentan los conceptos de modelo y simulación, desarrollando elementos tales como el ¿Qué es? ¿Por qué son útiles? ¿Cómo se clasifican? ¿Cómo se emplean? ¿Cómo se hacen?.

El tercer componente trata lo relacionado con la evaluación ex-ante, presentando su definición, su ubicación en la metodología de sistemas de producción y una contextualización en proyectos de manejo de los recursos naturales, usando un caso de conservación de suelos en zonas de laderas.

Con el fin de generar oportunidades para que los participantes integren a sus conocimientos previos nuevos conceptos y construyan el marco conceptual necesario para la incorporación de los modelos de simulación a sus labores diarias, la sección propone un ejercicio donde los invita a formular una serie de preguntas relevantes acerca de sus necesidades como investigadores y agentes de desarrollo en sus áreas de trabajo.

## **Objetivos**

Al finalizar la sección los participantes estarán en condiciones para:

- ✓ Describir los conceptos, enfoques y procesos en que se fundamenta la evaluación ex-ante para el manejo de los recursos naturales en laderas.
- ✓ Describir los conceptos, utilidad y metodología para realizar una simulación mediante el uso de modelos.
- ✓ Presentar un marco de referencia para la evaluación ex-ante de tecnologías en el manejo de recursos naturales. Caso: conservación de suelos.

## **Preguntas Orientadoras**

1. ¿Cómo se inserta la modelación en el enfoque de sistemas?
2. ¿Qué es un modelo de simulación?
3. ¿Cómo se construye y usa un modelo de simulación?
4. ¿Qué es simulación y cuales son sus ventajas y limitaciones?
5. ¿Qué es la evaluación ex-ante?
6. ¿Qué aspectos se involucran en el proceso de evaluación ex-ante de tecnologías en conservación de suelos?

## **1.1 Enfoque de Sistemas**

### **¿Qué es el enfoque de sistemas?**

El enfoque de sistemas nace como consecuencia de una corriente de pensamiento que acepta que todos los objetos y fenómenos son parte de componentes mayores y que para comprenderlos totalmente es necesario entender esas totalidades y las interrelaciones entre sus partes. Por tanto, el 'todo' no es la simple suma de las partes. El 'todo' pasó a llamarse sistema y el énfasis que se colocó sobre el entendimiento pasó a llamarse investigación en sistemas. Esta corriente de pensamiento se tradujo, en términos operativos, en un enfoque de sistemas, mediante el cual las partes o elementos deben integrarse y el funcionamiento de cada elemento o parte dentro del sistema se conoce. El enfoque busca evaluar cómo encajan las partes dentro del todo, cómo interactúan entre sí y cómo el sistema se comporta en relación con su ambiente y con otros sistemas dentro de ese mismo ambiente.

Para lograr un uso sostenible de los recursos, particularmente en zonas de laderas, es ineludible investigar, tanto los mecanismos que sustentan la sostenibilidad o causan el deterioro de los sistemas de uso como los nexos entre los sistemas de distintos niveles jerárquicos. Esto implica que no se puede plantear un enfoque exclusivamente tecnológico y disciplinario. Es necesario, por tanto, un enfoque de sistemas, producto de la aplicación del paradigma holístico, que permita la descripción y comprensión del uso de las tierras y su dinámica temporal y espacial, el análisis de los patrones de distribución espacial de las actividades agrícolas en el paisaje y en la región y la sensibilidad del uso de las tierras a cambios en las políticas de precios, de fomento, entre otros.

La principal característica del enfoque de sistemas es el reconocimiento de la existencia de relaciones y de jerarquías. Las jerarquías en sistemas se definen como la relación estructural en la que cada unidad se compone en dos o más subunidades que, a su vez, están subdivididas de manera similar.

## **1.2 Jerarquía de Sistemas**

Los sistemas de producción son sistemas jerárquicos con una amplia gama de categorías que van desde un nivel universal hasta la finca, la planta, el suelo, el animal o la célula. Para el estudio de sistemas de producción se requieren como mínimo tres niveles de análisis un nivel prioritario objetivo del estudio, un nivel superior donde se enmarco el nivel objetivo y un nivel inferior que permita describirlo y entenderlo, por ejemplo, si el nivel objetivo de análisis en un proyecto de desarrollo de uso sostenible del suelo es la finca, es necesario caracterizar tanto el nivel inferior (componentes; suelo, cultivos, animales y agua) como el nivel superior (cuenca, municipio y región.)

La incorporación de los niveles jerárquicos en el análisis es condición esencial para el desarrollo de una propuesta efectiva, por ejemplo, la consideración de un nivel más alto de un sistema puede brindar oportunidades de sustituir insumos, es como en el caso en el cual la pérdida de fertilidad en una parcela puede mejorar con la aplicación de residuos orgánicos (que existen en la finca) y que normalmente se hubiera dedicado a otros fines. Igualmente, un nivel más alto de un sistema puede brindar oportunidades de sustituir actividades, por ejemplo, la erosión asociada con la producción extensiva de cultivos puede mejorar si cultivos se sustituyen por horticultura, cambio posible gracias a la construcción de una carretera. En un nivel más alto de un sistema se pueden aprovechar las oportunidades de llegar a un balance entre subsistemas, por ejemplo, las inversiones en agricultura intensiva en zonas favorecidas (con niveles socialmente aceptable de contaminación ambiental) pueden, gracias a la generación de empleo y de ingresos, y reducir las necesidades de la gente pobre y realizar un sistema de subsistencia en zonas de laderas.

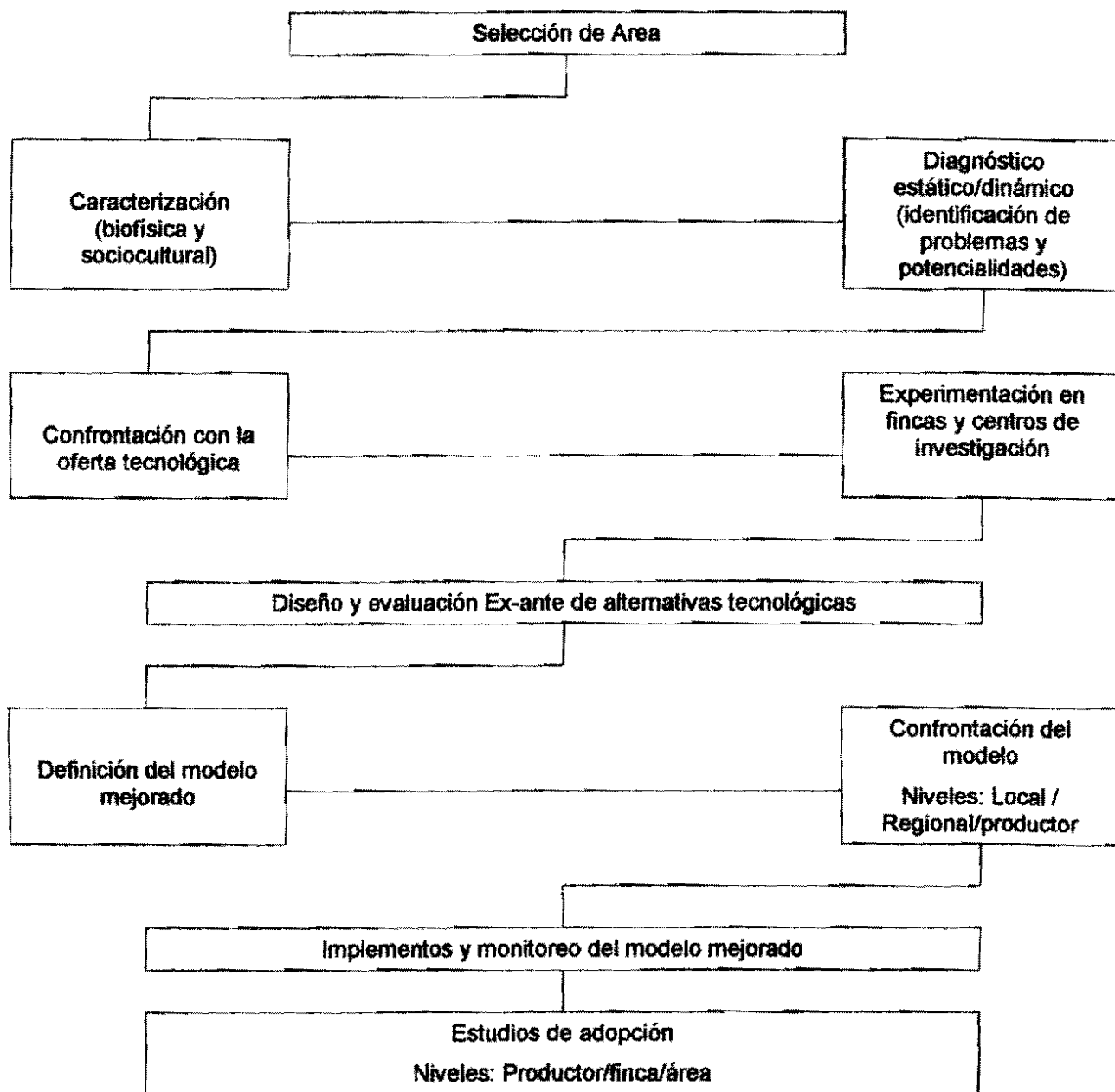
### 1.3 El Enfoque de Sistemas y la Simulación

La metodología para el análisis de sistemas se ilustra en la Figura 1.1. Estos mismos pasos metodológicos se pueden expresar de la siguiente forma, si el enfoque está orientado hacia el modelamiento.

- a. Identificación del sistema.
- b. Elaboración de un modelo conceptual o cualitativo.
- c. Elaboración de un modelo cuantitativo.
- d. Validación del modelo.
- e. Simulación para la selección de la tecnología.
- f. Modificación y perfeccionamiento del modelo.
- g. Validación de las tecnologías a nivel de finca.
- h. Masificación de las tecnologías exitosas.

Se puede afirmar que la fase de modelación comienza con un buen conocimiento del sistema, en la elaboración del modelo conceptual, el cual es una síntesis de la etapa del diagnóstico donde es esencial la definición de la función objetivo que, a su vez, fija los límites del modelo (sistema) e identifica las entradas y las salidas, así como sus elementos constitutivos e interacciones.

Los modelos cuantitativos se basan en algoritmos matemáticos que se ajustan al sistema analizado y representan las relaciones existentes entre los componentes del sistema.



**Figura 1.1** Esquema metodológico en sistemas de producción (adaptado de Ruiz M. 1989)

Una vez se estructura el modelo se obtiene una serie de resultados que deben ser verificados con la información proporcionada por el mundo real; a este ejercicio se le llama validación. El proceso de validación se puede dar de varias formas. Una es la verificación del desempeño de los diferentes componentes del modelo por separado y de las relaciones hipotetizadas en relación con información secundaria del sistema real; otra verificación, más exacta, se realiza a través de un experimento en el que se dan las condiciones del modelo directamente en el campo, para posteriormente comparar los resultados e identificar factores de correlación y ajuste.



Una vez validado el modelo se simulan diferentes escenarios con el fin de seleccionar y evaluar el impacto de la propuesta tecnológica. Esta etapa en la metodología de investigación en sistemas de producción se denomina evaluación ex-ante, la cual es un proceso que consiste en explorar diferentes propuestas para la construcción de sistemas de producción más eficientes desde el punto de vista físico, biológico, económico, social y energético, con el fin de mejorar la producción objetivo del productor y de la región.

## **1.4 ¿Qué es un Modelo?**

“Ninguna parte sustancial del universo es tan simple que pueda ser captada y controlada sin abstracción. La abstracción consiste en reemplazar la parte del universo bajo consideración por un modelo de estructura similar pero más simple. Los modelos son una necesidad central del procedimiento científico (Rosenblueth, A y Wiener, R. 1967). Bastaría con remitirse a trabajos de Bunge, M. (1983) tales como ‘El concepto de modelo’, ‘Modelos en ciencias teóricas’, ‘Analogía, simulación y representación’, para argumentar acerca de la necesidad de que el científico trabaje con modelos, teorías y referentes.

El modelo es una representación de un objeto, concepto o sistema real de tal forma que, aun siendo distinto a la entidad que representa, puede imitar su funcionamiento y uno o varios atributos de éste (Aguilar y Caña, 1991)

En el enfoque de sistemas de producción, el término modelo puede entenderse como la abstracción o representación simplificada de la unidad de análisis (órgano, planta, animal, finca, microcuenca, cuenca y región.)

Los modelos deben representar las principales actividades e interrelaciones del sistema, deben adaptarse a varias situaciones, deben ser de carácter general y estar al alcance de los investigadores para convertirse, en una herramienta de gran utilidad para los grupos de trabajo interdisciplinarios.

El modelo ideal es aquel que se aproxima cada vez más al objeto o sistema considerado. Esto implicaría que paulatinamente el modelo, al menos en las últimas etapas, sería inútil al ser accesible al sistema mismo. Al parecer, esta posibilidad es tan remota que el asunto de la desaparición del modelo como mediador necesario aún no se plantea.

Los modelos pueden servir para explicar y comprender el sistema o para predecir o duplicar el comportamiento característico de un sistema. Estos se han usado en el medio para simular un componente del sistema, una finca como un todo, una cuenca o una región.

En el área del análisis de los recursos naturales los modelos hacen un importante aporte al permitir incorporar la variable tiempo en el análisis y simular la toma de

decisiones en la unidad de producción, con relación a la función objetivo, entendida ésta como aquella situación deseable por los productores o centro decisorio.

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 y exigencia en la información. Puede, además, usar modelos cualitativos, cuantitativos, y predictivos entre otros. En el presente manual se describirán algunos modelos de amplio uso en los proyectos de investigación, entre ellos: EPIC (Environmental Policy Integrated Climate), CROPWAT, y LADERA.

## **1.5 ¿Porque son Utiles los Modelos?**

La investigación y desarrollo agropecuario enfrentan retos cada día mas complejos y que exigen al investigador y agente de desarrollo un acercamiento diferente al análisis de la problemática o potencialidad de un sistema. En este contexto los modelos juegan un papel muy importante en el proceso de análisis de los sistemas de producción agropecuarios, la utilidad de los modelos responde a su empleo en el proceso de investigación y desarrollo en la medida que contribuyen a la solución de las inquietudes que plantea la sociedad en cuanto al uso racional de los recursos naturales, la protección del ambiente, el crecimiento económico y la capacidad de competencia en una economía globalizada.

A continuación se presenta un resumen de algunas de las ventajas más importantes en el uso de modelos en el análisis de sistemas agropecuarios (Estrada, 1995).

- Permiten estudiar el efecto del impacto de los cambios en las variables endógenas y exógenas del sistema.
- Permiten el estudio de las interacciones entre las actividades, que debido a su complejidad, serían difíciles de aislar en la realidad.
- Facilitan el proceso de conocimiento de la realidad, al permitir una observación detallada del sistema en sus componentes e interrelaciones.
- Jerarquiza los elementos del sistema, permitiendo priorizar los diferentes componentes o interrelaciones con referencia a un objetivo.
- Permite evaluar los efectos a través del tiempo; situación de gran importancia en el estudio de los recursos naturales, los que debido a sus características, exigen una temporalidad en el análisis.
- Permiten simular situaciones que por su naturaleza exigirían un alto costo y larga duración, si se empleara un sistema real, por ejemplo, la pérdida de suelo, la dinámica poblacional de plagas, el mejoramiento genético animal y la sedimentación de un río.
- Permite predecir el comportamiento de la implementación de una nueva práctica tecnológica en el sistema, identificando potencialidades y problemas que en el mundo real pudieran significar el fracaso del experimento.
- Permite la identificación de los intercambios entre los diferentes niveles jerárquicos de un sistema, componente, finca, y región.

- Es un excelente medio para facilitar el trabajo interdisciplinario, que permite a los especialistas tener una visión sistémica de la realidad, y obliga a los investigadores a considerar todos los aspectos del sistema; generando recomendaciones integrales y menos sesgadas hacia los conocimientos disciplinarios de los especialistas.

## **1.6 ¿Cómo se Hacen y Emplean los Modelos?**

La esencia de un modelo reside en que constituye un sistema de propiedades conocidas, fácilmente analizables. Es un sistema que describe los principales rasgos característicos de otro sistema de propiedades desconocidas. Algunas tesis generales que servirán como punto de partida en la conceptualización y uso de modelos son las siguientes:

- El mundo está compuesto de cosas y objetos que existen independientemente de un sujeto y que interactúan entre ellos.
- Tal conjunto de objetos está sometido a un constante cambio.
- Los objetos que interactúan se relacionan y lo hacen en forma de sistema, es decir, puede establecerse entre ellos al menos una relación de equivalencia y, por lo general, una relación jerárquica y más comúnmente mixta.
- El conjunto de organismos vivos requiere una interacción especial con su medio; y la utilización del mismo como condición de su mantenimiento y desarrollo

De acuerdo con Bergren (1982) las etapas esenciales para el uso de modelos matemáticos son las siguientes:

- Análisis y formulación del problema.
- Desarrollo de un modelo matemático que represente el problema.
- Derivación de una solución del problema.
- Prueba del modelo y de la solución derivada.
- Establecimiento de controles para la solución.
- Implementación de la solución.

Según León-Velarde y Quiroz (1995) la modelación de un problema o un fenómeno biológico debe considerar la posibilidad de analizar el problema, 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 tanto, los aspectos que se deben tener en cuenta en la elaboración de los modelos son los siguientes:

- Definir el tipo de modelo que se construirá. Esto se hará de acuerdo con el uso que se hará de él. El modelo deberá representar las variables esenciales del sistema real, o sea, aquellas que al cambiar, repercuten significativamente en el sistema. Las variables que conforman el modelo también deben ser relevantes para el usuario en el caso de los recursos naturales. La pérdida de suelo, la

escorrentía, el uso de la tierra, la capacidad de retención del suelo, suelen ser variables de interés.

- Para la elaboración de los modelos es necesario manejar la información recopilada del sistema en estudio, tanto mediante encuestas como en investigación en componentes que deben ser sistematizadas en una base de datos de fácil acceso (hoja electrónica, archivo y texto) y que permitan su uso.
- El planteamiento inicial de los modelos debe ser sencillo, y en la medida que este no responda a las expectativas, se debe ir aumentando su complejidad. De esta forma se ahorra el tiempo que se invierte en desarrollo de modelos complejos y de poca aplicabilidad.
- Los modelos deben tener un balance entre generalidad, precisión y realismo. Al acercarse más a la realidad se aumenta la complejidad y se pierde en precisión y facilidad de uso. Si es demasiado preciso, pierde generalidad.

## 1.7 ¿Cómo se Clasifican los Modelos?

De acuerdo con Shannon (1975) los modelos por su estructura pueden ser:

### Iconos

Son los que semejan un sistema real de tal forma que las propiedades relevantes del sistema están representadas en el modelo por la representación a escala. Ejemplo: mapas, maquetas, parcelas agrícolas, modelos físicos.

### Análogos

Describen el uso de una propiedad para representar otra del sistema real. Ejemplo, gráficos de coordenadas X y Y, riñón artificial, etc.

### Simbólicos

Aquellos en los cuales las propiedades del sistema están representadas por símbolos numéricos. Por ejemplo, un modelo matemático.

De acuerdo con Anderson (1981) los modelos empleados en el análisis de los sistemas de producción agropecuarios se clasifican con elementos el tiempo y la probabilidad, siendo estos:

### Modelos estáticos determinísticos

Se analiza una situación en un momento o período determinado y se supone una certeza absoluta en la ocurrencia de los hechos, eliminando cualquier variación aleatoria de las variables.

### Modelos determinísticos dinámicos

Son aquellos en los cuales la variable tiempo se considera explícitamente y las demás variables se dan en forma determinística, ó sea, que no se considera el factor aleatorio no entra.

### **Modelos estocásticos estáticos**

Consideran las probabilidades dentro del proceso selectivo.

### **Modelos estocásticos dinámicos**

Son los que mejor representan los procesos productivos en el área agropecuaria, ya que involucran la variable tiempo y prevén el factor riesgo probabilístico producto de los factores naturales.

Según Gutierrez-Alemann (1986) las técnicas de modelaje de mayor uso en el análisis económico de los sistemas de producción agropecuaria son los siguientes:

### **Presupuestos de toda la finca**

Estos modelos se han usado para medir el impacto económico de una nueva alternativa tecnológica o una nueva práctica de manejo usando los rendimientos económicos como función objetivo. Esta técnica funciona muy bien cuando se considera la realización de cambios dentro de la misma finca, sin cambiar la infraestructura. Exige el conocimiento de los niveles de producción y rendimiento, y los costos directos e indirectos. Tiene la limitante de manejar los precios como valores promedios, sin tener en cuenta las fluctuaciones dentro del período en estudio.

### **Programación simplificada**

Consiste en una función objetivo con base en los rendimientos económicos que relaciona actividades dependiendo del rendimiento monetario, sujeto a ciertas restricciones. Es útil cuando se trata de un problema de distribución de recursos limitados, y exige coeficientes productivos en forma detallada. Ghodake y Hardaker (1981) catalogan la programación simplificada como una técnica más objetiva que la de los presupuestos totales y muy próxima a la programación lineal.

### **Programación lineal**

Permite maximizar o minimizar la función objetivo sujeta a restricciones técnicas impuestas por las características del sistema. La función objetivo y las restricciones se presentan en forma de desigualdades lineales. Permite incorporar la fluctuación de los precios, así como la introducción de múltiples valores de los coeficientes de las actividades. Tiene la limitación de optimizar una sola función objetivo, situación que puede superarse mediante la programación multicriterio. Los modelos de programación lineal han probado ser herramientas de gran utilidad para retroalimentar los procesos de generación y transferencia de tecnología.

### **Programación multicriterio**

Es una extensión de la programación lineal a problemas con más de un objetivo, es decir, que asignan un recurso en función de optimizar un conjunto de objetivos del centro decisor (maximizar el margen bruto, el riesgo económico, etc.) entre distintos cultivos o alternativas productivas posibles bajo una determinada técnica de producción, respetando las restricciones que pueda tener el sistema (Maino et al., 1993).

### **Programación estocástica discreta**

Este tipo de programación matemática incorpora el factor riesgo bajo circunstancia de incertidumbre. La distribución de los coeficientes de insumos y productos puede estar distribuida en forma discreta. RAE (1971) presenta un ejemplo de la aplicación de esta técnica al mercado de vegetales frescos, para lo cual incluyó los efectos aleatorios de clima y precios del mercado.

## **1.8 ¿Qué es la Simulación en Sistemas de Producción?**

La simulación es el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y conducir experimentos con él para entender el comportamiento del sistema o evaluar varias estrategias para su operación. (Shannon, 1975).

La simulación de sistemas es una técnica numérica para predecir posibles resultados de la experimentación, usando lógica matemática para describir el comportamiento de los sistemas de producción a través del tiempo.

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.

Los modelos de simulación constituyen una metodología experimental y aplicada con la cual se 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.

### **1.8.1 Ventajas y limitaciones de los modelos de simulación**

#### **Ventajas**

- Los modelos representan una técnica relativamente simple, con posibilidades de manipular factores biológicos y económicos que presentan dificultad para su manejo en la vida real. Por ejemplo; las modificaciones en la producción al aumentar la superficie.
- Permiten ordenar y visualizar el conocimiento existente y limitante el para el estudio. De esta forma es posible ubicarse dentro del contexto del sistema en estudio.
- Los modelos contribuyen a entender y explicar las interrelaciones entre los elementos del sistema y las de éste con los diferentes niveles jerárquicos con quienes interactúa.

- 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 su validación en el campo.
- Ayuda a priorizar líneas de investigación tendientes a dar solución a un problema determinado.
- Son dinámicos con relación al tiempo; por tanto, éste se puede incluir en el modelo como variable continua o discreta. Ello permite que la información obtenida en la investigación de campo se utilicen eficientemente.
- Son útiles para generar hipótesis de funcionamiento de los sistemas biológicos y para seleccionar las variables más sensibles, es decir, aquellas que requieren de investigación para su comprensión y utilización en el desarrollo de tecnologías para los agricultores.
- Permiten evaluar diferentes escenarios dando elementos para la selección de aquellos que presenten una mejor opción para los agricultores.
- Permiten la valoración de los recursos naturales que poseen los productores, facilitándoles el planteamiento de los términos de una eventual negociación con quienes diseñan las políticas del medio ambiente o con quienes se benefician de manera directa de los procesos de conservación.

### **Limitaciones**

- Se requiere de información disponible y confiable.
- El desarrollo de un modelo de simulación puede ser costoso en tiempo y dinero y requiere de personal capacitado.
- La simulación puede ser imprecisa y no medir el grado de imprecisión. Por tanto, el análisis de sensibilidad de un modelo debe permitir cambiar los valores de los parámetros para superar parcialmente esta dificultad.
- Los resultados de la modelación son normalmente numéricos y proporcionan la información que el investigador selecciona. De este modo, nace el peligro de atribuir a los números un grado de validez mayor de lo justificado.
- No existe suficiente desarrollo metodológico para incluir variables de manejo o de gestión con características cualitativas.

## **1.9 Evaluación Ex-ante en el Diseño de Alternativas Tecnológicas**

La etapa del diseño de alternativas tecnológicas se encuentra en el proceso de toma de decisiones en proyectos de investigación y desarrollo rural. En esta etapa el equipo de investigadores explora diferentes propuestas para la construcción de sistemas de producción más eficientes desde el punto de vista físico - biológico, económico, social y energético.

La evaluación ex-ante es un componente del diseño de alternativas tecnológicas en el que se busca anticipar ideas sobre la bondad de los resultados de la tecnología

diseñada, y se analizan las posibilidades de que esta tecnología cumpla con los objetivos del proyecto y contribuya a satisfacer los retos de manejo sostenible, equitativo y competitivo de la agricultura en zonas de laderas.

Debido a la complejidad del análisis ex-ante se requiere la construcción de modelos, los cuales hacen posible el estudio del sistema.

### **1.9.1 Análisis de la evaluación ex-ante en proyectos de investigación y desarrollo agropecuario**

Según Estrada (1994) en la evaluación ex-ante existen métodos, modelos y herramientas probadas particularmente para el análisis económico, algunas de las características identificadas en los proyectos de investigación y extensión en sistemas agropecuarios son los siguientes:

- Se identifica un progreso importante en el manejo de herramientas cuantitativas, tales como simulación y análisis multivariado a nivel de componente y de finca.
- Existen avances en la incorporación del concepto de biodiversidad al diseño de sistemas.
- Cada vez es mayor la participación de los productores en el diseño de los proyectos.
- Los avances logrados están aún restringidos a lo predial; son muy pocos los trabajos que consideran niveles jerárquicos superiores al nivel de finca.
- La incorporación del riesgo al análisis ex-ante tiene avances, muy tímidos no obstante, que se reconocen como factor fundamental para la innovación.
- Se presenta un desbalance entre los aspectos productivos y agronómicos en relación con los aspectos socioeconómicos y ambientales.
- Los modelos existentes para predecir la dinámica del proceso de degradación no están siendo utilizados en el diseño de los proyectos.

Igualmente se enuncian algunas recomendaciones, entre ellas como:

- Fomentar la creación de equipos que ajusten las metodologías actuales para hacer análisis integrados a diferentes niveles jerárquicos.
- Incorporar disciplinas complementarias para hacer una valoración adecuada de los recursos naturales que permitan un mejor diseño de alternativas.

Algunos de los criterios para la evaluación ex-ante propuestos por Escobar (1993) son los siguientes:

- Comparación del rendimiento real y esperado de la tecnología propuesta, en relación con los factores limitantes.
- Cálculo de los costos por la reestructuración productiva que es necesaria en el sistema de producción
- Los riesgos agronómicos y económicos en que se incurre por la adopción de la alternativa



- Posibles efectos de nuevas o mejores líneas de producción sobre los volúmenes de comercialización

### **1.9.2 Aplicación de la evaluación ex-ante de tecnologías: Conservación de suelos en sistemas de pequeños productores**

Con el fin de apreciar el proceso de evaluación ex-ante se presenta el caso de tecnologías alternativas de conservación de suelos en sistemas de pequeños productores.

Para el caso, la evaluación ex-ante se apoya en modelos de sistemas de producción agrícola como EPIC ( Environmental Policy Integrated Climate), WEPP (Wind Erosion Prediction System), y CALSITE (Calibrated Simulation of Transported Erosion), los que simulan la erosión en función de las características del suelo, su uso y las condiciones climáticas, y establecen relaciones entre la pérdida de este y la productividad agrícola subsiguiente. Estos modelos permiten simular el efecto de implementar prácticas de conservación sobre la disminución de la erosión y su impacto en la productividad de los cultivos.

Con el empleo de los modelos en la evaluación ex-ante se puede estimar costos y los beneficios en los que incurre el productor que adopta este tipo de prácticas. Igualmente el análisis se puede realizar a un nivel jerárquico superior, por ejemplo, una cuenca, incorporando los impactos de la tierra erosionada sobre la parte inferior de ella —sedimentación de los embalses, costos de potabilización de aguas, aumento del riesgo de inundaciones, reducción de la productividad piscícola, y disminución en el agua disponible para riego—.

Igualmente en la evaluación ex-ante se puede analizar la tasa de adopción por parte de los productores, considerando que en la mayoría de los casos, esta adopción es voluntaria. Su predicción es fundamental para estimar los impactos y los beneficios agregados en relación con la cuenca, particularmente si hay costos fijos (costos de la investigación).

Los productos de una evaluación ex-ante en el área de tecnologías de conservación de suelos son, entre otros, los siguientes:

- El estudio de la rentabilidad para el productor y con ello su inclinación a adoptar las prácticas conservacionistas.
- La valorización de los beneficios para la sociedad como un todo y su perfil en el tiempo.
- La evaluación de las oportunidades de transferencia de bienes y servicios de la sociedad a los productores, para compensar los ingresos no percibidos por producir el bien deseado por ésta.
- La decisión si la implementación de prácticas de conservación compite con otras alternativas de desarrollo, inclusive no-agropecuarias.

Algunas limitaciones presentes en la evaluación ex-ante de tecnologías en conservación de suelos son las siguientes (Estrada, R., Seré C. 1995):

### **Aspectos biológicos**

Frecuentemente los modelos simplifican demasiado la complejidad biológica, particularmente en los múltiples mecanismos de retroalimentación (Silsoe, 1994). Este aspecto se puede documentar analizando los modelos de impacto de la erosión sobre la pérdida de la productividad, en los cuales mucha de la información se sustenta sobre la base de una parcela única y donde las pérdidas del suelo son calculadas a partir de la acumulación de pérdidas anuales debidas a un uso continuado con un determinado cultivo, generalmente el predominante en la región (Estrada 1993). Esta forma de calcular la erosión puede dar restricciones significativas en el rendimiento, suficientes para aumentar las posibilidades de justificar el uso de prácticas conservacionistas, sin embargo, el estudio de los sistemas reales muestra que los productores hacen ajustes al sistema de producción mediante cambios en los cultivos y en las variedades, aspecto que reduce enormemente el impacto negativo de la erosión, al menos en el corto plazo, de manera que desde esta perspectiva la pérdida de suelo es menor y, por tanto, los beneficios de conservación de suelo son menores (Estrada, 1993). La mejor alternativa para disminuir la limitación de los modelos es incorporar estas nuevas variables en los programas existentes y realizar continuamente procesos de ajuste y validación de los resultados encontrados en la modelación.

### **Precisión relativa de los análisis**

Esta es una limitante muy común en diversos análisis económicos. Según la percepción disciplinaria, el análisis desarrolla con mucho detalle ciertos aspectos del problema, mientras que se dejan a un lado otros aspectos que pueden ser más significativos. Para esto, la mejor alternativa es incluir en el equipo de investigadores diferentes disciplinas e integrar diferentes modelos que permitan hacer un análisis más realista y de mayor valor para la toma de decisiones políticas.

### **Incorporación de externalidades**

Una característica común en muchos problemas del medio ambiente es su efecto fuera del ámbito de quien decide hacer la intervención en la naturaleza. Por ejemplo, quien erosiona una ladera para sembrar maíz no tiene en cuenta el impacto que su acción tiene sobre quienes viven en cotas inferiores. La evaluación de las externalidades del medio ambiente es una disciplina de la economía ambiental de importancia creciente (Wachter, 1992). Parte de la dificultad consiste en que el análisis requiere abundante información sobre actitudes de los consumidores, información generalmente inexistente o no apropiada a la realidad de los países en desarrollo.

### **Análisis financiero**

En este aspecto se presentan discrepancias entre los economistas en la forma de enfocar el análisis. Por ejemplo, las prácticas de conservación de suelo son inversiones de vida útil de varios años y como tal los flujos de ingresos deben ser descontados en el tiempo. Las discrepancias se centran en las tasas que se deben aplicar y la justificación conceptual de éstas. Existe la opinión de que los factores de

medio ambiente no deben ser descontados en el tiempo, ya que esto causa una preferencia por las necesidades de la generación actual sobre aquellas de las generaciones futuras. Por ello, muchos analistas proponen usar las tasas que efectivamente enfrentan los productores para estimar los niveles de adopción. (Silsoe, 1994).

### **Predicción de la tasa de adopción**

La experiencia de los proyectos de desarrollo ha demostrado que formular recomendaciones es relativamente fácil, en comparación con conseguir a alguien que las implemente. Una razón de esta situación es que los proyectos no dedican suficiente tiempo para analizar y clasificar las estrategias para la reducción del riesgo, factor clave en la decisión para la adopción. Si no se conocen los factores asociados a la adopción y, en consecuencia, no se tienen elementos confiables para predecir el ritmo de incorporación de productores y parcelas al proceso en el tiempo, resulta imposible estimar los beneficios que generan los proyectos de conservación de suelos durante su vida útil. La predicción actual se basa en una información que, además de empírica, es escasa. Se requiere incrementar los trabajos que documenten las tasas de adopción ocurridas en programas anteriores y analizar las causas de la variabilidad de ellas, con el fin de mejorar la confianza en los modelos predictivos.

Las consideraciones anteriores conducen en la evaluación ex-ante a utilizar propuestas más sintéticas integrando la participación de los productores como herramienta para manejar la complejidad. Esto no indica que los esfuerzos para documentar y comparar la magnitud de los problemas de manejo de recursos naturales y sus servicios ambientales no sean un insumo valioso para el proceso de toma de decisiones, el cual debe ser lo más completo e integral posible.

## **Ejercicio 1.1 Construcción del Concepto: Uso de Modelos de Simulación para la Evaluación Ex-ante en el Manejo de los Recursos Naturales**

### **Objetivo**

Este ejercicio está diseñado para que los participantes apliquen los fundamentos conceptuales tratados durante la sección sobre el uso de modelos de simulación para la evaluación ex-ante, mediante la formulación de preguntas que respondan a la necesidad que, como investigadores y agentes de desarrollo, tienen del análisis ex-ante en el manejo de los recursos naturales en zonas de laderas.

### **Orientaciones para el Instructor**

1. Conforme grupos de trabajo de cuatro a seis participantes.
2. Entregue a cada grupo entre 10 y 12 tarjetas y la hoja de trabajo del ejercicio.
3. Pídale a los participantes que formulen por lo menos seis preguntas, relacionadas con la evaluación ex-ante en el manejo de los recursos naturales en zonas de ladera. Para ello solicite que se orienten por las recomendaciones dadas en la hoja de trabajo.
4. Solicite que organicen las tarjetas en grupos que respondan a una clasificación jerárquica de componente del sistema, finca, cuenca, región y país.
5. En plenaria 'socialice' la información lograda con cada grupo. Para ello ubique las tarjetas en distintos lugares del sitio de trabajo.
6. Analice las diferentes propuestas buscando diferencias y analogías así como formas de clasificación de las preguntas. Tenga presente la jerarquía y complejidad de las preguntas.
7. Realice con los participantes la información de retorno propuesta para este ejercicio.

### **Recursos necesarios**

- Hoja de trabajo para cada uno de los participantes.
- Tarjetas de cartulina de diferentes colores con un tamaño que permita la escritura de una pregunta, pueden ser de 35 cm x 20 cm. (Mínimo 12 por grupo de trabajo).
- Cinta adhesiva.
- Papelógrafo y papel.
- Marcadores (mínimo dos por grupo).

*Tiempo sugerido: 60 minutos.*

## **Ejercicio 1.1 Construcción del Concepto: Uso de Modelos de Simulación para la Evaluación Ex-ante en el Manejo de los Recursos Naturales**

### **Objetivo**

Este ejercicio está diseñado para que los participantes apliquen los fundamentos conceptuales tratados durante la sección sobre el uso de modelos de simulación para la evaluación ex-ante, mediante la formulación de preguntas que respondan a la necesidad que, como investigadores y agentes de desarrollo, tienen del análisis ex-ante en el manejo de los recursos naturales en zonas de laderas.

### **Instrucciones para el Participante**

1. Forme los grupos de trabajo de acuerdo con las orientaciones del Instructor.
2. Con base en el gráfico anexo, contextualice el sitio donde efectúa su trabajo y discutan cuáles serían las preguntas relevantes que deban ser formuladas en una evaluación ex-ante sobre el manejo de los recursos naturales.
3. Para la formulación de las preguntas tenga en cuenta los diferentes niveles jerárquicos que se aprecian en el gráfico, estos niveles son entre otros:
  - De componente: agua, suelo, planta, y ambiente.
  - De finca: ingresos, costos, distribución de actividades, y restricciones.
  - De cuenca: uso del suelo, especialización de los cultivos, relaciones con los recursos naturales, conservación de los recursos naturales, y conflictos en el uso del suelo.
  - De región: decisiones de políticas, comercialización de productos, relaciones de intercambio entre los diferentes actores de la región, y captura del beneficio.
4. Escriban en las tarjetas las preguntas que respondan a intereses de sus sitios de trabajo a diferentes niveles jerárquicos.
5. Organicen las tarjetas en grupos que respondan a una clasificación jerárquica de componente del sistema, finca, cuenca, región y país.
6. En plenaria 'socialicen' la información lograda con cada grupo. Para ello ubiquen las tarjetas en distintos lugares del sitio de trabajo y nombren una persona encargada de hacer la presentación del trabajo del grupo.

## Ejercicio 1.1 Construcción del Concepto: Uso de Modelos de Simulación para la Evaluación Ex-ante en el Manejo de los Recursos Naturales – Información de Retorno

Las preguntas que se pueden hacer en la evaluación ex-ante sobre el manejo de los recursos naturales a diferentes niveles jerárquicos son del tipo siguiente:

Nivel Jerárquico	Pregunta
Componente o parcela	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Qué estructura debería tener un cultivo para reducir la pérdida de suelo?</li> <li>• ¿Cuánto oxígeno se puede producir con un programa de reforestación con especies nativas?</li> </ul>
Productor o finca	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Cómo obtener una mayor producción a un costo unitario menor?</li> <li>• ¿En cuánto se aumentaría el agua en nuestra finca si reforestáramos?</li> <li>• ¿Qué pasaría si los productores cambiaran el uso de la tierra en la finca de granos básicos por hortalizas?</li> <li>• ¿Qué pasaría si los productores tuvieran acceso al crédito?</li> </ul>
Cuenca	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Cómo reordenar el uso del suelo en una cuenca para mejorar la competitividad y la conservación de los recursos naturales?</li> <li>• ¿Cuál es la cantidad de sedimento que se produce en una ladera sembrada en maíz y frijol?</li> <li>• ¿Cuánta es la contaminación de las fuentes de agua de una cuenca por el uso de agroquímicos en las fincas?</li> </ul>
Región o país	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Qué medidas de política se pueden implementar para propiciar cambios en el uso del suelo?</li> <li>• ¿Cuál es el beneficio para los productores de una región por el empleo de prácticas para el manejo y la conservación de suelos?</li> <li>• ¿Cuánto le cuesta a un país la erosión?</li> </ul>

## **Bibliografía**

Anderson, J.R. 1981. Economic models and agricultural production system. Department of Agricultural Economic and Business Management, University of New England, Armindale, New South Wales.

Bergren, A. 1982. Técnicas en investigación de operaciones. Elsevier applied science publisher ltd. 140 p.

Escobar, G. 1993. Marco conceptual del diseño de alternativas tecnológicas en proyectos de desarrollo agropecuario con enfoque de sistemas. Primer simposio de investigación - extensión en sistemas agrícolas en América latina Quito, Ecuador, 3 al 5 de marzo de 1993, 18 p.

Estrada, R.; QUIROZ, R. 1995. La aplicación del enfoque de sistemas y el diseño y priorización de proyectos de investigación y desarrollo. En: Segundo simposio Latinoamericano sobre Investigación y Extensión en sistemas Agropecuarios. Santa fé de Bogotá. p. 124 - 126.

Estrada, R.; Seré, C. 1995. Priorización de investigación en temas medioambientales: Enfoques usados a distintos niveles de decisión.

Estrada, R.D. 1993. Planteamiento y resolución de conflictos en la cuenca del rio combeima, Santafé de Bogotá, Colombia, CORPOICA. 70 p.

Gutiérrez - Aleman N. 1986. La modelación en la metodología de investigación en sistemas agropecuarios. CATIE turrialba Costa Rica. Programa colaborativo de apoyo a la investigación en rumiantes menores. Contrato AID/DSAN/XII-G-00049.

León V. C., Quiróz G. R. 1995. Técnicas y procedimientos para el análisis de los sistemas Agropecuarios usando el Enfoque de investigación en sistemas. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 70 p.

Maino, M.; Pittet, J; Kobrich, C. 1993 Programación multicriterio. Un instrumento para el diseño de sistemas de producción. Santiago de Chile, RIMISP, materiales docentes No 1 p 82.

Rae, A. N. 1971. An empirical application and evaluation of discrete stochastic programming in farm management. American Journal of Agricultural Economics, 52 (4).

Rosenblueth, A.; Wiener, R. 1967. El papel de los modelos en la ciencia en pensamiento crítico.

Shannon, R. 1975. *Systems simulation: the art and science*. New York, EE.UU., Prentice Hall Inc. Englewood cliffs. 387 p.

Silsoe. 1994. *Increasing productivity on hillside farms whit emphasis on improved soil conservation practices*. Silsoe Research Institute. 118 p.

Wachter, D. 1992. *Farm land degradation in developing countries. The rol of property rights and assessmente of land titling as policy intervention*. LTC paper 145. Masdison Land Teneure Center, University of Wisconsin.

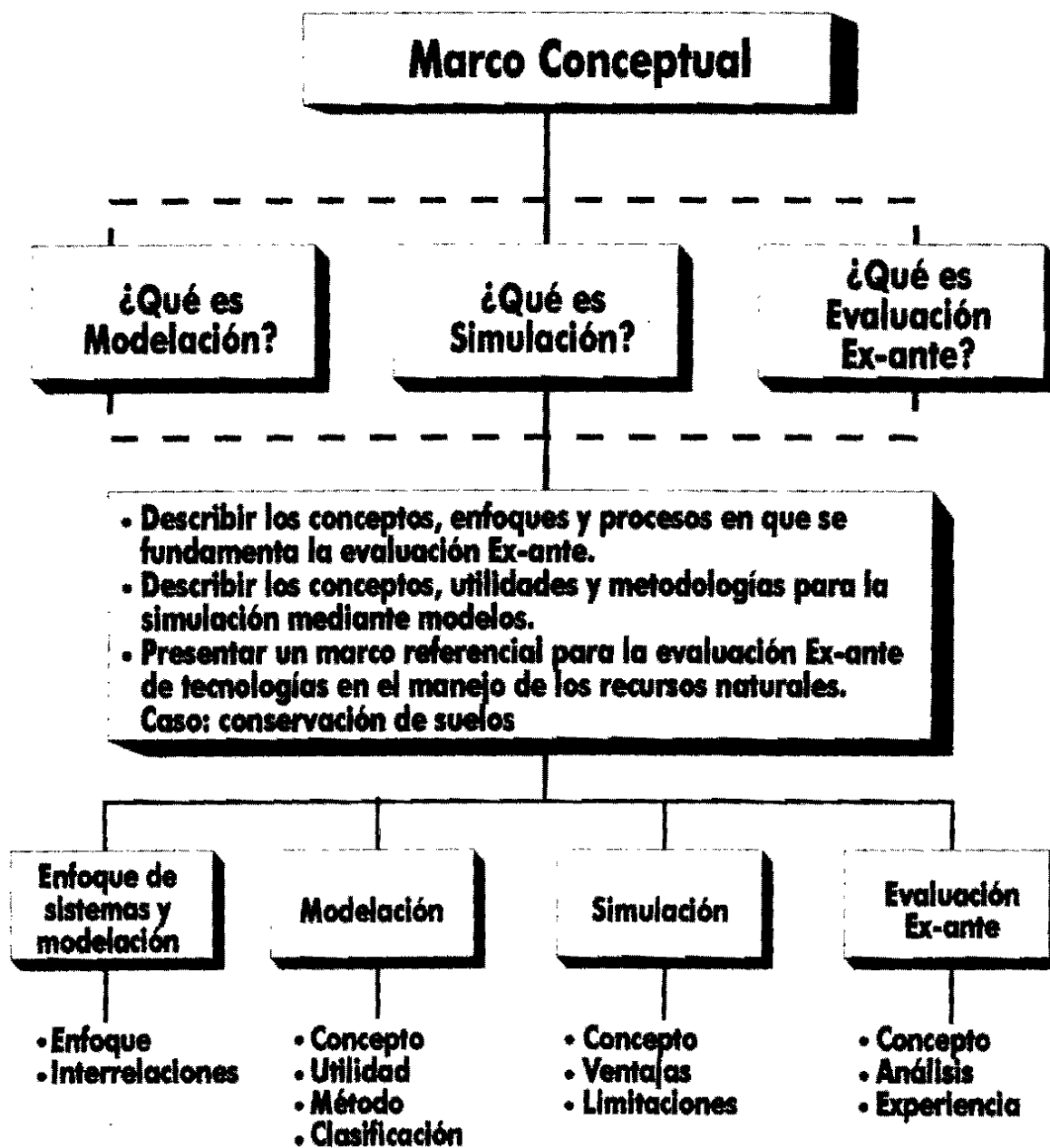




## **Originales para Transparencias**



# Estructura de la Sección



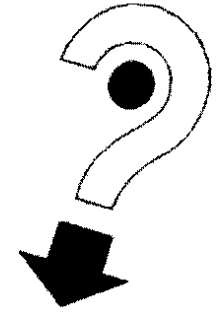


# **Objetivos de la Sección**

- ✓ **Describir los conceptos, enfoques y procesos en que se fundamenta la evaluación Ex-ante para el manejo de los recursos naturales en Laderas.**
- ✓ **Describir los conceptos, utilidad y metodología para realizar una simulación mediante el uso de modelos**
- ✓ **Presentar un marco de referencia para la evaluación Ex-ante de tecnología en el manejo de recursos naturales. Caso: conservación de suelos.**



# Preguntas Orientadoras



**1** ¿Cómo se inserta la modelación en el enfoque de sistemas?

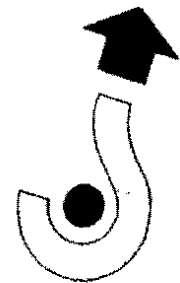
**2** ¿Qué es un modelo?

**3** ¿Cómo se construye y usa un modelo?

**4** ¿Qué es simulación y cuales son sus ventajas y limitaciones?

**5** ¿Qué es evaluación ex-ante?

**6** ¿Qué aspectos se involucran en el proceso de evaluación ex-ante de tecnologías en conservación de suelos.?







# **Modelo**

**Representación de un objeto, concepto ó sistema de tal forma que, aún siendo distinta a la entidad que representa, puede imitar su funcionamiento y/o uno o varios atributos de este.**

**(Aguilar y Cañas, 1.991)**

## ***Propósito***

- Descriptivo**
- Prescriptivo**



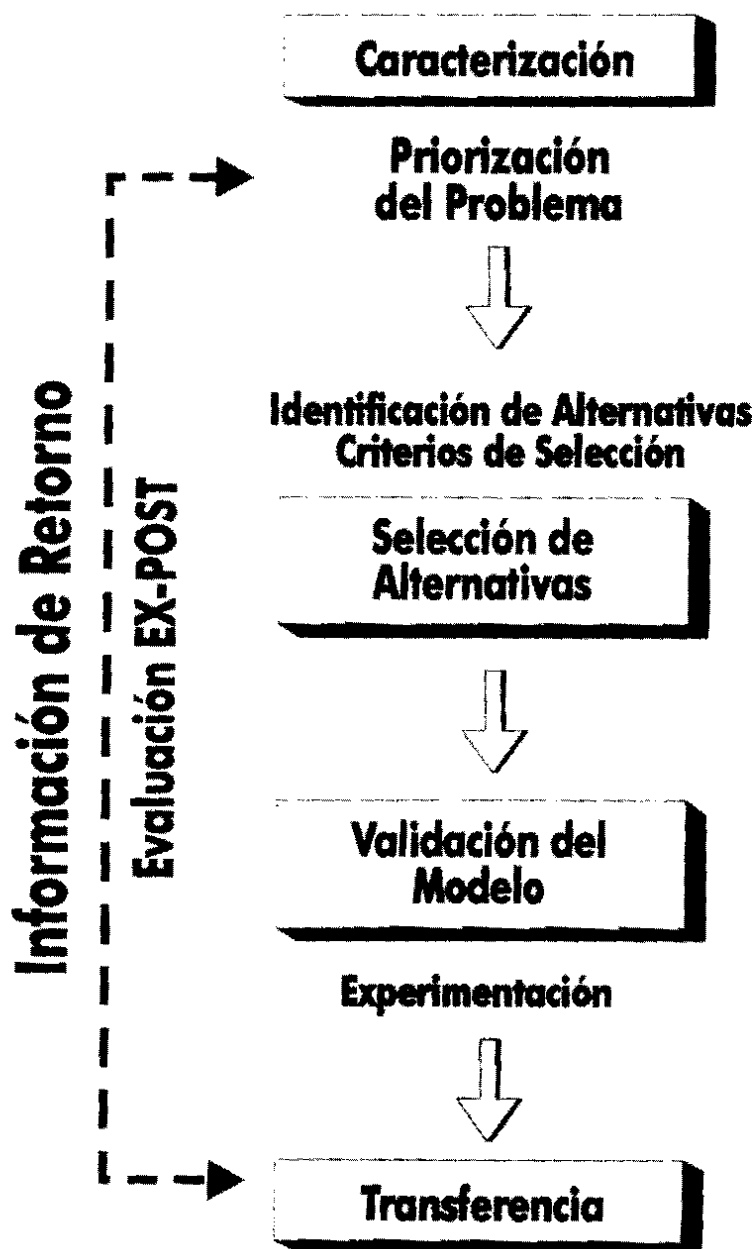
# **Tipos de Modelos**

- Icónicos**
- Análogos**
- Simbólicos**

- **Modelos determinísticos dinámicos  
o estáticos**
- **Modelos estocásticos dinámicos  
o estáticos**
- **Modelos de optimización**



# Momentos Metodológicos del Proceso de Análisis de Sistemas





# Modelación

- ✓ **Proceso mediante el cual un investigador diseña y construye un modelo que representa un objeto ó sistema real**
- ✓ **Metodología que consiste en hacer abstracción del sistema real en un modelo que refleje todo lo que es propio y relevante**

## Debe Permitir

- **Abstraer las partes esenciales**
- **Seleccionar las propiedades que los caracterizan**
- **Modificar las propiedades**
- **Analizar un problema**



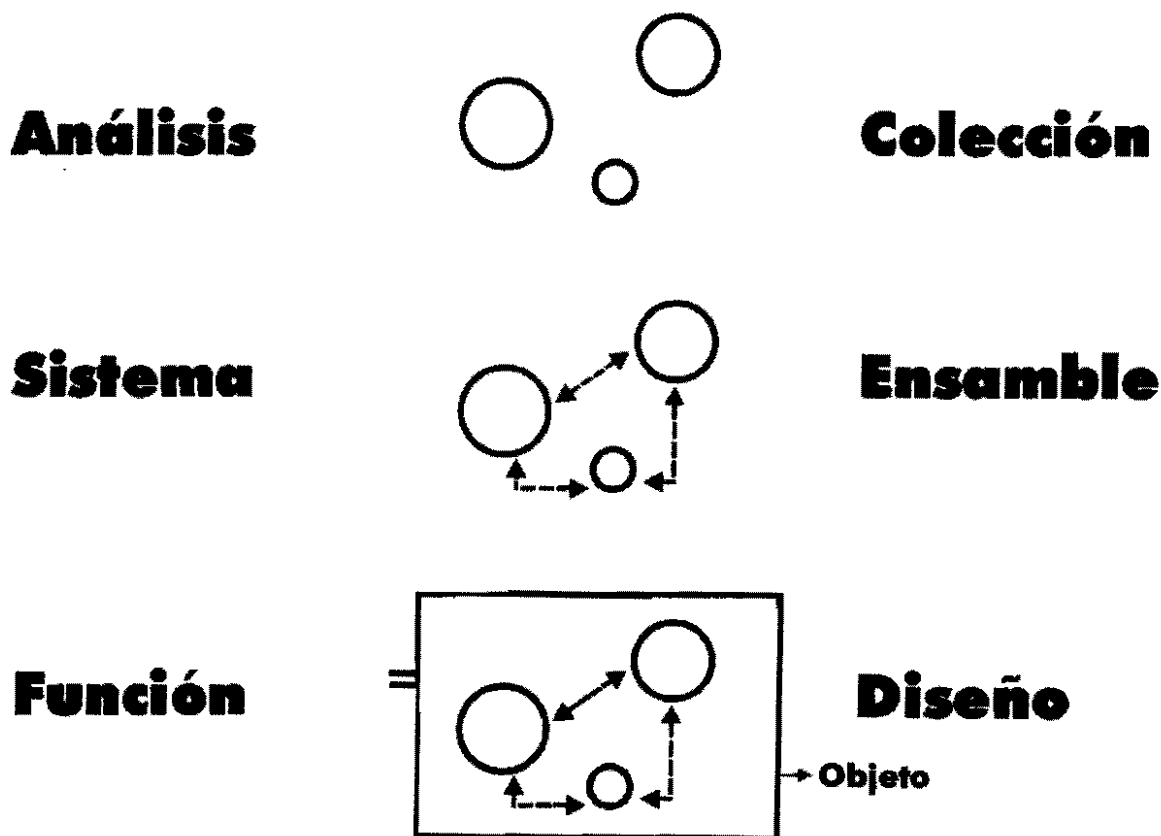


# Modelos y Análisis de Sistemas

Un modelo es la representación, de un objeto o sistema, de tal forma que permite conducir experimentos para entender el funcionamiento ó evaluar estrategias de operación del sistema

(Aguilar,1997)

## Momentos:





# **Modelos de Simulación**

**Representación de un “sistema”, de tal forma que aún siendo distinto a la entidad que representa, puede homologar su funcionamiento**

- Proceso de diseñar un modelo de un sistema real y “conducir” experimentos con él para entender su comportamiento ó evaluar estrategias para su operación.**
  - Describe el comportamiento del sistema**
  - Construye hipótesis que expliquen el comportamiento**
  - Usa las hipótesis para predecir el comportamiento futuro**



# **Modelo de Optimización**

**Es un modelo de simulación que al representar un sistema homóloga su funcionamiento con la característica "específica" de "optimizar" la función del sistema (Y), la cual está influenciada por varias variables independientes (Xi)**

- Utiliza la programación lineal**
- Permite asignar recursos productivos con el objeto de maximizar ganancias ó minimizar costos**



# **Ventajas del Uso de Modelos**

- ✓ **Describir y comprender sistemas de gran complejidad**
- ✓ **Experimentar con sistemas que no existen**
- ✓ **Experimentar con sistemas existentes, sin alterarlos**
- ✓ **Reducir costos institucionales al mejorar la planificación de actividades**
- ✓ **Reducir la brecha investigación/innovación**
- ✓ **Punto de encuentro entre reduccionistas y holísticos**





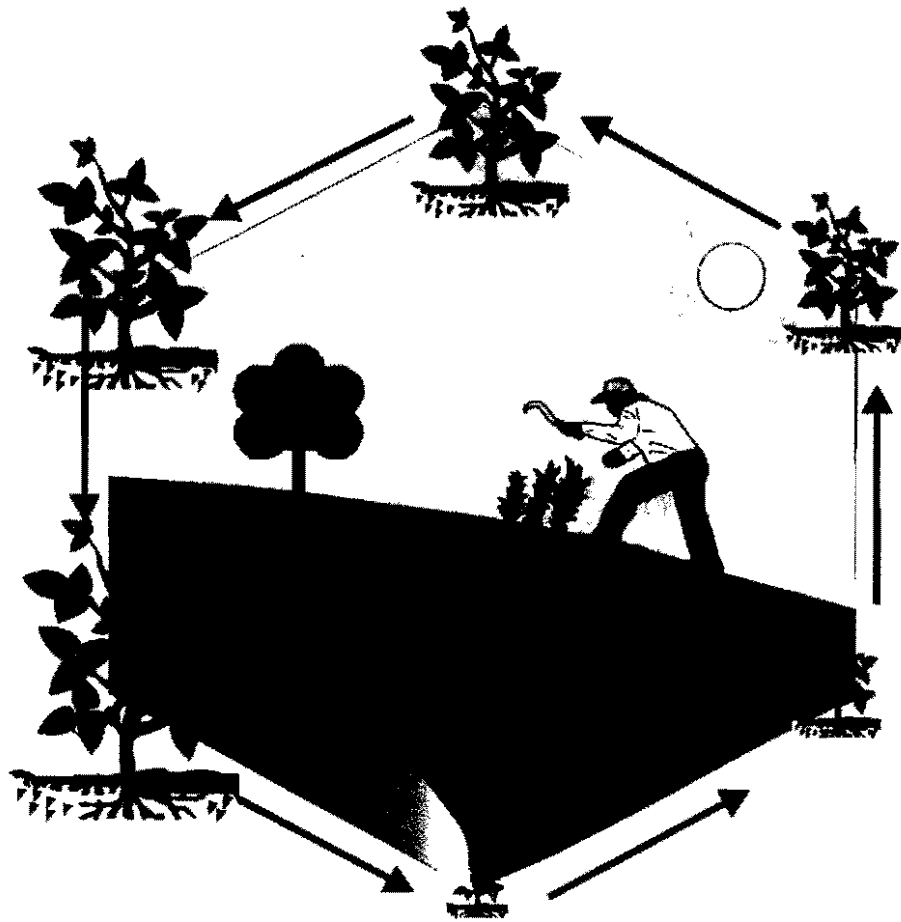
# **Restricciones del Uso de Modelos**

- **Calidad y cantidad de información**
- **Complejidad**
- **Amigabilidad**
- **Equipos**
- **Costos de Software**
- **Disciplina**
- **Falta credibilidad**



## Sección 2

# Modelos para la Simulación de Sistemas de Producción



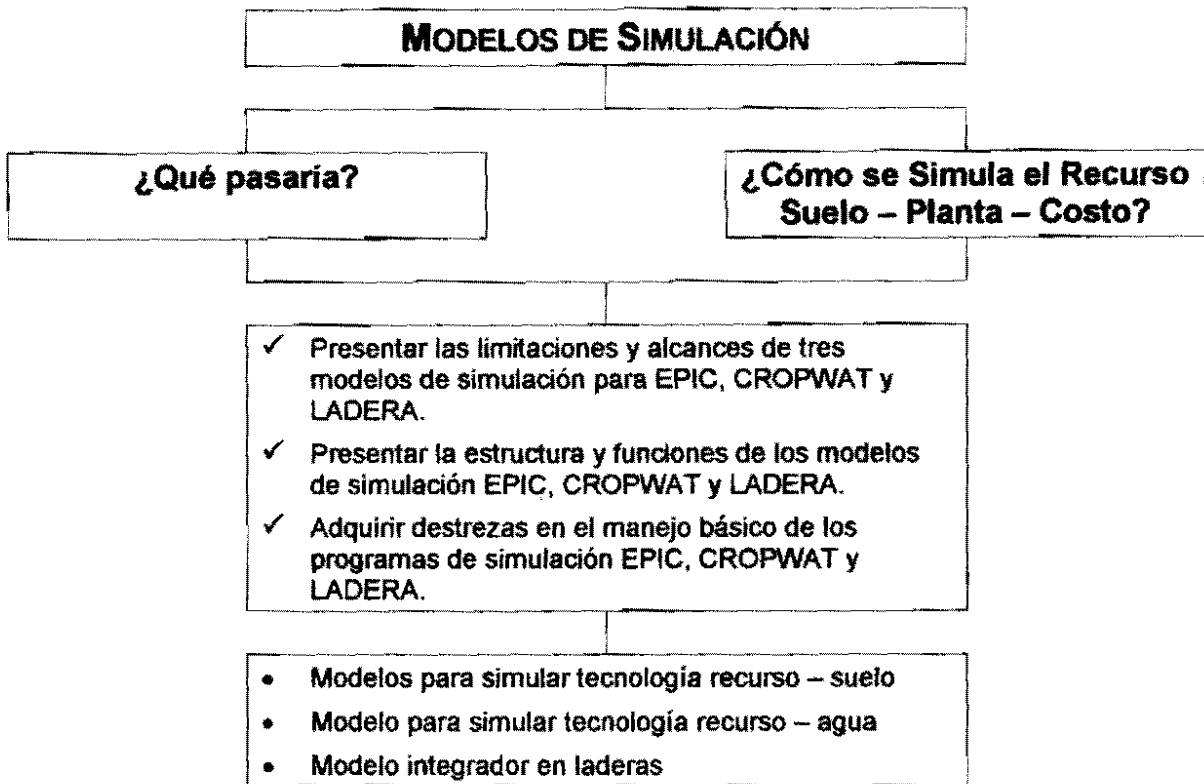


## Sección 2. Modelos para la Simulación de Sistemas de Producción

	Página
Estructura de la Sección.....	2-5
Objetivos.....	2-6
Preguntas Orientadoras.....	2-6
Introducción.....	2-6
2.1 Modelos para Simular Tecnologías de Conservación de Suelos.....	2-6
2.1.1 Environmental Policy Integrated Climate (EPIC).....	2-7
2.1.2 Simulación en el EPIC.....	2-10
2.1.3 Instalación del EPIC.....	2-11
2.2 Un Modelo para Simular Tecnologías que Involucran el Recurso Hídrico ..	2-11
2.2.1 Objetivo del CROPWAT.....	2-11
2.2.2 Estructura del CROPWAT.....	2-11
2.2.3 Aplicaciones del programa.....	2-12
2.2.4 Manejo del modelo CROPWAT.....	2-12
2.2.5 Simulación del CROPWAT.....	2-13
2.2.6 Instalación de CROPWAT.....	2-13
2.3 Modelo Integrador para Evaluación Ex-ante de Tecnologías en Laderas...	2-14
2.3.1 Objetivos del modelo LADERA.....	2-14
2.3.2 Estructura del modelo LADERA.....	2-15
2.3.3 Aplicación del modelo.....	2-20
2.3.4 Utilidad del modelo.....	2-20
2.3.5 Manejo del modelo.....	2-22
2.3.6 Simulación del modelo.....	2-27
Ejercicio 2.1 Utilización de Modelos de Simulación EPIC y CROPWAT.....	2-29
Bibliografía.....	2-33
Originales para Transparencias.....	2-35



## Estructura de la Sección



En esta sección se presentan las características de tres modelos de simulación desarrollados por diferentes instituciones, en especial universidades de Estados Unidos y que se han empleado con éxito en proyectos de investigación en varios países de América Latina por parte de CONDESAN (Consortio para el desarrollo Sostenible de los Andes) y otras instituciones en América Latina, tales como CORPOICA (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria), INIAT (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Perú), y CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical).

EL propósito de la sección es ilustrar las principales características de cada programa en relación con su estructura, uso, ventajas, limitaciones y aplicaciones. Para cada programa se ilustrará la logística de manejo, proponiendo una serie de pasos que permitirán a los usuarios en una primera instancia, introducir, procesar y extraer la información que se considere más relevante en cada uno de los modelos.

Para apoyar el desarrollo de destrezas en el manejo de cada programa se dan las referencias correspondientes a los manuales de cada uno de ellos, así como algunas referencias sobre las aplicaciones de los modelos de simulación en diferentes trabajos de investigación.



## **Objetivos**

- ✓ Presentar las limitaciones y alcances de los modelos de simulación EPIC, CROPWAT y LADERA.
- ✓ Presentar la estructura y funciones de los modelos de simulación EPIC, CROPWAT y LADERA.
- ✓ Adquirir destrezas en el manejo básico de los programas de simulación EPIC, CROPWAT y LADERA.

## **Preguntas Orientadoras**

- 1. ¿Cuál es la aplicación de los modelos de simulación en la toma de decisiones para el manejo de los recursos naturales?
- 2. ¿Cómo se estructuran los modelos de simulación EPIC, CROPWAT y LADERA?
- 3. ¿Cómo se manejan los comandos básicos del software correspondiente a los programas de simulación EPIC, CROPWAT y LADERA?

## **Introducción**

Los programas de simulación son instrumentos prácticos de ayuda a los investigadores y agentes de desarrollo para la toma de decisiones en la evaluación ex-ante.

El uso de los programas aporta elementos técnicos para evaluar el potencial de nuevas tecnologías y fijar prioridades de desarrollo. Además, genera información para evaluar el impacto de las percepciones de los investigadores sobre las tecnologías que se relacionan con la recuperación y conservación de los recursos naturales en especial el agua y el suelo, que son componentes fundamentales en cualquier sistema de producción, en especial, en zonas de laderas. Adicionalmente, el uso de los modelos contribuye significativamente a mejorar la capacidad de análisis de los equipos interdisciplinarios de investigación, ya que facilita la integración de aspectos de productividad, equidad, sostenibilidad y competitividad en una dimensión temporal dinámica (corto, mediano y largo plazo).

### **2.1 Modelos para Simular Tecnologías de Conservación de Suelos**

La no-adopción de las prácticas de conservación de suelo por parte de los agricultores en los países de bajos ingresos, ha sido identificada recientemente como uno de los problemas de alta prioridad, que debe ser resuelto para contener y

controlar la degradación de los mismos. Existe, entonces, la necesidad de aplicar nuevas estrategias en el desarrollo las de tecnologías agropecuarias, en las cuales los investigadores puedan integrar diferentes niveles jerárquicos, contemplar la asignación total de recursos y las interacciones de los subsistemas, en especial el suelo y la productividad.

Existe un considerable número de modelos que simulan la erosión en función de las características del suelo, su uso, las condiciones climáticas y topográficas y las estructuras de costos y mercadeo. Estos modelos permiten simular la pérdida de suelo y la productividad agrícola, al igual que el efecto de implementar prácticas conservacionistas, sobre la disminución de la erosión, la escorrentía y la productividad biológica y económica de los sistemas de producción.

Debido a la aplicabilidad que el EPIC ha tenido en varios proyectos en Colombia, Ecuador y Perú y al apoyo dado por los equipos de investigadores de las Universidades de Texas y Maryland en EE.UU, se presentan a continuación las principales características del modelo.

### **2.1.1 Environmental Policy Integrated Climate (EPIC)**

El EPIC, es un modelo de simulación desarrollado por un equipo de investigadores de tres instituciones: Universidad de Texas, Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) y el Servicio de Conservación de Recursos Naturales.

#### **• Objetivos del EPIC**

El EPIC esta diseñado para:

- Simular procesos biofísicos, ambientales y económicos de especies vegetales.
- Simular procesos erosivos y relacionarlos con la productividad hasta una temporalidad de 100 años.
- Ser aplicable a un gran rango de suelos, climas y cultivos.
- Simular clima, hidrología, condiciones físicas y químicas del suelo, erosión, reciclado de nutrimentos, prácticas de manejo de los cultivos, transporte de pesticidas y nutrimento en el suelo y en el agua, y análisis de costos de producción.

#### **• Estructura del EPIC**

El programa esta estructurado en 10 componentes donde se elaboran 40 funciones matemáticas con base en la interacción de 180 variables. Los componentes son:

##### **Clima**

Integra la información relacionada con la precipitación diaria, las temperaturas máximas y mínimas, la radiación solar, las velocidades del viento, y la humedad relativa, que se toman directamente de una base de datos de metodología o a partir

de valores promedio mensuales. El programa puede calcular los datos mediante un generador de clima basado en un modelo estocástico.

### **Hidrología**

Incluye los fenómenos de escorrentía, percolación y corrientes subterráneas. Igualmente ofrece cuatro métodos para el cálculo de la evapotranspiración total, incluyendo el de Penman–Monteith.

### **Erosión**

En este componente el modelo calcula las pérdidas de suelo ocasionadas por la lluvia y por el viento. En la erosión hídrica ofrece seis modelos: Ecuación Universal de Pérdidas de Suelos (USLE), la Ecuación Universal Modificada de Pérdidas de Suelos (MUSLE), la Ecuación de Foster (AOF), la Ecuación Modificada para Pequeñas Cuencas (MUSS) y dos más que son modificaciones en el coeficiente de erodabilidad de la MUSLE (MUST y MUSI).

### **Química del suelo**

Simula el ciclo del nitrógeno y el fósforo y el movimiento y transformación de fertilizantes, tanto de origen mineral como de origen animal y vegetal.

### **Movimiento de pesticidas**

Simula el movimiento de los pesticidas en el agua y en el suelo.

### **Temperatura en el suelo**

Simula la temperatura en el suelo como una respuesta a las condiciones climáticas, los contenidos de humedad y las características físicas de éste, en variables como la densidad aparente.

### **Prácticas de cultivo**

Considera el efecto de la maquinaria agrícola y de las operaciones de campo sobre el suelo y el cultivo.

### **Fisiología de cultivos**

Este componente simula el crecimiento de una gran variedad de cultivos, árboles y algunas especies forrajeras empleadas como pasturas para animales. El modelo permite cambiar los índices fisiológicos de cada especie e introducir nuevas especies, si es necesario.

### **Manejo del suelo y del cultivo**

Este componente incluye todas las operaciones de campo que se realicen en un cultivo, desde la resiembra hasta la cosecha; pasando por el riego, la fertilización y el control de plagas.

### **Económico**

Este componente calcula la estructura de costos de los cultivos analizados.

- **Aplicaciones del modelo**

El programa ha sido usado en diferentes partes del mundo para análisis ex-ante en proyectos de investigación, existen reportes de trabajos donde se han hecho más de 13.000 combinaciones diferentes de cultivos, suelos, climas, prácticas de conservación, y operaciones de campo. Actualmente se adelanta en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA) un proyecto a nivel nacional para calcular cuánto le cuesta al país la erosión y para ello se emplea el EPIC, Estrada (1998) documenta en dos partes de Colombia el uso del EPIC. En el Anexo 6.1 se incluyen 50 referencias que documentan la aplicación del EPIC en el análisis de los recursos naturales.

- **Manejo del modelo EPIC**

Los elementos básicos para el manejo del EPIC, responden a cuatro comandos, que permiten introducir y procesar datos, presentar los datos de salida y modificar los coeficientes del programa en los componentes de fisiología vegetal y prácticas de manejo del cultivo (fertilizantes, pesticidas y operaciones de campo). Estos comandos son:

*Introducir datos*

EPIC tiene su propia estructura para la introducción de datos, los cuales se deben operar en el orden que la base de datos lo solicita. Para crear e introducir los datos se debe pulsar estando en el submenú de EPIC (C:\EPIC>) con las tres siguientes palabras, separadas por un espacio en blanco; UTIL EPIC NOMBRE DEL ARCHIVO, o sea, si se desea crear un archivo para la región de San Dionisio se puede pulsar: UTIL EPIC DIONISIO, se puede hacer en minúscula o en mayúscula. Una vez se da el comando el programa presentará una estructura de base de datos donde cada celda contiene un dato que debe ser introducido en ella y confirmado con la tecla ENTER. Tenga en cuenta que las primeras tres líneas de la base de datos permiten introducir información referencial al modelo que se está construyendo, esta información es alfanumérica y se introduce en forma de frase y su utilidad es solamente referencial. Para la presentación de la información del modelo. Tecleando UTIL EPIC WS1 se tiene un ejemplo para la rotación trigo, rastrojo, algodón en los EE.UU; o si se tecléa UTIL EPIC MIEL se tiene un ejemplo para las montañas de Florencia en Colombia. Tenga en cuenta que con la tecla F1 el programa le suministrará las ayudas necesarias para la introducción de cada uno de los datos. Para salir del archivo se tecléa F3; si desea volver a entrar al archivo, sólo tiene que pulsar nuevamente UTIL EPIC.

*Procesamiento de datos*

Para el procesamiento de datos, el EPIC presenta un comando de fácil aplicación, solamente se deben pulsar estando en el submenú de EPIC (C:\EPIC>) las letras EWQ NOMBRE DEL ARCHIVO, el comando es muy fácil de recordar ya que las tres letras empleadas son las localizadas en el extremo superior izquierdo del teclado, si se desea procesar los datos del archivo Dionisio se tecléa C:\EPIC>EWQ DIONISIO,

el programa procesará los datos e internamente organizará la información de salida en forma de gráfica o de archivo de salida con extensión Out.

#### *Presentación los datos de salida*

El programa tiene la opción de presentar los datos como archivo texto o como gráficas. Para el primer caso solamente teclee la palabra LIST nombre del archivo con extensión OUT. Para el caso de San Dionisio quedaría C:\EPIC>LIST DIONISIO.OUT, recuerde que se debe incluir la extensión OUT al nombre del archivo. Una vez se da la orden, el programa presenta al usuario un archivo con las características de archivo texto, y con la información de salida. Para la simulación establecida en el modelo, si se desea la información gráfica emplee el archivo de control de gráficas, mediante el comando C:\EPIC> UTIL GRAF <ENTER>, este archivo le permite seleccionar el número de gráficos por pantalla, el máximo aceptado es de 8 y la variable se llama NGRAPH y se ubica en la primera fila y primera columna, desde la segunda fila del archivo en adelante están las variables de salida del programa iniciando con la temperatura máxima mensual, en estas filas es posible cambiar los valores de presentación de los gráficos introduciendo datos en las siguientes comandos: YVAL(1) es el máximo valor en la escala que puede tomar la variable de salida, el comando MARK(1), que permite dar un orden de prioridad en la presentación de los gráficos en la pantalla, para ello asigne el número 1 a la variables de salida del programa que desee que aparezca de primero, el número 2 a la siguiente y, así sucesivamente, hasta completar 8 que es el máximo de gráficos aceptado en la pantalla. El siguiente comando es el ITYPE(1) que permite cuatro formas de gráficas: puntos, líneas continuas, discontinuas, etc. El último comando es DESC(1) que es el número con que EPIC ordena y nombra las variables de salida. Si se desea imprimir los gráfico sólo se teclean simultáneamente la tecla ALT y P, o cuando se opere el programa con el comando EWQ, teclee: C:\EPIC>EWQ NOMBRE DEL ARCHIVO-g, o sea que se agregan el guión y la letra g al comando de procesamiento de datos.

#### *Modificar coeficientes del programa*

Para ello el EPIC ofrece el comando UTIL acompañado del nombre el archivo que se desea modificar, por ejemplo, para modificar los datos fisiológicos de los cultivos se teclea C:\EPIC>UTIL CROP <ENTER>, para modificar los de labranza C:\EPIC>UTIL TILL <ENTER>, para fertilizantes C:\EPIC>UTIL FERT <ENTER> y para pesticidas C:\EPIC>UTIL PEST <ENTER>

### **2.1.2 Simulación en el EPIC**

EL modelo puede simular diariamente cada una de las características de sus componentes. Las funciones empleadas son concebidas con base en factores limitantes, tales como temperatura, agua, y aire. El suelo se puede subdividir hasta en 10 capas con características físicas y químicas diferentes. La simulación ofrece 250 variables de salida, en los diferentes componentes presentados anteriormente.

### 2.1.3 Instalación del EPIC

La versión que se ofrece del EPIC<sup>1</sup> en el presente manual se ejecuta en ambiente DOS, y para la instalación se coloca el disquete No. 1 y se tecléa la palabra **install**. El programa le solicita el disquete No. 2 y presenta la alternativa de cargar las bases de datos de clima existentes en el disquete No. 3.

## 2.2 Un Modelo para Simular Tecnologías que Involucran el Recurso Hídrico

Para la modelación de sistemas donde el recurso hídrico sea de importancia, por ejemplo, los sistemas de riego, cálculo de caudales, y balances hídricos, entre otros, se propone el uso del programa CROPWAT (Programa para planificar y manejar el riego).

El CROPWAT es un programa para IBM-PCs o compatibles con un mínimo de 360 Kb de memoria y se ejecuta en ambiente DOS. Fue desarrollado en 1993 por Martin Smith de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Servicio de Fomento y Ordenación de Recursos Hídricos.

### 2.2.1 Objetivo del CROPWAT

El CROPWAT está diseñado para:

- Calcular la evapotranspiración de referencia, las necesidades de aguas negras de los cultivos, y las necesidades de riego de un sistema
- Preparar alternativas para la programación de riego bajo diferentes hipótesis
- Estimar la producción de los cultivos bajo diferentes condiciones de disponibilidad de agua.

### 2.2.2 Estructura del CROPWAT

El programa se estructura en tres componentes:

#### *Clima*

En este componente, el programa archiva y procesa datos climáticos mensuales de temperatura, humedad, viento, radiación y evapotranspiración. Los archivos generados en este componente son de extensión PEN o CLI.

#### *Cultivo*

---

<sup>1</sup> Mayor información sobre el programa comunicarse con:  
Correo electrónico [mitchell@trceun0.tamu.edu](mailto:mitchell@trceun0.tamu.edu)  
Teléfono (817) 770-8514  
Fax: (817) 770-8561  
Dirección: 808 East Blackland Road Temple, TX 76502

Se procesa información de datos del cultivo en etapas de crecimiento: los coeficientes del cultivo, profundidad de raíces, nivel de agotamiento, y factores de respuesta en los rendimientos. La extensión de estos archivos es CLI

#### *Campo*

Se procesa la información sobre las características físicas del suelo, información sobre la humedad disponible y datos de campo, como fecha de siembra, necesidades de agua de los cultivos, entre otras. La extensión de los archivos es CMP y la creación o modificación de datos se hace a partir del programa CROPWAT.

### **2.2.3 Aplicaciones del programa**

El programa se desarrolló con base en los trabajos realizados por la FAO en varios países de América Latina, África y Asia. Para el efecto, entre 1972 y 1990 se recopiló información en riego y drenaje, en más de 37 cultivos incluyendo árboles, cultivos semestrales y semipermanentes. El programa es concebido para servir como instrumento práctico de ayuda para los profesionales y técnicos en el cálculo de los requerimientos hídricos de los cultivos, en el diseño y manejo de sistemas de riego, igualmente permite la elaboración de recomendaciones para mejorar las prácticas y recomendación del riego en distintas condiciones de abastecimiento de agua.

### **2.2.4 Manejo del modelo CROPWAT**

El programa es de fácil manejo ya que está estructurado en forma de menú. Presenta automáticamente los menús de acuerdo con el cálculo que se desee efectuar, exigiendo, en primera instancia, la introducción de los datos de clima para posteriormente presentar los cálculos de balances hídricos y programación del riego. Los diferentes menús que ofrece el programa son:

#### *Menú principal*

Presenta seis opciones del programa que deben seguirse en orden secuencial, así:

1. Cálculo de la [Eto Penman] – [Monteith (Evapotranspiración total)].
2. Necesidades de agua de los cultivos
3. Programación de riegos.
4. Necesidad de agua del sistema de riego.
5. Regulación de la impresora.
6. Selección de directorios.
7. Salida del CROPWAT.

#### *Menú para el cálculo de la evapotranspiración total*

Este menú permite la entrada de datos climáticos para los cálculos de evapotranspiración, según el método de Penman–Monteith. Los datos requeridos por el menú son:

1. información básica de la estación meteorológica, nombre del país, nombre de la estación, altitud, latitud y longitud.
2. Datos climáticos mensuales sobre temperatura, humedad relativa, radiación solar insolación y velocidad del viento.

#### *Necesidades de agua de los cultivos*

Este menú constituye el elemento central del programa CROPWAT y está dividido en tres partes distintas:

1. La entrada y procesamiento de los datos de evaporación y de precipitación.
2. La entrada y procesamiento de datos de cultivos y fecha de siembra.
3. Los cálculos de las necesidades de agua de los cultivos.

#### *Menú de programación de riego*

Este menú puede ser utilizado una vez se hallan terminado los cálculos de las necesidades de agua de los cultivos y permite:

1. Desarrollar y planificar los programas indicativos de riego, adaptados a las condiciones operacionales de campo.
2. Evaluar los programas de riego de campo, en términos de eficiencia de utilización del agua y de rendimiento.
3. Simular programas de riego de campo en condiciones de déficit hídrico, condiciones de sequía y de riegos complementarios.

#### *Menú de salida de datos del CROPWAT*

El programa presenta los resultados de la simulación de tres formas por pantalla, por impresora o los guarda en un archivo texto. Para seleccionar cualquiera de las tres opciones sólo debe, antes de iniciar el programa en el menú principal, tomar la opción 5: Regulación de la impresora, en esta opción el programa le orientará en la decisión sobre la forma de salida de datos.

### **2.2.5 Simulación del CROPWAT**

El modelo permite establecer los requerimientos hídricos de los cultivos en el sistema de producción, al igual que relacionar los déficits hídricos con la productividad de los cultivos. Las salidas en el modelo CROPWAT para el cultivo de maíz, frijol y tomate en un sistema de riego de la región de Carchi (Ecuador) se ilustran en el Anexo 6.2.

### **2.2.6 Instalación de CROPWAT<sup>2</sup>**

EL programa se encuentra en un disquete de 3.5 con los archivos del programa y un conjunto de archivos de datos. Para ejecutar sólo tiene que introducir el disquete en el Drive A: y pulsar la palabra **install**. El programa automáticamente se instala en el

---

<sup>2</sup> Para mayor información dirigirse a servicios de recursos, fomento y ordenamiento de aguas FAO, Valle delle Terme di Caracalla 00100 Rome, Italy.



disco duro de su computador. Si desea trabajar directamente desde **A:** solo debe pulsar la palabra **CROPWAT**, la cual llama al archivo ejecutable del programa.

## **2.3 Modelo Integrador para Evaluación Ex-ante de Tecnologías en Laderas**

**LADERA** es un modelo de simulación diseñado pensando en la problemática de las zonas de laderas y en los retos, que debe enfrentar el investigador y el agente de desarrollo que trabaja en ellos. Se ha hecho en la forma más sencilla, utilizando información básica que existe en la mayoría de las cuencas o municipios. El modelo se implementa en Lotus 123 por ser una herramienta de cálculo disponible o de fácil acceso. La velocidad de procesamiento depende del equipo disponible y de la versión de Lotus empleada.

### **2.3.1 Objetivos del modelo LADERA**

Se espera que a través del uso del modelo, el investigador y agente de desarrollo que trabajan en finca, cuenca o región, puedan disponer de elementos técnicos que faciliten y orienten la toma de decisiones en los campos siguientes:

- Documentar en forma ex-ante el impacto de sus propias percepciones sobre la conservación de los recursos.
- El trabajo en áreas nuevas del conocimiento, generalmente de largo plazo, en las cuales se tiene menos experiencia. La documentación y visualización sistemática del problema y del impacto de las alternativas tecnológicas, le permitirá un mejor desempeño en la comprensión del problema y, por ende, en el planteamiento de soluciones. Este aspecto es clave para interesar a los políticos y gobernantes sobre el trabajo que se está realizando.
- Contribuir a identificar parámetros de gran importancia en la conservación de los recursos.
- Incluir y documentar sistemáticamente en un sitio o región, nuevos parámetros tecnológicos que son de gran importancia para determinar la factibilidad económica y social de sus recomendaciones. Estos nuevos parámetros, además de contribuir al conocimiento, resolverán problemas que son muy específicos al sitio.
- Obtener recursos financieros para el proyecto de desarrollo integrado del sector agropecuario.
- Los proyectos de investigación y desarrollo deberán concursar por recursos a nivel regional y nacional. Un análisis ex-ante bien documentado le dará una ventaja comparativa al proponente.
- Mejorar su capacidad de análisis.
- Los análisis de uso racional de recursos requieren integrar aspectos de productividad, equidad, sostenibilidad y competitividad y los de corto, mediano y largo plazo. Para esto, se requiere mejorar sustancialmente la capacidad de

análisis de los técnicos al nivel de campo y en las instituciones que toman decisiones y asignan prioridades.

### 2.3.2 Estructura del modelo LADERA

Los principales componentes del modelo se desarrollan con base en los siguientes aspectos del sistema de producción.

- Aspectos biofísicos sobre la conservación del suelo en la finca. Se desarrollan en él las funciones que involucran la erosión y su relación con la productividad de los cultivos. Los elementos constitutivos se presentan a continuación:
- La pérdida de suelo.

Para simular la pérdida de suelo se utiliza la ecuación USLE de Wischmeier y Smith (1978)

$P = RKLSMC$

Donde,

P = Pérdida de suelo en (tonelada métrica/ha)

R = Erosividad de las lluvias (MJ.cm/ha por hr)

K = Erodabilidad del suelo (t.hr/MJ. cm)

L = Longitud de la pendiente (m).

S = Pendiente (%)

M = Manejo del cultivo

C = Prácticas de conservación

La erodabilidad del suelo se calcula con base en formula;

$$K = 2.77 * m^{1.14} * 10^{-6} * (12 - MO) + 0.042(A - 2) + 0.032(D - 3)$$

Donde,

OM = Materia orgánica

M = Índice de textura

A = Tipo de agregados

D = Clase de permeabilidad

Como se observa en las formulas anteriores los factores K y L son más estables a través del tiempo bajo condiciones naturales. Por tanto, el volumen de erosión anual para un suelo determinado, depende de la cantidad total de lluvias, su distribución a través del año y la intensidad de la precipitación. Es de gran importancia la interacción de estos factores con la época en la cual el cultivo se encuentra en la fase de preparación o en los primeros estado de crecimiento, período en el cual el suelo se encuentra descubierto.

El modelo utiliza como información la pérdida de suelo en un año expresado en  $\text{tm/ha}$ . Generalmente esta es información resultante de investigaciones realizadas en la zona. Si no se dispone de información al respecto, se pueden hacer con la información disponible en la región, teniendo en cuenta las variables antes mencionadas.

En el Anexo 6.3, se muestran varios resultados en diferentes países de Latinoamérica. Esta información podría ser una guía teniendo como base la precipitación, la pendiente y el cultivo.

- La interacción entre la erosión acumulada y el rendimiento del cultivo.

Es el aspecto más difícil debido a la falta de información adecuada. Generalmente no existe una relación lineal entre estos dos factores. No se puede asumir que un 50% de pérdida de suelo causa automáticamente una reducción de 50% de los rendimientos y tampoco es cierto que la pérdida de 1 cm de suelo afecta los rendimientos en la misma proporción. En este aspecto hay que considerar dos factores.

1. La pérdida de suelo y su efecto en los niveles de fertilidad, que depende de los nutrientes existentes en los diferentes estratos del perfil del suelo. El efecto de la pérdida de 1 cm de suelo puede ser muy diferente, dependiendo de la profundidad a que se encuentre en el perfil.
2. La capacidad de retención de agua del suelo y su efecto en la productividad agropecuaria.

Además de los efectos de la fertilidad existe el cambio de la capacidad de retención de agua en el suelo. Esta depende básicamente del contenido de materia orgánica y de la textura del suelo. Estos factores no solo afectan los rendimientos, sino que condicionan la utilización de los fertilizantes. En los suelos pobres los agricultores generalmente utilizan materia orgánica como un mecanismo de retención de agua, más que como aporte de nutrientes al suelo.

Generalmente esta relación sólo se puede obtener de un trabajo de investigación en estaciones experimentales o en fincas de productores, pero existen muchas evidencias a nivel de campo que los productores son capaces de identificar y que ayudan a determinar cuál es el factor más limitante.

- Los impactos que los factores biofísicos causan fuera de la finca.

Además de la pérdida de rendimiento de los cultivos los materiales erosionados tienen impacto en otras actividades que son importantes a nivel regional. Entre las principales se pueden mencionar:

1. Tratamiento de sedimentos en acueductos y represas. Cada vez hay más conciencia del daño que causan los sedimentos en los acueductos y represas.

Además, de los insumos utilizados para precipitarlos, el manejo de los sedimentos es un problema creciente en todos los países. Estos acortan la vida útil de las presas y estas se deben diseñar con mayor altura para que la erosión acumulada no perturbe el manejo de las turbinas.

2. Pérdidas de nutrientes del suelo. En el material erodado existe una serie de nutrientes que se pierden. Se podría pensar que esta pérdida influye en los rendimientos y que al analizar la disminución de los mismos se está captando una parte importante del efecto de la erosión. Para los sistemas actuales de producción, con bajos rendimientos y densidades de plantas, esta apreciación puede ser válida, pero existe una gran discusión al respecto, porque con otros sistemas en el futuro esta pérdida puede ser un gran limitante.
  3. Retención de agua en el suelo. En las regiones de ladera generalmente se tiene una precipitación bimodal a través del año. Esto ha hecho que sea relativamente fácil utilizar los ríos y quebradas para suministrar agua a la población. Sin embargo, cada vez más, la disponibilidad de agua en épocas críticas es un problema sentido en todo los acueductos veredales. Esta disponibilidad está muy relacionada con la capacidad del suelo de retener agua permitiendo que las últimas lluvias se puedan utilizar durante la estación seca.
- Los sistemas de producción existentes.

Un conocimiento dominado de los sistemas de producción existentes en la región en estudio es básico para utilizar racionalmente el modelo. Este ha sido diseñado con suficiente flexibilidad para ser utilizado en un sistema típico de producción en zonas de laderas donde existen cultivos intercalados y asociados, rotaciones entre cultivo limpio y rastrojos y, donde los procesos de adopción e impacto son diferentes para estas dos etapas.

El dominio de los sistemas de producción es importante para plantear en mejor forma los análisis al conocer las interacciones del sistema con la utilización de recursos naturales y para predecir la evolución regional en los procesos de adopción. En este aspecto se debe dar énfasis a los siguientes puntos:

- La importancia de los rastrojos en el sistema de producción.

Generalmente se piensa en manejar los problemas de erosión del suelo en la etapa del cultivo limpio donde se obtiene la producción y se le da menor importancia a la época de rastrojo. La reducción paulatina de las áreas está llevando a que los rastrojos jueguen un papel más importante, acelerando el proceso de recuperación. Debido la proporción entre área en cultivos y rastrojos puede ser de mayor importancia alcanzar más eficiencia en la época de rastrojos, con el fin de acelerar la recuperación de la fertilidad, control de las malezas, detener el proceso de erosión en la etapa de cultivo limpio, aumentar la retención de agua en el suelo y la producción directa del cultivo en forraje y leña.

- Los niveles de adopción a través del tiempo.

El conocimiento de los sistemas de producción permitirá tener más elementos de juicio para determinar las curvas de adopción. Los niveles de ingreso, la rentabilidad de las prácticas a nivel de finca, y la localización con relación a vías de comunicación entre otros, permitirá mayor objetividad sobre la evolución de la adopción a través del tiempo y de los valores máximos posibles de adopción en una región o en un sistema de producción.

- Cómo extrapolar los resultados de una finca a una región:

1. Número de unidades que se incorporan a un nuevo proceso. El proceso de cambio tecnológico es gradual y de magnitud diversa a través del tiempo. Algunos estudios muestran que una función logística reproduce bien el proceso, el cual se caracteriza por ser lento en sus primeras etapas, más dinámico a medida que se conocen las bondades de la nueva tecnología que se adopta, su comportamiento y rentabilidad, y finalmente, disminuye su ritmo en las etapas finales hasta estabilizarse.

El desplazamiento anual de la curva logística esta dado por la expresión:

$$K_t = A(1 + e^{-bt})$$

Donde,

- $K_t$  = Es el desplazamiento de la curva en un año dado.
- $A$  = Es la asíntota de la función logística o nivel máximo de adopción
- $b$  y  $B$  = Parámetros de la curva
- $t$  = tiempo

En los procesos de transferencia de tecnología se trata de modificar la curva logística de la adopción. Es posible lograr que el proceso comience más temprano, que se incremente el número de fincas que adoptan la tecnología cada año y aumentar el nivel máximo de la adopción. Como se quiere medir el impacto de un factor específico es necesario generar dos curvas logísticas que representen la evolución del proceso cuando se considera dicho factor.

En el modelo se generan cuatro curvas logísticas; dos para la etapa de cultivos y un número igual para la etapa de rastrojos. Esto ocurre porque se estima que el proceso de adopción es más diferente en la etapa de cultivo limpio que en la etapa de rastrojo y porque además, en cada una de ellas es posible estimular el proceso de adopción a través de acciones de transferencia.

- El impacto a nivel regional

El impacto a nivel regional esta determinado por el incremento en el número de unidades que cada año se incorporan al proceso y por la evolución que cada unidad

logra cuando adopta la nueva tecnología. Por tanto, para llevar los resultados de una unidad de área a una región, se emplean los pasos siguientes:

1. Se estima para la unidad de área (finca o ha.) la evolución del proceso que se tendría cuando se adopta una nueva tecnología.

Para cada una de las variables (pérdida de suelo, productividad de cultivos, retención de agua, etc.) se debe estimar la evolución del proceso. Generalmente los procesos relacionados con conservación de suelos se toman varios años, por tanto, el horizonte de análisis debe ser superior a 25 años.

2. Se determina para cada año el número de unidades que adoptan la nueva tecnología.

A través de las curvas de adopción se determina el número de unidades que adoptan la tecnología. Para esto, se comparan los valores  $K$ , para un año específico y para el año anterior. Esta diferencia es el número de unidades que entraron ese año al proceso.

3. Se determina una matriz de evolución regional. Con base en el número de unidades que adoptan cada año y la evolución de cada una de ellas, se genera una matriz de evolución regional. Esta matriz es necesaria porque la intensidad del proceso a través del tiempo es variable y depende de los años de iniciado. Aunque hace más complejo el modelo, es necesaria para simular los procesos de conservación de recursos. Por ejemplo, la pérdida por erosión en un suelo depende de la textura del perfil y de que generalmente existen varias capas con diferente textura. Por ello la velocidad del proceso es variable a través del tiempo. Si no existiera esta matriz se debería aceptar que en cada año la pérdida de suelo es igual y que el valor anual de la pérdida regional depende del número de unidades que se incorporen en el proceso.

- Como incorporar los análisis de eficiencia económica

Los análisis de eficiencia económica se dividen en dos grupos.

- a. Los que estiman el beneficio del cambio tecnológico.

Con base en los precios de los insumos y productos se estiman los beneficios para la matriz biofísica, tanto para el cultivo limpio como para la etapa de rastrojos. La diferencia entre los beneficios generados por las dos matrices (con y sin estímulos) determina el flujo de beneficios atribuible al cambio tecnológico.

Para poder hacer una comparación válida de un flujo de efectivo el valor de cada año se trae al año inicial. Esto se hace porque el valor del dinero no es el mismo a través del tiempo, teniendo más valor, para la misma magnitud de beneficio, los que se logren más temprano. Para traer todos los valores del flujo al año inicial se utiliza la siguiente fórmula.

$$C = C(t)/(1+R)^t$$

Donde,

C = Capital en el año t

C(t) = Capital en el año t

R = Tasa de interés

Traer todos los valores del flujo de efectivo a un mismo año se conoce como 'encontrar el valor presente de cada año'. La suma de estos valores presentes es el valor presente de una actividad.

El modelo calcula el flujo de efectivo para dos opciones en la etapa de cultivos y dos en la etapa de rastrosos. Estas opciones corresponden a las cuatro curvas de adopción que el modelo considera en cada 'corrida'. Comparando el valor presente de los flujos de efectivo de las dos opciones de cultivos se obtiene el valor presente neto de esta etapa. Caso similar ocurre con la etapa de rastrojo.

b. Los que estiman el beneficio de la inversión institucional en acciones de ladera.

El modelo está diseñado para obtener el beneficio de acciones de investigación o transferencia de tecnología realizadas por las instituciones. Para estimar la eficiencia económica de una de estas acciones se determina el porcentaje de los beneficios regionales que se deben a esa institución y se calcula la inversión de la institución para realizar la acción. El flujo de efectivo (beneficios menos costos) que se obtiene, es la base para encontrar el valor presente neto de la inversión institucional.

### 2.3.3 Aplicación del modelo

El modelo fue desarrollado por Rubén Darío Estrada investigador del CIAT, y su acceso original es gratuito y es una contribución del Consorcio 'ad hoc' de laderas, conformado por CORPOICA, el CIAT y el CIP, al desarrollo con equidad de las zonas de laderas colombianas. Su aplicación se ha dado en proyectos de investigación en Perú y Ecuador.

### 2.3.4 Utilidad del modelo

El modelo está diseñado para evaluar el impacto que una tecnología tendría en una región, tanto en la etapa de cultivo como en la de rastrojo. En este caso el modelo ayudaría a los profesionales que quieran incorporar los aspectos económicos en sus análisis de uso racional de los recursos. El modelo puede ser una herramienta útil para los siguientes estudios:

- Asignar prioridades de investigación en las cuencas del país.

La mayoría de los beneficios de la investigación en cuencas están muy relacionados con la concurrencia en un sitio de los factores que producen el beneficio (aumento en productividad, control de pérdidas por erosión, control de sedimentos en acueductos y represas, entre otros). Con el modelo se puede calcular rápidamente en forma ex-ante cuál sería el beneficio de diferentes tipos de investigación en diferentes cuencas y permitirá hacer una priorización por beneficios biológicos, económicos y sociales. Este ordenamiento haría mucho más eficiente del uso de los recursos a nivel de país y región.

- Hacer análisis ex-ante sobre la conveniencia económica de acciones de transferencia de tecnología.

Los beneficios económicos de la investigación en laderas están muy relacionados con los procesos de transferencia y adopción. El modelo permite analizar cómo serían los beneficios con diferentes curvas de adopción y la importancia de la acciones de transferencia para modificar estas curvas.

- Determinar el intercambio entre acciones de conservación y productividad.

Es muy difícil que en una cuenca determinada se logren aumentos de productividad, al mismo tiempo que se incremente la conservación de recursos. Generalmente el proceso de uso racional de los recursos es un equilibrio donde se considera lo que se gana en productividad por un lado y lo que se pierde en recursos por el otro, o viceversa. El modelo calcula estas magnitudes en sus aspectos biológicos y económicos, lo cual permite tomar una decisión más razonable sobre el uso de los sistemas de producción.

- Determinar el monto de los subsidios y el intercambio entre sectores urbanos y rurales para acciones de conservación de recursos.

Cada vez más la sociedad es consciente de que muchos de los procesos de conservación de recursos deben ser subsidiados para los productores o al menos debe existir un intercambio de recursos entre los consumidores en las ciudades y los productores en el campo. El modelo permite cuantificar la magnitud de estos intercambios y la determinación de los subsidios para que estos sean inferiores a los beneficios totales generados por las diferentes acciones.

- Determinar la ruta crítica en las acciones de conservación.

Cada acción de conservación genera un flujo de beneficio que difiere dependiendo de las condiciones de la cuenca. A través del modelo se pueden simular diferentes acciones y curvas de adopción que permiten tener un flujo positivo a través del tiempo, haciendo más viable el proceso. A través de este mecanismo se puede diseñar una ruta crítica que permite balancear acciones y gastos operativos.



- Analizar el impacto de políticas de uso de la tierra

A través del modelo es posible calcular el beneficio obtenido por acciones de política de uso de tierras. Estimar el impacto que se tendría, por ejemplo, con la movilización de pobladores de zonas de ladera con suelos pobres a áreas más planas con suelos profundos. Con base en el modelo se podría calcular el impacto ambiental, el aumento en productividad y en los ingresos de la sociedad y los productores.

### 2.3.5 Manejo del modelo

Para facilidad del usuario el modelo LADERA trabaja empleando menús y submenús. El programa se puede 'correr' desde el disco duro o desde un disquete. Para trabajar con él se debe entrar en Lotus 123 e invocar el archivo Laderas. Una vez cargado el programa en Lotus se invoca el menú principal tecleando simultáneamente las teclas [ALT] y [M] (Figura 2.1).

El menú principal esta compuesto de 16 opciones. En la pantalla aparecen en primer lugar ocho opciones en las cuales aparecen SEGUIR y TERMINAR. Para invocar las siguientes ocho opciones se teclaea la opción SEGUIR.

1. Entrada de datos. Opciones del menú principal

El menú principal consta de las siguientes opciones.

#### 1PARAM

Esta opción carga al programa los parámetros relacionados con la profundidad de suelo y las áreas en los respectivos cultivos. Al pulsar 1param, el programa pide en secuencia:

- a. La profundidad del suelo, en cm.
- b. El área total en cultivos, en ha.
- c. El nombre del primer cultivo.
- d. El área del primer cultivo en, ha.
- e. El nombre del segundo cultivo.
- f. El área del segundo cultivo en, ha.
- g. El nombre del tercer cultivo.
- h. El área del tercer cultivo en, ha.
- i. El área en rastrojo en, ha.

Existen tres alternativas de cultivo para poder simular cultivos asociados. Por tanto, el área total en cultivos puede ser inferior a la suma de las áreas de todos los cultivos. Cuando el análisis se quiera hacer para un solo cultivo los valores de *f* y *h* deben ser cero.

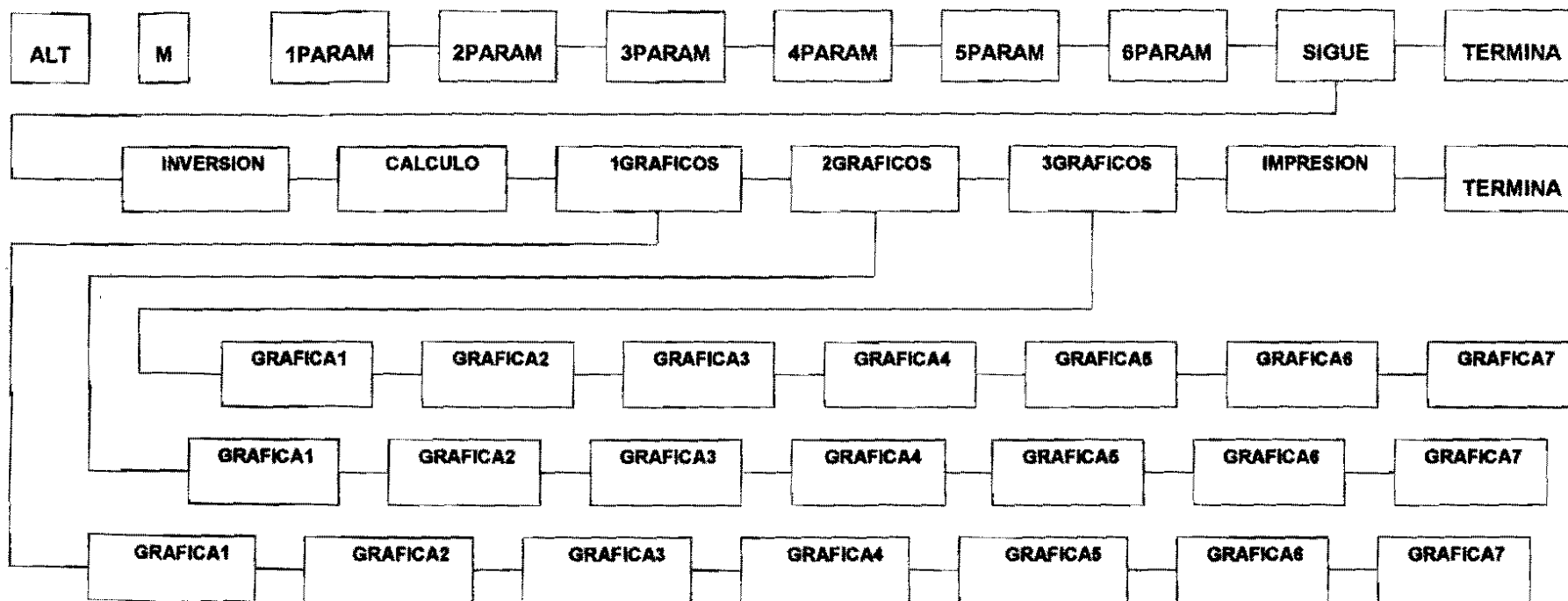


Figura 2.1 Diagrama del menú principal del Modelo LADERA.

## PARAM

La opción 2param carga al programa los parámetros relacionados con los rendimientos de los diferentes cultivos a través del tiempo. Al pulsar 2param el programa pide en secuencia:

- . Rendimiento del primer cultivo, en tm/ha.
- . Rendimiento del segundo cultivo, en tm/ha.
- . Rendimiento del tercer cultivo, en tm/ha.
- . La producción de forraje del rastrojo nativo, en ton/mes por ha.
- . La producción de forraje del rastrojo mejorado, en ton mes por ha.
- . La producción adicional de leña en área de cultivos, en tm/ha.
- . La producción adicional de leña en área de rastrojo, en tm/ha.
- . La duración de la parcela en cultivos, en años.
- . La duración de la parcela en rastrojos, en años.
- . La reducción de tiempo que se puede lograr en un rastrojo en años.
- . La reducción de riesgo en la producción de cultivos, que se puede lograr a través de una retención mayor de la humedad generada por la acumulación de materia orgánica en la época que de la parcela permanece el rastrojo (materia seca) en %.
- . La conversión de forraje en leche, en lt/kg de MS

## PARAM

La opción 3param carga al programa los parámetros relacionados con la pérdida de suelo. Al pulsar 3param el programa pide en secuencia :

- . Pérdidas de suelo, sin prácticas de conservación, cultivo en los primeros 12 años, (ton/ha por año).
- . Pérdidas de suelo, sin prácticas de conservación, en la etapa de cultivos entre los 13 y 24 años, (ton/ha por año).
- . Pérdidas de suelo, sin prácticas de conservación, en la etapa de cultivos entre los 25 y 35 años, (ton/ha por año).
- . Pérdidas de suelo, con prácticas de conservación, en la etapa de cultivo en los primeros 12 años, (ton/ha por año).
- . Pérdidas de suelo, con prácticas de conservación, en la etapa de cultivos entre los 13 y 24 años, (ton/ha por año).
- . Pérdidas de suelo, con prácticas de conservación, en la etapa de cultivos entre los 25 y 35 años, (ton/ha por año).

Una secuencia similar se utiliza para las pérdidas de suelo sin y con prácticas de conservación en la etapa de rastrojo.

## PARAM

La opción 4param carga al programa los parámetros relacionados con la pérdida de productividad en los diferentes cultivos a medida que se va perdiendo suelo. Al pulsar 4param el programa pide en secuencia :

- a. Pérdida de productividad anual sin prácticas de conservación del primer cultivo en los primeros 12 años, en porcentaje.
- b. Pérdida de productividad anual sin prácticas de conservación del primer cultivo de 13 a 24 años, en porcentaje.
- c. Pérdida de productividad anual sin prácticas de conservación del primer cultivo de 25 a 36 años, en porcentaje.
- d. Pérdida de productividad anual con prácticas de conservación del primer cultivo en los primeros 12 años, en porcentaje.
- e. Pérdida de productividad anual con prácticas de conservación del primer cultivos de 13 a 24 años, en porcentaje.
- f. Pérdida de productividad anual con prácticas de conservación del primer cultivo de 25 a 35 años, en porcentaje.

Una secuencia similar se utiliza para el segundo y tercer cultivo, sin y con prácticas de conservación.

### **5PARAM**

La opción 5param carga al programa los parámetros relacionados con la retención de agua en el suelo, el porcentaje de los acueductos y represas afectados por sedimentos y los nutrientes del suelo perdidos. Al pulsar 5param el programa pide en secuencia:

- a. Retención de agua en rastrojo los primeros 12 años, ( $m^3/ha$  por año).
- b. Retención de agua en rastrojo de los 13 a los 24 años, ( $m^3/ha$  por año).
- c. Retención de agua en rastrojo de los 25 a los 35 años, ( $m^3/ha$  por año).
- d. Sedimentos que afectan agua de acueductos los primeros 12 años, (porcentaje).
- e. Sedimentos que afectan agua de acueductos de los 13 a 24 años, (porcentaje).
- f. Sedimentos que afectan agua de acueductos de los 25 a los 35 años, (porcentaje).
- g. Sedimentos que afectan agua de represas los primeros 12 años, (porcentaje).
- h. Sedimentos que afectan agua de represas de los 13 a 24 años, (porcentaje).
- i. Sedimentos que afectan agua de represas de los 25 a los 35 años, (porcentaje).
- j. La concentración de nitrógeno en el tipo de suelo perdido los primeros 12 años en g/tm.
- k. La concentración de nitrógeno en el tipo de suelo perdido entre los 13 y los 24 años en g/tm.
- l. La concentración de nitrógeno en el tipo de suelo perdido entre los 25 y 35 años en g/tm.

Una secuencia similar se utiliza para las pérdidas de fósforo y potasio.

### **6PARAM**

La opción 6param carga al programa los parámetros relacionados con los precios de insumos y productos. Al pulsar 6param el programa pide en secuencia:

- a. El precio del primer cultivo, en US\$/ton.
- b. El precio del segundo cultivo, en US\$/ton.
- c. El precio del tercer cultivo, en US\$/ton.
- d. El precio de la leche fresca, en US\$/ton.
- e. El precio del nitrógeno, en US\$/ton de N.
- f. El precio del fósforo, en US\$/ton de P.
- g. El precio del potasio, en US\$/ton de K.
- h. El precio del agua, en US\$/m<sup>3</sup>.
- i. El costo del tratamiento de los sedimentos en acueductos, en US\$/ton. de sedimento.
- j. El costo del tratamiento de los sedimentos en las represas, en US\$/ton. de sedimento.
- k. El precio de la leña, en US\$/ton.
- l. El incremento anual en el precio del agua, en porcentaje.
- m. El incremento anual en el precio de la leña en porcentaje.

## **SIGUE**

Con esta opción se da acceso a las siguientes opciones:

## **LOGISTIC**

Esta opción permite cargar al programa los parámetros para la estimación de la función de adopción de la nueva tecnología. En orden de secuencia de los parámetros para una curva de adopción son los siguientes.

- a. Porcentaje de adopción en el período inicial para la tecnología tradicional utilizada en cultivos.
- b. Tiempo en el cual se logra este porcentaje de adopción, en años.
- c. Porcentaje de adopción en el período final para tecnología tradicional utilizada en cultivos.
- d. Tiempo en el cual se logra este porcentaje de adopción, en años.
- e. Valor de la asíntota de la función K (corresponde al máximo valor que puede alcanzar R a través del período de difusión). Se expresa como: 1 + porcentaje máximo alcanzado.

Una secuencia similar se sigue para la función de adopción de la tecnología mejorada en cultivos para las tecnología tradicional y mejorada en rastrojos.

## **INVERSION**

Empleando esta opción se entran al modelo las inversiones o gastos necesarios para garantizar el funcionamiento de la acción que se esta evaluando. La inversión se debe expresar en millones de dólares. Inicialmente el modelo solicita la tasa de descuento y el porcentaje de los beneficios que se pueden atribuir a la institución. El modelo permite incluir gastos de inversión por 20 períodos, tanto para los cultivos como para los rastrojos. Para finalizar el flujo de gastos en un año determinado se utiliza el número 999.

## **CALCULO**

Una vez determinados los diferentes grupos de parámetros, se procede al cálculo mediante la opción **cálculo**. Inicialmente cuantifica todos los aspectos biológicos y económicos para la época de cultivo, posteriormente para la época de rastrojos y por último analiza la eficiencia económica de la inversión en las acciones realizadas de ladera. Toda la etapa es automática y es imposible parar el proceso después de cada tipo de cálculo.

### **2.3.6. Simulación del modelo**

Los resultados del modelo se pueden obtener en pantalla y por impresión. En el caso se presentan las opciones siguientes:

- **1GRAFICOS.** Se compone de un juego de seis gráficas que se encuentran relacionados con la pérdida de suelo, la productividad por unidad de área y con los procesos de adopción.
- **2GRAFICOS.** Se compone de un juego de siete gráficas donde se muestra los resultados después de los procesos de adopción en cultivos y rastrojos a nivel regional.
- **3GRAFICOS.** Se compone de un juego de siete gráficas donde se muestran los resultados a nivel regional y los respectivos cálculos económicos.
- **Impresión.** En los resultados por impresora se logra la siguiente información para caracterizar la 'corrida' respectiva:
  1. Cuadros de información básica.
  2. Cuadros de resultados biológicos en cultivos
  3. Cuadros de resultados económicos en cultivos
  4. Cuadro de resultados biológicos en rastrojos
  5. Cuadros de resultados económicos en rastrojos
  6. Las impresiones de las gráficas por pantalla.
- **TERMINAR.** Existen dos opciones **terminar**. Cada una de ellas en el grupo de ocho opciones. Con 'terminar' localizado en el primer grupo de opciones se da por terminada la sección de cálculos y con el segundo se dan por terminadas las acciones que se realizan en el segundo grupo.

#### **Nota:**

Para hacer cambios después de una 'corrida', el usuario debe ir al grupo de parámetros que desea cambiar. Para todos los parámetros con excepción de los referentes a la inversión en investigación o transferencia, el modelo asume que la última información es la base para la corrida siguiente.



## **Ejercicio 2.1 Utilización de Modelos de Simulación EPIC y CROPWAT**

### **Objetivo**

Este ejercicio está diseñado para que los participantes adquieran destrezas en el uso de los comandos básicos de los modelos de simulación EPIC y CROPWAT.

### **Orientaciones para el Instructor**

1. Dependiendo del número de computadores disponibles y del número de participantes, divídalos en grupos de mínimo dos y máximo cuatro personas y ubique cada grupo en un computador que disponga de los programas EPIC y CROPWAT.
2. Entregue la hoja de instrucciones donde se definen los parámetros del modelo a simular.
3. Pida a los participantes que ejecuten el programa y revisen las salidas del mismo.
4. Solicite a los miembros de los grupos que cambien los coeficientes empleados en el modelo y observen las variaciones de las soluciones planteadas por el modelo. Las variaciones son las propuestas en la hoja de instrucciones.
5. Solicite en cada grupo que retomen una de las preguntas elaboradas en el Ejercicio 1.1 y la solución mediante el uso de los modelos.
6. En plenaria solicite a los grupos que presenten los resultados obtenidos, así como un resumen de las dificultades encontradas en el uso de los modelos.

### **Recursos necesarios**

- Hoja de instrucciones para cada uno de los participantes.
- Computadores con los programas EPIC y CROPWAT instalados. Su número dependerá de la capacidad logística y del número de participantes en el evento. Procure destinar un equipo para dos o tres personas. En cuanto al Software, tenga en cuenta que en la guía se acompañan dos disquetes para la instalación del EPIC y un disquete con CROPWAT. Igualmente se entrega un disquete con los ejemplos tanto para EPIC como para CROPWAT. En la Sección 3 se ilustra el procedimiento de instalación para cada programa.
- 'Videobeam'
- Papelógrafo y papel
- Marcadores

*Tiempo sugerido: 4 horas.*



## **Ejercicio 2.1 Utilización de Modelos de Simulación EPIC y CROPWAT**

### **Objetivo**

Este ejercicio está diseñado para que los participantes adquieran destrezas en el uso de los comandos básicos de los modelos de simulación EPIC y CROPWAT.

### **Instrucciones para el Participante**

1. Conforme grupos de trabajo, de acuerdo con las instrucciones del orientador. Cada grupo va a disponer de un computador donde están instalados los programas EPIC y CROPWAT.
2. El grupo trabajará en primera instancia en el programa EPIC, para ello se deben basar en el archivo denominado LADERA, el cual servirá de guía para la aplicación de los comandos básicos. Con base en las instrucciones presentadas en la Sección 2 Manejo del Modelo EPIC, ejecute los comandos UTIL EPIC LADERA, EWQ LADERA y LIST LADERA.OUT
3. Cambie los parámetros de pendiente en valores de 10%, 30%, 50%, 70%, y el coeficiente de prácticas de conservación en valores de 0.4, 0.6 y 0.9 y emita juicios en términos de la pérdida de suelo por erosión hídrica en cada uno de los escenarios generados por los cambios.
4. Evalúe la dinámica de pérdida de suelo a través del tiempo. Para ello cambie el parámetro de tiempo de la simulación en el archivo LADERA para 1, 5, 10, 20, 50 y 100 años.
5. Para el programa CROPWAT, con base en las instrucciones de la Sección 2: Manejo del Programa CROPWAT, trabaje el archivo LADERA y determine, para las condiciones dadas, las necesidades de agua para el cultivo de maíz, el cual se siembra el día 1 del mes de marzo.
6. Retome una de las preguntas formuladas en el Ejercicio 1.1 y proponga una serie de pasos donde se empleen los programas de simulación EPIC, y CROPWAT para dar respuesta a la pregunta seleccionada.
7. Los grupos presentan los resultados en plenaria, haciendo énfasis en la dificultades encontradas en el momento de manejar los modelos y en los pasos propuestos por el grupo para responder a la pregunta relacionada con la toma de decisiones en el manejo de los recursos naturales.

*Tiempo: 3 horas.*

## **Ejercicio 2.1 Utilización de Modelos de Simulación EPIC y CROPWAT – Información de Retorno**

### **Orientaciones para el Instructor**

Los comandos básicos para la ejecución del programa EPIC son:

- Para la introducción de datos y/o modificación de ellos, se debe estando en el directorio C:\>\ EPIC>, pulsar el comando UTIL EPIC LADERA Y ENTER. Aparecen en la pantalla los datos correspondientes al ejemplo 'laderas'. Mediante el uso de las flechas (cursor), usted se puede desplazar por las diferentes celdas de la base de datos. Identifique la celda correspondiente a la duración de la simulación, la cual se encuentra en la parte superior izquierda del archivo (Number of years of simulation), la variable pendiente (Slope steepness metros/metros), y la variable correspondiente al coeficiente de prácticas de conservación de suelo (Erosion control practice). En cada una de estas celdas se cambian los parámetros solicitados en la hoja de trabajo. Para ello sólo se debe pulsar ENTER, introducir el dato y desplazarse con la flecha. Una vez se termina de cambiar los datos se oprime la tecla F3, con el fin de salvar la información y salir de la base de datos
- Para ejecutar el programa se debe estar en el directorio de EPIC y pulsar las letras EWQ, dejar un espacio y el nombre del archivo que para el caso del ejercicio es LADERA. Posteriormente se oprime la tecla ENTER. El programa ejecutará los comandos automáticamente y presentará en pantalla los resultados mediante gráficas.
- Para leer los resultados se debe pulsar en el directorio EPIC el comando LIST LADERA.OUT, inmediatamente aparecerá la información de salida del programa, en este archivo se puede desplazar mediante el uso de flechas o las teclas PAGE UP o PAGE DOWN. Identifique en el archivo la variable USLE la cual informa sobre las toneladas de suelo pérdidas por erosión hídrica en un año.

La salida del modelo CROPWAT se ilustra a continuación.

1. Resultados del balance hídrico en el cultivo de maíz.
  - Datos de cultivo empleados en el balance.

<b>Etapas de crecimiento</b>	<b>Inicial</b>	<b>Desa.</b>	<b>Media</b>	<b>Final</b>	<b>Total</b>
Duración [días]	30	50	60	40	180
Coefficiente cultural [Kc coef]	0.30	->	1.05	0.80	
Profundidad de raíces [metro]	0.35	->	0.80	0.80	
Nivel de agotamiento [frac]	0.70	->	0.70	0.70	
Respuesta en el coef. rendimiento Ky	0.40	1.50	0.50	0.20	1.25

- Evapotranspiración y necesidades de agua del cultivo de maíz en el primer semestre

Los datos resultantes son calculados para las condiciones de un año normal.

Archivo de clima: Ladera

Estación meteorológica: Ladera

Cultivo: Maíz

Fecha de siembra: 1 marzo

<b>Mes</b>	<b>Década</b>	<b>Etapas</b>	<b>Coef.</b> (Kc)	<b>ETc</b> (mm/día)	<b>ETc</b> (mm/dec)	<b>Pref</b> (mm/dec)	<b>NER</b> (mm/día)	<b>NER</b> (mm/dec)
Marzo	1	init	0.30	0.83	8.3	18.9	0.00	0.0
Marzo	2	init	0.30	0.82	8.3	22.0	0.00	0.0
Marzo	3	init	0.30	0.81	8.1	21.4	0.00	0.0
Abril	1	deve	0.38	1.01	10.1	20.8	0.00	0.0
Abril	2	deve	0.53	1.40	14.0	20.2	0.00	0.0
Abril	3	deve	0.68	1.80	18.0	20.1	0.00	0.0
Mayo	1	deve	0.83	2.19	2.9	20.6	0.13	1.3
Mayo	2	deve	0.97	2.59	25.9	20.9	0.51	5.1
Mayo	3	mid	1.05	2.78	27.8	16.9	1.09	10.9
Junio	1	mid	1.05	2.77	27.7	12.9	1.48	14.8
Junio	2	mid	1.05	2.76	27.6	9.0	1.87	18.7
Junio	3	mid	1.05	2.88	28.8	7.4	2.14	21.4
Julio	1	mid	1.05	3.00	30.0	5.9	2.41	24.1
Julio	2	mid	1.05	3.12	31.2	4.3	2.69	26.9
Julio	3	late	1.02	3.07	30.7	4.5	2.62	26.2
Agosto	1	late	0.96	2.92	29.2	4.6	2.46	24.6
Agosto	2	late	0.89	2.77	27.7	4.8	2.29	29.9
Agosto	3	late	0.83	2.55	25.5	6.0	1.95	19.5
<b>Total</b>					<b>400.8</b>	<b>241.0</b>		<b>216.5</b>

Etc = Evapotranspiración (por 1 día o por 10 días)

NER= Necesidades de riego (por 1 día o por 10 días)

Dec = Década (10 días)

init = Etapa inicial del cultivo

deve= Etapa de desarrollo del cultivo

mid = Etapa media del cultivo

late = Etapa final del cultivo

## **Bibliografía**

CIAT 1992. Trends in CIAT Commodities. Working Document No 111. Cali, Colombia.

Estrada, R. D. 1993. Planteamiento y resolución de conflictos en la cuenca del río Combeima. Corpoica, Santa fé de Bogotá.

Estrada, R.D. Incidencia de las políticas económicas en la conservación de los recursos de la zona andina. CONDESAN, Perú. REPAAN.

Estrada R. D. et al. 1998. Modelo para el análisis de opciones de desarrollo en la cuenca alta del río Doña Juana – La Victoria, Caldas. Colombia. Informe a COLCIENCIAS, Santafé de Bogotá. 14 p.

Greenland, D. J.; Bowen, H. 1994. Soil, Water and Nutrent Management Research. Citado por Jacqueline A. Ashby et al. en documento Mejoramiento en la aceptabilidad de practicas de conservación de suelos por los agricultores Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).

Lindarte, E.; Benito, C. 1993. Sostenibilidad y agricultura de ladera en América Central, cambio tecnológico y cambio institucional. IICA, san José 118 p.

Luzt, E, et al 1991 Lessons from economic and institutional analyses of soli conservation projects in Central America and the Caribbean p. 1 -19.

Obando, M.; Moltavan, D. 1991. Technical and economic analysis of a soil conservation in Nicaragua.

Rose, C. W. ; Williams, J.R. A mathematical model of soil erosion and deposition processes. Soil Sci. Soc. Am. J. 47(5): 991-995.

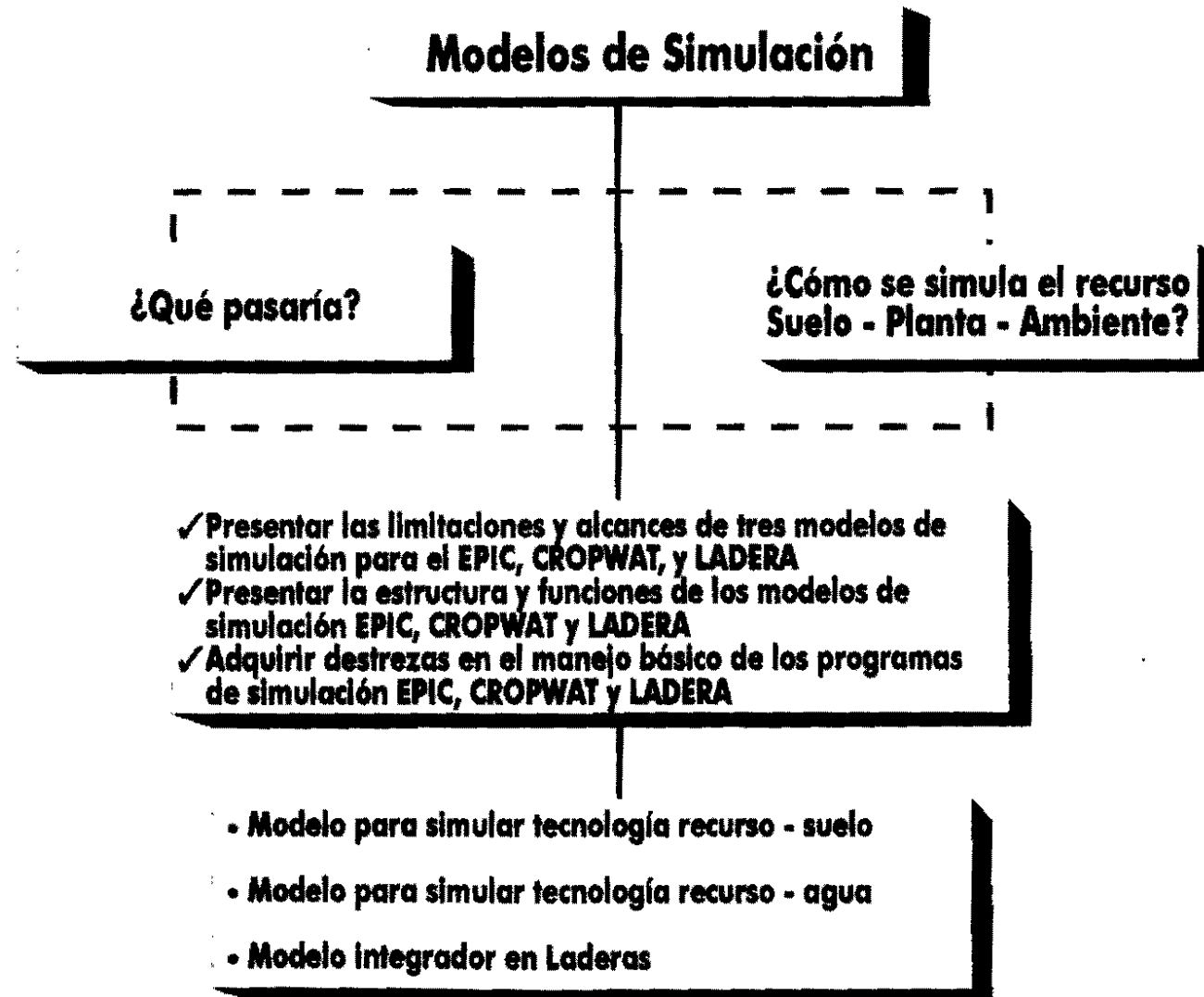
Sharpley, A. N.; William J.R. EPIC Model Documentation USDA Tech. Bull No 1768 p235.

Williams, J.R. 1989 EPIC crop growth model. Trans ASAE 32(2): 497 - 511.

Willian, J. R.; Chairman. J. 1981. Soil Water Conservation. National Soil Erosion-soil Productivity Research Planning Committee, Science and Education Administration Agricultural Research 36 (2): 82-90.

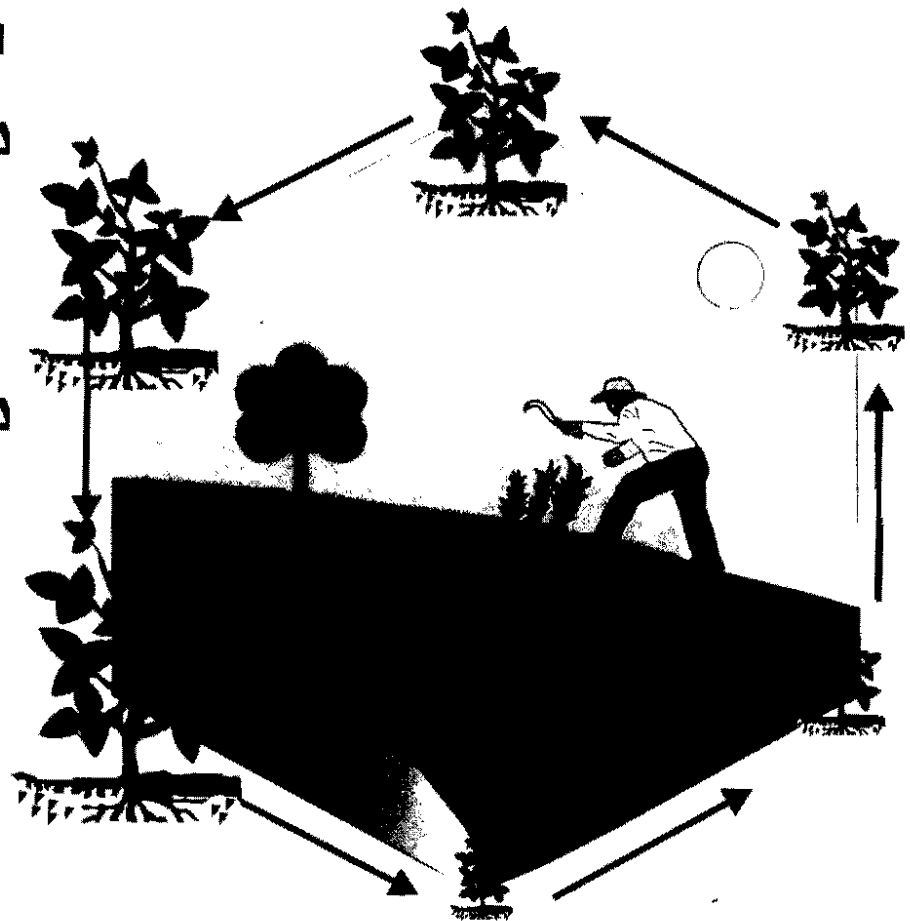
## **Originales para Transparencias**

# Estructura de la Sección

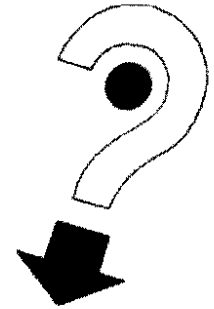


# Objetivos de la Sección

- ✓ Presentar las limitaciones y alcances de tres modelos de simulación para el EPIC, CROPWAT y LADERA
- ✓ Presentar la estructura y funcionamiento de los modelos de simulación EPIC, CROPWAT y LADERA
- ✓ Adquirir destrezas en el manejo básico de los programas de simulación EPIC, CROPWAT y LADERA

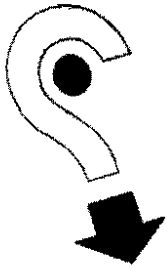


# Preguntas Orientadoras



1

**¿Cuál es la aplicación de los modelos de simulación en la toma de decisiones para el manejo de los recursos naturales**



2

**¿Cómo se estructuran los modelos de simulación EPIC, CROPWAT y LADERA?**

3

**¿Cómo se manejan los comandos básicos del software correspondiente a los programas de simulación EPIC, CROPWAT y LADERA?**





# **Estructura Sección 2 para los Modelos EPIC, CROPWAT, LADERA**

---

- ✓ Objetivo**
- ✓ Aplicación**
- ✓ Estructura**
- ✓ Manejo**
- ✓ Simulación**
- ✓ Instalación**

# **EPIC**

## **Enviromental Policy Integrated Climate**

---

- Simular procesos biofísicos, ambientales y económicos**
- Simular procesos erosivos (100 años)**
- Ser aplicable a un gran rango de suelos, climas y cultivos**
- Simular clima, hidrología y contaminación**

# CROPWAT

---

- ✓ **Calcular la evapotranspiración**
- ✓ **Calcular necesidades de agua**
- ✓ **Estimar la producción bajo diferentes condiciones de disponibilidad de agua**

# LADERA

---

- ✓ **Documentar el impacto sobre el manejo de los recursos naturales**
- ✓ **Identificación de parámetros en la construcción de suelos**
- ✓ **Simular tasas de adopción**
- ✓ **Simular erosión**

## Sección 3

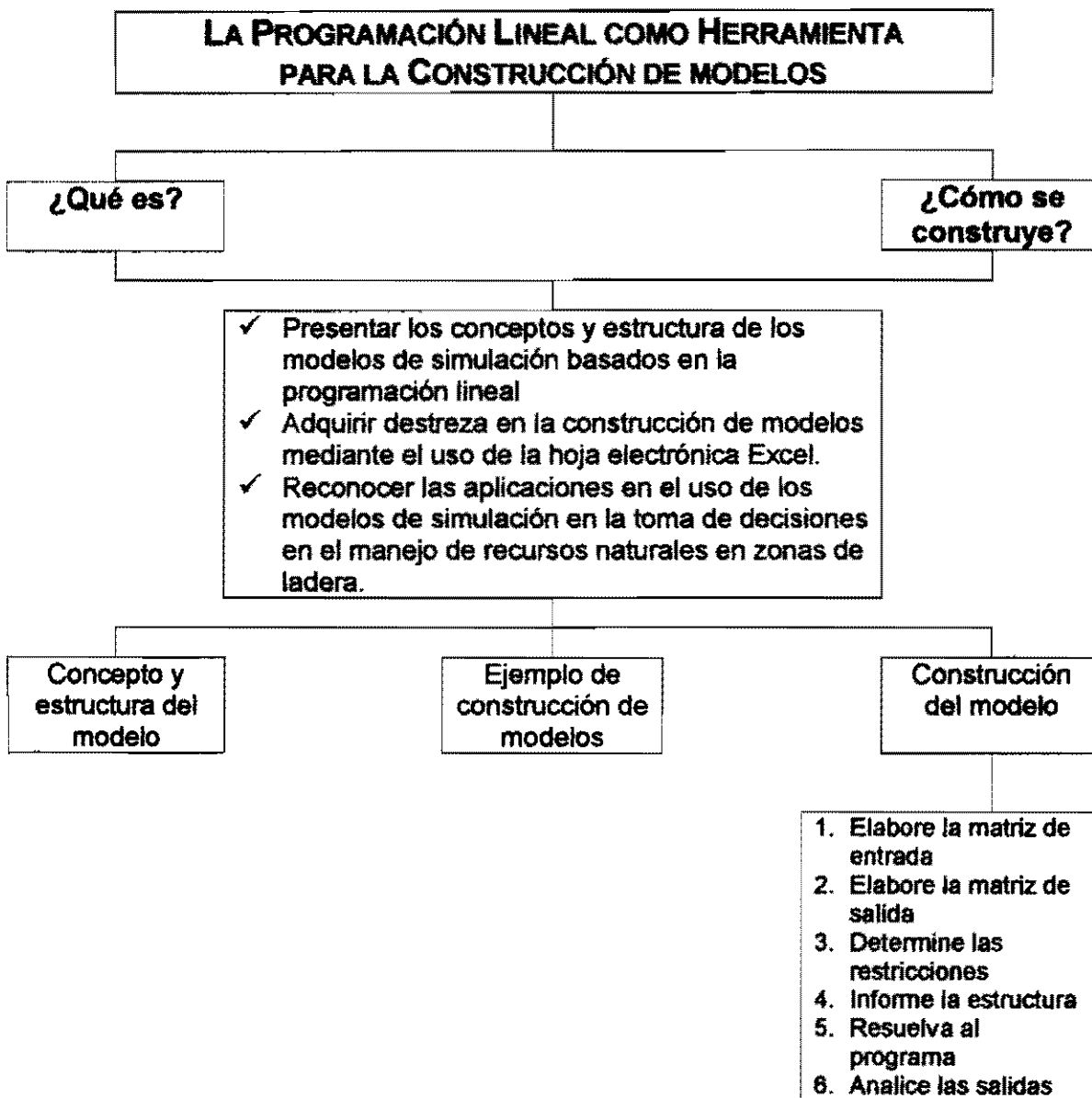
# La Programación Lineal como Herramienta para la Construcción de Modelos



## Sección 3. La Programación Lineal como Herramienta para la Construcción de Modelos

	Página
Estructura de la Sección.....	3-5
Objetivos.....	3-6
Preguntas Orientadoras.....	3-6
Introducción.....	3-6
3.1 Programación Lineal.....	3-7
3.2 Ventajas y Limitaciones en el Uso de los Modelos de Programación Lineal.....	3-8
3.3 Modelo Matemático de Programación Lineal.....	3-8
3.3.1 Estructura general del modelo.....	3-8
3.4 Construcción del Modelo.....	3-10
3.4.1 Definición de las actividades.....	3-11
3.4.2 Definición de la función objetivo.....	3-11
3.4.3 Definición de las restricciones.....	3-11
3.5 Utilización de la Hoja Electrónica para la Construcción del Modelo de Programación Lineal.....	3-14
3.5.1 Elabore la matriz.....	3-14
3.5.2 Elabore la matriz de salida de datos.....	3-16
3.5.3 Determine las ecuaciones de las restricciones.....	3-17
3.6 Informe al Programa sobre la Estructura del Modelo.....	3-17
3.6.1 Resolver el modelo.....	3-20
3.7 Análisis de Sensibilidad.....	3-21
3.8 Ejemplos de Construcción de Modelos a Nivel de Finca.....	3-22
3.8.1 Modelo en donde se incluye autoconsumo de algún producto.....	3-22
3.8.2 Modelo en donde se limitan jornales.....	3-22
3.8.3 Modelo en donde se contratan o venden jornales.....	3-25
3.8.4 Modelo anual con cultivos semestrales.....	3-26
3.8.5 Modelo anual con cultivos permanentes.....	3-26
Ejercicio 3.1 Construcción de un Modelo de Optimización para la Evaluación Ex-ante de Alternativas Tecnológicas.....	3-29
LINGO.....	3-40
Bibliografía.....	3-43
Originales para Transparencias.....	3-45

## Estructura de la Sección



La sección 3 responde a dos preguntas relacionadas con la construcción de modelos para la simulación mediante la programación lineal. Estas preguntas son: ¿Qué es la programación lineal? y ¿Cómo se construyen los modelos en programación lineal?.

Esta sección presenta, en primer término, los conceptos y los elementos constitutivos de un modelo basado en la programación lineal, resaltando las ventajas y limitaciones de este tipo de modelos, así como el campo de aplicación. Para presentar el concepto se desarrolló un ejemplo de asignación de recursos en una finca con los cultivos de maíz y frijol.

El segundo componente de la sección tiene que ver con una propuesta metodológica para la construcción de modelos mediante el uso de la programación lineal. Se propone como herramienta el uso de la hoja electrónica Excel. Para ello la sección muestra el desarrollo de seis pasos donde los dos primeros se relacionan con la conformación de la matriz de entrada de datos y la matriz de salida de las soluciones. El tercer paso indica la forma como se determinan las restricciones del modelo. El cuarto se relaciona con la forma como se informa al programa Excel sobre la estructura del modelo construido. El quinto paso presenta la forma como se ejecuta el modelo y el último paso presenta la forma como el modelo ofrece soluciones al usuario.

El tercer componente ofrece al usuario de la guía una serie de ejemplos comunes en la construcción de modelos de programación lineal, en casos como la introducción al modelo de jornales contratados, la compra de jornales, la consideración del autoconsumo y la consideración de cultivos con una temporalidad mayor a 6 meses, entre otros.

## **Objetivos**

- ✓ Presentar los conceptos y la estructura de los modelos de simulación basados en la programación lineal.
- ✓ Adquirir destreza en la construcción de modelos mediante el uso de la hoja Excel.
- ✓ Reconocer las aplicaciones en el uso de los modelos de simulación en la toma de decisiones en el manejo de los recursos naturales en ladera.

## **Preguntas Orientadoras**

1. ¿Qué es la programación lineal?
2. ¿Cuáles son los elementos de un modelo?
3. ¿Cómo se construye un modelo mediante programación lineal?

## **Introducción**

En esta parte se hace referencia a la aplicación de la programación lineal para la evaluación Ex-ante. El fin es permitir a los investigadores y agentes de desarrollo tomar decisiones a partir del análisis, planteamiento y desarrollo de un modelo matemático proveniente de un sistema de producción específico. El modelo matemático a desarrollar mediante la programación lineal permite el planteamiento de problemas que se caracterizan por la necesidad de asignar recursos limitados al sistema (tierra, mano de obra, capital, recursos naturales) y



obtener mediante su desarrollo soluciones óptimas de acuerdo con un objetivo propuesto.

La programación lineal, en sentido matemático, estudia la optimización de una función lineal sujeta a desigualdades lineales y es la aplicación del álgebra de matrices a la solución de ecuaciones mediante la utilización de algunas reglas que aseguran que la solución satisface todas las restricciones y permite obtener los mejores resultados frente al objetivo propuesto.

Uno de los principios básicos del análisis de sistemas consiste en que este se debe realizar con la colaboración de las personas que conocen a fondo las particularidades del sistema y es de especial utilidad cuando existe la necesidad de emplear eficientemente los recursos escasos de un cultivo, finca, cuenca, región.

De acuerdo con Bergren (1982) las etapas esenciales para el uso de modelos matemáticos para la solución de problemas son los siguientes:

1. Análisis y formulación del problema.
2. Desarrollo de un modelo matemático que represente el problema.
3. Derivación de una solución del problema.
4. Prueba del modelo y de la solución derivada.
5. Establecimiento de controles sobre la solución.
6. Implementación de la solución

### **3.1 Programación Lineal**

La programación lineal fue desarrollada y aplicada por primera vez en 1947, cuando George B. Dantzing y Marshall Wood de la Fuerza Aérea de los EE.UU. fueron encargados de investigar la posibilidad de aplicar técnicas matemáticas a la programación militar y a los problemas de planeación. Se propuso un modelo que dio origen a la programación lineal. Las interrelaciones entre las actividades de una organización son tratados como un modelo lineal y el programa de optimización fue determinado minimizando una función lineal objetiva.

Son múltiples los campos de aplicación de la programación lineal en el sector agropecuario, pero una de las aplicaciones típicas es la de asignar recursos limitados, tales como área a utilizar, mano de obra, suministro de agua, y capital de trabajo, en forma tal que se optimice algún componente entre ellos: los costos de producción, la mano de obra utilizada, la rentabilidad de la producción, y las utilidades los recursos naturales empleados.

Adicionalmente, el modelo de programación lineal permite ejecutar análisis de sensibilidad frente a diferentes opciones, tales como mayor o menor disponibilidad de los factores de producción involucrados, cambios en la estructura de costos o modificación del precio de los productos que afecta el ingreso neto. De la misma

manera, el modelo permite comparar actividades con mejoras tecnológicas o sin ellas y sus resultados indican el tipo de cambios que debería ocurrir en la estructura del sistema de producción, si se incorpora la alternativa tecnológica.

## 3.2 Ventajas y Limitaciones en el Uso de los Modelos de Programación Lineal

### Ventajas

- Se identifican aquellas acciones de desarrollo tecnológico de mayor impacto potencial inmediato y de mejores relaciones costo beneficio, orientadas a la definición de prioridades por parte del equipo investigador.
- Se obtiene una respuesta rápida estimada del resultado de la interacción de diversos factores, aspecto que, por la vía experimental, llega a ser, inclusive, imposible de ejecutar por el tamaño del diseño factorial que requeriría o por el número de años necesarios para su elaboración.
- Reducción en el costo de la experimentación y en el tiempo que deben invertir los investigadores a nivel de campo.

### Limitaciones

- Como en todo proceso de simulación, se requiere de información disponible y confiable.
- La programación lineal supone linealidad, es decir, que si con 100 kilogramos de fertilizante nitrogenado se cosechan 10 toneladas de forraje verde, con 300 kilogramos se cosecharán 30 t; lo cual en la realidad podría sobrestimarse debido a la ley de los rendimientos decrecientes.
- No existe suficiente desarrollo metodológico para incluir variables (cualitativas) de manejo o de gestión.

## 3.3 Modelo Matemático de Programación Lineal

La programación lineal se ocupa del estudio de la optimización —maximización o minimización— de una función lineal de varias variables, la cual esta sujeta por un conjunto de inecuaciones lineales de varias variables. A la función que se debe optimizar le llamaremos **función objetiva**, mientras que a las inecuaciones les llamaremos **restricciones o limitaciones**.

### 3.3.1 Estructura general del modelo

#### • Función lineal

La función  $F(x)$  en las variables  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, \dots, x_n$  es lineal por que el exponente de las variables es igual a 1, puede ser expresada como:

$$F(x) = a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + \dots + a_nx_n$$

Las siguientes expresiones son lineales:

$$c = 2X_1 + 2X_2 + X_3 - 4X_4$$
$$5X_1 + 3X_2 - 4X_3 - 2X_4 \geq 80$$

Para el análisis del sistema finca la función del modelo puede ser la de ingresos brutos, la estructura de costos, la cantidad de jornales, etc. A manera de ejemplo se expresa la función de ingresos brutos:

Margen bruto = Ingresos Brutos – Costos variables

$$F(x) = 16.7 \cdot (X_1) + 314.5 \cdot (X_2) + 104.2 \cdot (X_3) + 67.25 \cdot (X_4) + 79.5 \cdot (X_5) - 0.8 \cdot (X_6) + 0.7 \cdot (x_7)$$

F(X) = Margen bruto de la finca (\$)

X1 = área sembrada en maíz (ha)

X2 = área sembrada café (/ha)

X3 = área sembrada en frijol (/ha)

X4 = área sembrada en caña (/ha)

X5 = área sembrada en yuca (/ha)

X6 = Número de jornales contratados (/ha)

X7 = Número de jornales que el productor vende fuera de la finca (/ha)

Las constantes que acompañan a las variables (\$116.7/ ha , \$314.5 /ha, \$104.2/ha...) son iguales a la venta de la producción del cultivo en una hectárea en 1 año menos los costos de producción del cultivo en una hectárea en un año determinado.

#### • Actividades

Son las variables estructurales del modelo (X1, X2, X3, X4...Xn) y corresponden a las diferentes alternativas que se puede realizar en el modelo, para el caso del modelo finca estas actividades serán los cultivos del sistema de producción, maíz, millo, tabaco, sorgo y pasturas, los cuales pueden ser monocultivos, cultivos asociados, intercalados o rotaciones de cualquier periodo vegetativo, semestral, anual o permanentes. Igualmente pueden incluir actividades como compra de jornales, venta de jornales o, en la parte pecuaria, pueden ser número de animales (unidades de gran ganado) o aves. El cálculo se puede hacer por una ave o por una vaca o por numero de vacas en una hectárea, etc. Lo importante es mantener el mismo criterio por actividad al estructurar el modelo en cada una de sus restricciones es decir si se trabaja en producción por hectárea por año hay que formular todas las ecuaciones en esta forma.

- **Restricciones**

Son los nombres de los diferentes recursos productivos que tiene el sistema. Incluye los recursos limitantes impuestos tanto por las capacidades biológicas y económicas del sistema, como las consideraciones del productor o las políticas en una región. Las restricciones más usadas en la construcción del modelo matemático a nivel de finca son: el capital con que cuenta el productor, la mano de obra familiar disponible en un periodo de tiempo determinado, la cantidad de tierra disponible, el autoconsumo en la finca, la cantidad de jornales que puede comprar, la máxima pérdida de suelo permitida en un cultivo en la finca, la cantidad de agua para riego, la máxima carga animal por hectárea, etc.

- **Solución factible**

Es cualquier conjunto de valores positivos para las variables  $x_1, x_2, x_3, x_4, \dots, x_n$ ; que cumple cada una y todas las restricciones del modelo matemático de programación lineal. En caso contrario, es decir, no cumple la condición de no negatividad o alguna de las restricciones, se define como no-factible.

- **Solución óptima**

Es el conjunto de valores para las variables  $x_1, x_2, x_3, x_4, \dots, x_n$  que satisfacen el criterio de factibilidad y optimizan la función objetivo del modelo matemático de programación lineal.

- **Limites a las actividades**

Son restricciones a los valores que pueden tomar las variables, se colocan normalmente en la ultima fila de la matriz en dos casillas una con la palabra **MAX**. En ella se coloca el máximo valor que puede tomar la variable, o sea el límite superior de una actividad, la otra casilla esta marcada con la palabra **MIN** en ella se coloca el limite inferior de una actividad. Es muy usada en el caso de autoconsumo, ya que así obliga al modelo a incluir la actividad en un valor mínimo de forma tal que garantice la producción destinada al autoconsumo.

### 3.4 Construcción del Modelo

El modelo se construye como una matriz de doble entrada en donde se cruzan las actividades productivas del sistema analizado con las restricciones a las cuales está sometido. Para entender la estructura del modelo se presenta un ejemplo:

Consideremos una finca con las siguientes características: 10 hectáreas de superficie (aptas para sembrar maíz y frijol), 585 jornales /semestre como mano de obra disponible y US\$2000 /semestre de capital. Los requerimientos para sembrar 1 hectárea de maíz son 55 jornales y US\$230 de capital, mientras que

para sembrar el frijol se requieren 124 jornales por cada hectárea y US\$330. El ingreso neto por hectárea de maíz es de US \$85. y por frijol US \$176. De acuerdo con las características regionales del mercado, existe un alto riesgo de deprimir los precios del frijol, si se siembran más de 4 hectáreas de este.

### 3.4.1 Definición de las actividades

Para el presente caso: Maíz (el área que se siembra en hectáreas); Frijol (el área que se siembra en hectáreas).

### 3.4.2 Definición de la función objetivo

Será el ingreso neto que se recibe en la finca por una cosecha (semestre) y se define como:

$$F(X) = 85 \cdot \text{MAIZ} + 176 \cdot \text{FRIJOL} \quad \text{MAX}$$

se buscará el máximo ingreso en la finca, por tal razón, la función se maximiza.

### 3.4.3 Definición de las restricciones

El modelo esta sometido a cuatro restricciones ('constraints'):

- **Tierra**

Esta primera restricción se estructura en el modelo mediante una desigualdad en donde se dice que el área sembrada en maíz ( $1 \cdot \text{MAIZ}$ ) sumada al área sembrada en FRIJOL ( $1 \cdot \text{FRIJOL}$ ) puede ser como máximo igual a 10 hectáreas. Es importante anotar que el valor de la constante que acompaña a las variables es igual a 1, esto debido a que ambos cultivos tienen la misma oportunidad de ocupar la finca en valores que van desde 0 hasta 10 hectáreas. La ecuación que representa esta primera restricción es:

$$\text{TIERRA} \quad 1 \cdot \text{MAIZ} + 1 \cdot \text{FRIJOL} \quad \leq 10$$

- **Capital**

Esta restricción le indica al modelo cuál es la cantidad de dinero disponible para realizar las diferentes actividades del sistema. En este caso, el máximo de dinero a emplear es US\$2000. Estos se pueden repartir ya sea para el cultivo de MAÍZ, para el FRIJOL o para una combinación de ambos. Los requerimientos de capital para cada una de las actividades son de US\$230 por hectárea de MAÍZ y US\$330 por hectárea de FRIJOL. La ecuación que define esta restricción se construye de la forma siguiente:

$$\text{CAPITAL} \quad 230 \cdot \text{MAIZ} + 330 \cdot \text{FRIJOL} \quad \leq 2.000$$

Obsérvese que la desigualdad se construye como una suma de los requerimientos de capital del cultivo de maíz más los requerimientos de capital del cultivo del frijol, en este caso las constantes que acompañan a cada un de las variables son iguales a la cantidad de dinero que consume cada actividad (US\$230/hectárea para maíz y US\$330/ha para frijol). La desigualdad empleada fue de menor o igual ( $\leq$ ) esto debido a que la cantidad de capital disponible es de US\$2000 y, por tanto, lo que se puede gastar debe ser menor o como máximo igual a la cantidad disponible en la finca.

- **Mano de obra**

En esta restricción se plantean los limitantes en uso de mano de obra disponible para realizar las labores en los cultivos. Su construcción es similar a la restricción de capital y se define como la desigualdad siguiente:

$$\text{MANO DE OBRA } 55 \cdot \text{MAIZ} + 124 \cdot \text{FRIJOL} \leq 585$$

Observe que la constante que acompaña a las variables es igual a los requerimientos de jornales para obtener 1 hectárea en cada una de las actividades, 55 jornales/hectárea para el caso de maíz y 124 jornales/hectárea para el frijol. Esta cantidad de jornales es igual a la suma de los jornales empleados en cada una de las actividades de producción de los cultivos durante su período vegetativo, (preparación de terreno, siembra, prácticas culturales, cosecha, etc.)

- **Restricción de frijol**

El problema plantea que como máximo se pueden sembrar 4 hectáreas en frijol, debido a situaciones de mercado. La forma como se estructura la desigualdad es la siguiente

$$\text{REST. FRIJOL } 1 \cdot \text{FRIJOL} \leq 4$$

Observe que en esta desigualdad el coeficiente de la variable MAÍZ es cero (0) y por tanto, no aparece en la ecuación, el coeficiente de la variable FRIJOL es 1 ya que se representa el hecho que el área en frijol no puede ser mayor que 4 hectáreas, la variable puede tomar cualquier valor entre 0 y 4 hectáreas.

Finalmente la matriz quedaría estructurada de la siguiente forma:

Actividad Restricción	Maíz	Frijol	Desigualdad	Disponible
Función objetivo	85	176		
Tierra	1	1	$\leq$	10
Capital	230	330	$\leq$	2.000
Mano de obra	55	124	$\leq$	585
Máximo	10	4		
Mínimo	0	0		

La Figura 3.1 representa gráficamente las diferentes posibilidades de producción del ejemplo presentado. En dicha figura, la línea superior señala las diferentes posibilidades de uso del recurso tierra (10 ha) con los dos cultivos; es decir, si se siembran 10 ha de maíz, no es posible sembrar frijol.

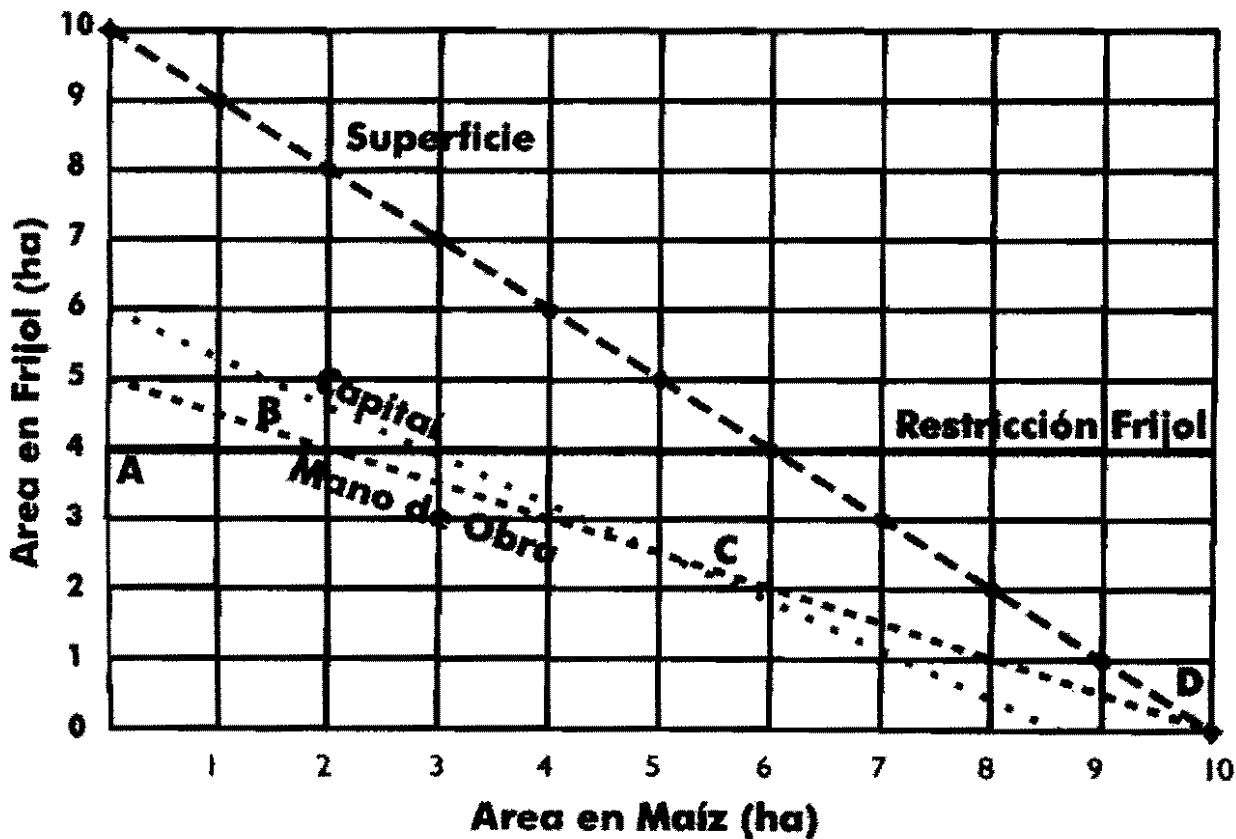


Figura 3.1 Representación de los factores de producción obtenidos con el uso de programación lineal.

La línea capital muestra que con el dinero disponible podría sembrarse como máximo 6 ha con frijol y 8.7 ha con maíz.

Los extremos de la línea mano de obra, indican el número máximo de hectáreas que podrían sembrarse con frijol (4.7 ha) y en maíz ( 10.6 ha), a partir de los jornales disponibles. A lo largo de esta línea se representa la manera como podría repartirse esa mano de obra, para manejar diferentes áreas de terreno con los dos cultivos.

La línea restricción frijol muestra que de este cultivo debería sembrarse como máximo 4 ha.

Solo dentro de la zona sembrada (bajo la línea ABCD), es posible encontrar una solución factible, en el sentido que no es restringida por ninguno de los factores considerados. A lo largo de la línea AB el factor dominante es la restricción por frijol, mientras que a lo largo de la línea BC es la mano de obra y a lo largo de la línea CD lo es el capital. Ahora bien, el punto óptimo que logra el mayor ingreso neto, se encuentra a lo largo de la línea ABCD y se detecta calculando el ingreso en cada punto y seleccionando el de mayor valor que para el ejemplo es el punto C con una siembra de 5.2 ha de maíz y 2.4 ha de frijol.

### **3.5 Utilización de la Hoja Electrónica para la Construcción del Modelo de Programación Lineal**

La hoja electrónica Excel, al igual que Lotus y Qpro, contienen un macro automático llamado **solver** el cual permite la solución matemática de los modelos de programación lineal. Para ello es necesario realizar los pasos siguientes:

#### **3.5.1 Elabore la matriz**

Todos estos paquetes de programación solicitan como información una matriz en donde se ubiquen las restricciones, actividades y la función objetivo; la matriz se estructura en forma tal que en las columnas están las actividades del sistema con la característica y en la última se localizan los valores disponibles en cada una de las restricciones (tierra, capital, mano de obra, etc.). En las filas se escriben las ecuaciones de las restricciones al igual que la ecuación de la función objetivo. Esta distribución es similar en todos los paquetes y hojas electrónicas.

Con el fin de unificar el 'software' se propone para este documento el empleo de hojas electrónicas tales como Lotus, Qpro, o Excel. En el Cuadro 3.1 se presenta un ejemplo de construcción de un modelo de programación lineal.



**Cuadro 3.1 Ejemplo de construcción de un modelo de programación lineal.**

	A	B	C	D	E	F
1						
2		Actividades				
3	Restricciones	Maíz	Frijol	Desigualdad	Disponible	
4	Función objetivo	85	176			
5	Tierra	1	1	≤ =	10	
6	Capital	230	330	≤ =	2000	
7	Mano de obra	55	124	≤ =	585	
8						
9	Máximo	10	4			
10	Mínimo	0	0			
11						
12	Cantidad					
13						

Esta es la matriz donde se cruzan las actividades en cada una de las restricciones. En la función objetivo es importante observar la consistencia de las unidades, ya que para cada actividad se dan en valores para 1 hectárea (\$/hectárea, jornal/hectárea) y existe consistencia en cada una de las restricciones: Tierra en hectáreas, Capital en US\$, Mano de obra en jornales, Ingreso en US\$.

En la primera columna se colocan las indicaciones que permitan reconocer cada una de las restricciones. En las columnas siguientes se colocan los coeficientes de las variables en cada una de las restricciones. En la penúltima columna se colocan los valores de las desigualdades que pueden ser (<, >, =, <=, >=) y en la última columna se presentan los valores disponibles de cada uno de los recursos del sistema.

La primera fila de la matriz (fila 4 en la hoja electrónica) contiene la ecuación de la función objetivo de forma tal que cada uno de sus valores estén en cada uno de las actividades propuestas.

En la segunda fila de la matriz (fila 5 en la hoja electrónica) se ubica la restricción de tierra con los coeficientes de uno (1) tanto para frijol como para maíz y la desigualdad de <= al valor disponible de este recurso 10 hectáreas.

En la tercera fila (fila 6 en la hoja electrónica) se ubican los coeficientes de la restricción de capital, la desigualdad y el valor disponible de capital con que cuenta la finca. De igual forma se colocan las demás restricciones del modelo.

Una vez se han ubicado todas las restricciones se procede a crear la fila de cantidad, escribiendo la palabra cantidad en la primera columna (fila 12 para la hoja electrónica) y dejando libre de cualquier valor las celdas correspondientes a esta fila (Cuadro 3.1).

La fila **cantidad** se utiliza el modelo para ubicar los valores respuesta del cálculo realizado por el programa. En esta fila aparecen los valores de las variables analizadas que cumplen con las restricciones del modelo y que permiten optimizar la función objetivo.

En la parte inferior de la matriz se ubican los límites inferiores (mínimo, fila 10) y superiores (máximo, fila 9) de cada una de las variables. En este caso, el límite superior para el maíz es de 10 hectáreas mientras que para el frijol es de 4 hectáreas debido a su restricción por mercado, el límite inferior en ambas actividades es de cero (0) ya que no existe restricción que obligue a la actividad a tomar un valor mínimo.

### 3.5.2 Elabore la matriz de salida de datos

Una vez constituida la matriz de información inicial es necesario duplicarla en la parte inferior de la hoja electrónica. Para ello se vuelve a colocar en la primera columna las filas de **FUNCION OBJETIVO** (celda A15 de la hoja electrónica), **TIERRA** (celda A16 de la hoja electrónica), **CAPITAL** (celda A17 de la hoja electrónica), y **MANO DE OBRA** (celda A18 de la hoja electrónica), los valores de la celda B15 hasta la celda C18 son el producto de multiplicar la matriz inicial por la fila de **CANTIDAD**, las fórmulas se ilustran en el Cuadro 3.2.

Cuadro 3.2 Matriz de salida de datos.

A	B	C
Función objetivo	+B4 * B\$12	+C5 * C\$12
Tierra	+B5 * B\$12	+C6 * C\$12
Capital	+B6 * B\$12	+C7 * C\$12
Mano de obra	+B7 * B\$12	+C8 * C\$12

Para escribir las formulas, el procedimiento más fácil es escribir la primera formula en la celda B15 (+B4 \* B\$12) y copiarla en las demás celdas correspondientes a todas las restricciones.

### 3.5.3 Determine las ecuaciones de las restricciones

Una vez se ha duplicado la matriz de trabajo se realizan las sumas de cada una de las filas correspondientes tanto a la función objetivo como a cada una de las restricciones. Para ello, en la columna de TOTALES se emplea la función suma de la hoja electrónica desde B15 hasta C15. Las ecuaciones respectivas se ilustran en la Cuadro 3.3.

**Cuadro 3.3 Ecuaciones empleadas para determinar las restricciones del modelo.**

	A	B	C	D	E	F
15	Función objetivo	+B4 * B\$12	+C4 * C\$12			=SUMA(B15:C15)
16	Tierra	+B5 * B\$12	+C5 * C\$12		10	=SUMA(B16:C16)
17	Capital	+B6 * B\$12	+C6 * C\$12		2000	=SUMA(B17:C17)
18	Mano de obra	+B7 * B\$12	+C7 * C\$12		585	=SUMA(B18:C18)

Adicionalmente, se copiaron los valores disponibles en la columna E de la hoja electrónica con un coeficiente de 10 para la restricción de tierra en la celda E16, 2000 para la restricción de capital en la celda E17 y 585 para la restricción de mano de obra en la celda E18.

Finalmente, la hoja electrónica queda conformada como aparece en el Cuadro 3.4.

### 3.6 Informe al Programa sobre la Estructura del Modelo

Una vez se estructura la matriz se le debe indicar al programa los rangos de cada una de las ecuaciones. Para ello, se activa en el programa el menú de herramientas, utilizando el comando SOLVER. Este comando es un macro automático. Si el computador no facilita este comando, se activan los macros automáticos en el comando de solver. Sino aparece es necesario cargar el programa.

Una vez se activa el comando solver aparecerá en pantalla el menú que se muestra en la Figura 3.2.

Cuadro 3.4 Estructura del modelo de programación lineal.

	A	B	C	D	E	F	G
1							
2							
3	Restricciones	Maíz	Frijol	Desig	Disp.	Totales	
4	Función objetivo	85	176				
5	Tierra	1	1	≤ =	10		
6	Capital	230	330	≤ =	2000		
7	Mano de obra	55	124	≤ =	585		
8							
9	Máximo	10	4				
10	Mínimo	0	0				
11							
12	Cantidad						
13							
14							
15	Función objetivo	+ B4 x B\$ 12	+ C4 X C\$12			= SUMA (B15:C15)	
16	Tierra	+ B5 x B\$ 12	+ C5 X C\$12	10		= SUMA (B16:C16)	
17	Capital	+ B6 x B\$ 12	+ C6 X C\$12	2000		= SUMA (B17:C17)	
18	Mano de obra	+ B7 x B\$ 12	+ C7 X C\$12	585		= SUMA (B18:C18)	
19							
20							

### Parámetros del Solver

Valor de la celda objetivo

Máximo  
  Mínimo  
  Igual a:

Cambiando las celdas

Sujeta a las siguientes restricciones:

Figura 3.2 Parámetros del solver.

La información solicitada es:

**Celda Objetivo**

En esta casilla se debe escribir la celda en donde esta la formula que totaliza el aporte de cada una de las actividades a la función objetivo. Esta celda se determinó en el paso anterior 3 (Cuadro 3.4) y es la celda F15 (=SUMA(B15:C15)).

**Valor de la celda objetivo**

El programa presenta tres opciones; Maximizar, Minimizar o igualar la función objetivo, en el ejemplo que se esta desarrollando se selecciona Maximizar, mediante el uso del mouse.

**Cambiando las celdas**

En esta celda se indica la fila en donde se crearon las cantidades para cada una de las actividades. Al dar la formula es necesario anclar las celdas mediante el signo \$, con el fin de facilitar cambios en la estructura del modelo permitiéndole a este siempre reconocer estas celdas como las de la cantidad, en el ejemplo se teclearía \$B\$12:\$C\$12

**Restricciones**

En esta casilla se incluyen todas las restricciones a las que está sometido el modelo. Para ello el menú presenta tres opciones; Agregar, cambiar, eliminar. Con el Mouse se selecciona la orden deseada por ejemplo Agregar. En ese momento el computador presentará en pantalla el menú, el cual se ilustra en la Figura 3.2. La celda titulada Referencia de la celda localizada a la izquierda del menú es para ubicar en ella el resultado de la suma para cada restricción de la contribución de cada una de las actividades. Por ejemplo en el caso de la restricción de TIERRA, el valor a ubicar en la celda es el calculado en el paso anterior (3 tabla 1) ó sea la celda F16 (mirar tabla 1). En la parte central se selecciona la desigualdad de la restricción que puede ser <, >, <=, >=, =. El valor a ubicar en la parte derecha del menú debajo de la leyenda de Restricción es el valor disponible que se encuentra en la columna E de la hoja electrónica y que para el caso de la restricción de TIERRA es la celda E16 Figura 3.2. Las restricciones de CAPITAL y MANO DE OBRA se introducen de igual manera.

**Restricciones de máximos y mínimos valores**

Para poder informarle al modelo sobre los valores máximos y mínimos de las variables se emplean las siguientes ecuaciones: Para los valores Máximos:  $SB\$12:SC\$12 \leq SB\$9:SC\$9$  y para los valores mínimos  $SB\$12:SC\$12 \geq SB\$10:SC\$10$

### Agregar Restricción

<b>Referencia de la celda</b>		<b>Restricción</b>
	<div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px 10px;"> <math>\leq =</math> </div> <div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px 5px; vertical-align: middle;">             ↓           </div>	
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 100px; margin: 0 auto;">Aceptar</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 100px; margin: 0 auto;">Cancelar</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 100px; margin: 0 auto;">Ayuda</div>

Figura 3.2 Menú para agregar restricción.

**3.6.1 Resolver el modelo**

Una vez se ha construido la matriz y se han establecido los parámetros exigidos por el solver, se procede a resolver el problema de programación lineal del modelo, para ello se activa el comando RESOLVER ubicado en la parte superior derecha del menú parámetro del SOLVER.

El computador realiza los cálculos matemáticos propios de la programación lineal y ofrece un menú tal como se ilustra en la Figura 3.3.

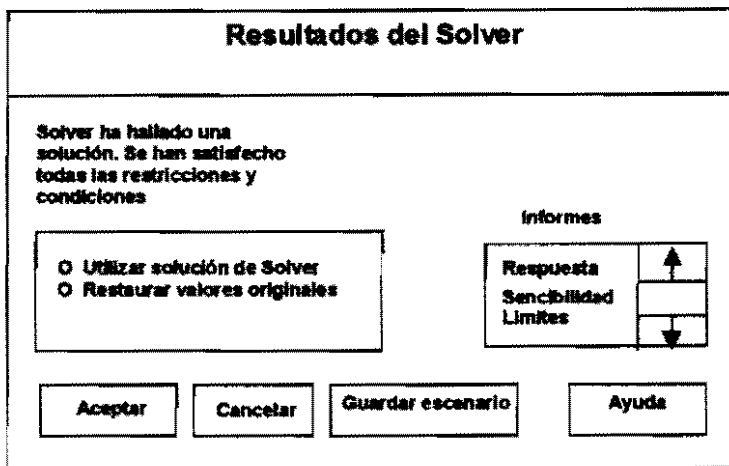


Figura 3.3 Menú salida de resultados del Solver.

El menú le ofrece al usuario tres formas de salida de la solución al modelo; respuestas, sensibilidad y límites, en cada una de estas opciones, el programa Excel las transforma en hojas electrónicas tal como se pueden observar en los Cuadros 3.5 y 3.6.

El programa calcula los valores de cada una de las actividades que cumpla con las restricciones y permita maximizar la función objetivo. En este caso, los valores de área son de 5,3 hectáreas para MAIZ y 2,37 para FRIJOL para un total de 7,67 hectáreas valor inferior a 10 hectáreas, situación que indica que el recurso tierra no es limitante para el sistema ya que de 10 disponibles solo empleo 7,67; en cuanto a capital el cultivo de maíz emplea US\$ 1218,760 y el de FRIJOL US\$ 781,240 para un total de US\$ 2000 lo que indica que la solución emplea todo el capital disponible; en cuanto a mano de obra ocurre algo similar a capital ya que la solución requiere la totalidad de jornales disponibles para la realización de las actividades propuestas.

El total de la función objetivo es de US\$ 867,070 que es el MAXIMO ingreso que se puede lograr con las restricciones propuestas.

### 3.7 Análisis de Sensibilidad

Una vez se ha obtenido la solución óptima del problema de programación lineal, es muy importante analizar el sistema de producción en múltiples situaciones en cuanto al uso de los recursos y evaluación de cambios tecnológicos en el sistema. Esto se logra mediante un análisis con sensibilidad. Este análisis consiste en evaluar el cambio en la solución del problema como producto de cambios en algunos de los parámetros del problema. Los análisis de sensibilidad que se

pueden realizar se relacionan con el cambio en la cantidad de capital disponible, en los precios de los productos y por lo tanto en el valor de la producción, en la cantidad de jornales disponibles, en las restricciones de autoconsumo y efectos en el sistema por la introducción de una alternativa tecnológica.

### **3.8 Ejemplos de Construcción de Modelos a Nivel de Finca**

#### **3.8.1 Modelo en donde se incluye autoconsumo de algún producto**

Para representar en el modelo matemático la restricción de autoconsumo se debe calcular el área (hectáreas) que se debe sembrar en el cultivo para garantizar la cantidad consumida por la familia en el periodo de tiempo correspondiente al análisis del modelo (un semestre, un año, etc.). El cálculo del área se efectúa por medio del rendimiento promedio del cultivo y la cantidad de producto consumido:

$$\text{Area (ha)} = \text{Total de producto consumido (kg)} / \text{Rendimiento del cultivo (kg/ha)}$$

Este valor de área se ubica en la fila de la matriz correspondiente al límite inferior (lower limit) (normalmente en la parte inferior de la matriz) y en la columna correspondiente a la actividad del cultivo. Por ejemplo, si la cantidad consumida durante un año en maíz por la familia es de 500 kg y el rendimiento del maíz es de 1500 kg/ha, el área en autoconsumo es de 0,3 ha, valor que se ubicara en el límite inferior debajo de la actividad maíz.

#### **3.8.2 Modelo donde se limitan jornales**

Es posible que sea necesario limitar la cantidad de jornales que se pueden contratar en la finca, debido a la escasa demanda de mano de obra en la región donde está localizada la finca. Para esto se ubica en la fila de la matriz correspondiente al límite superior y debajo de la columna de contrato de jornales el valor máximo de jornales. Por ejemplo si en la región donde esta ubicada la finca la máxima cantidad de jornales a contratar es de 500 en un año, este valor se ubica en la fila de límite superior (máximo), debajo de la columna de contrato de jornales. Igualmente, se puede limitar el modelo en la cantidad de jornales que el productor puede vender fuera de la finca. El valor va depender de la oferta de trabajo existente en la región que permita al productor trabajar por fuera de la finca.



**Cuadro 3.5 Informe de respuestas 1.**

Microsoft Excel 5.0 Informe de respuestas  
 Hoja de cálculo: [PRUEPL.XLS]MODELO  
 Informe creado: 12/10/94 23:48

Celda objetivo (máx)

Celda	Nombre	Valor Original	Valor final
\$F\$4	Función objetivo totales	553.5	867.073833

Celda	Nombre	Valor Original	Valor final
\$b\$12	Cantidad maíz	0.3	5.298939248
\$c\$12	Cantidad frijol	3	2.367405979

Celda	Nombre	Valor de la celda	Fórmula	Estado	Divergencia
\$F\$5	<= TOTALES	7.666345226	\$F\$5<=\$E\$5	Opcional	3.333654774
\$F\$6	<= TOTALES	2000	\$F\$6<=\$E\$6	Obligatorio	0
\$F\$7	<= TOTALES	585	\$F\$7<=\$E\$7	Obligatorio	0
\$B\$12	Cantidad maíz	5.298939248	\$B\$12<=\$B\$9	Opcional	4.701060752
\$V\$12	Cantidad frijol	2.367405979	\$C\$12<=\$C\$9	Opcional	1.635594021
\$B\$12	Cantidad maíz	5.298939248	\$B\$12<=\$B\$10	Opcional	5.298939248
\$C\$12	Cantidad frijol	2.367405979	\$C\$12<=\$C\$10	Opcional	2.367405979

### Cuadro 3.6 Informe de Sensibilidad 1.

Microsoft Excel 5.0 Informe de sensibilidad  
 Hoja de cálculo: [PRUEPL.XLS]MODELO  
 Informe creado: 12/10/94 23:48

**Celdas cambiantes**

Celda	Nombre	Valor final reduc.	Costo objetivo	Coficiente	Aumento permisible	Disminución permisible
\$B\$12	Maíz	5.298939248	0	85	37.66666667	6.935483673
\$C\$12	Frijol	2.367405979	0	176	15.63636364	54.04347826

Celda	Nombre	Valor final precio	Sombra lado derecho	Restricción permisible	Aumento permisible	Disminución
\$F\$5	<= Totales	7.666345226	0	10	1E+30	2.333654773
\$F\$6	<= Totales	2000	0.082931533	2000	350.7246377	307.8181818
\$F\$7	<= Totales	585	1.196649952	585	73.60869565	106.7391304

### Informe de Límites 1

Microsoft Excel 5.0 Informe de límites  
 Hoja de cálculo: [PRUEPL.XLS]MODELO  
 Informe creado: 12/10/94 23:48

Celda	Celda objetivo nombre	Valor
\$F\$4	Función objetivo totales	867.0732883

Celda	Celdas cambiantes nombre	Valor
\$B\$12	Maíz	5.298939248
\$C\$12	Frijol	2.367405979

Límite inferior	Resultado objetivo	Límite superior	Resultado objetivo
0	416.6634523	5.298939248	867.0732883
0	450.409836	2.367405979	867.0732883

### 3.8.3 Modelo en donde se contratan o venden jornales

Si en el sistema de producción que se esta estructurando hay contrato de jornales y/o venta de jornales es necesario representar esta realidad como una actividad del modelo. La forma para hacerlo es crear las siguientes actividades:

- Venta de jornales (Vent Jor)
- Compra de jornales (Con Jor)
- Transferencia de jornales (familiar) Tranf1
- Transferencia de jornales (contratado) Tranf2

Igualmente se deben crear las siguientes actividades:

- Jornales totales (M.O Total).
- Mano de obra familiar (M.O Fam ).
- Mano de obra Contratada (M.O. Cont)

La estructuración del modelo es:

	Vent Jor	Con Jor	Tranf1	Tranf2		disponible
Tierra	0	0	0	0		
Mano de obra Familiar	1		1		<=	550
Mano de obra contratada		-1		1	<=	0
Mano de obra total	1	-1	-1	-1	<=	0
Función objetivo	4000	-4500				
Máximo	300	500				
Mínimo						

La restricción de M.O familiar le indica al modelo que por cada jornal que vende debe aportar a la función objetivo US\$4 pero debe descontarse de la mano de obra total ya que este jornal que se vende no puede ser utilizado en alguna actividad de la finca. Esto se logra mediante la variable Tranf1, la cual descuenta en la restricción de M.O Total (-1).

La restricción de M.O contratada descuenta de la función objetivo el valor de US\$4.5 por cada jornal que se contrata, pero igualmente cada jornal que se contrata se suma a la mano de obra total.

En la parte inferior de la matriz se encuentran los límites inferiores y superiores de las actividades. Para el caso analizado se plantea que la máxima cantidad de jornales a vender es de 300 y la máxima cantidad a contratar es de 500 jornales.

### 3.8.4 Modelo anual con cultivos semestrales

Cuando se desee construir un modelo en donde el período de análisis sea de un año y se tengan cultivos semestrales se recomienda dividir cada una de las restricciones en un semestre así las restricciones serán de este tipo:

Restricción	Frijol 1	Frijol 2	Maíz 1	Tomate 2	Yuca	Praderas		Hectáreas
Tierra 1	1		1		1	1	≤	8.5
Tierra 2		1		1	1	1	≤	8.5

### 3.8.5 Modelo anual con cultivos permanentes

Para poder analizar diferentes situaciones de tiempo con cultivos permanentes como frutales se debe dar información al modelo de las diferentes etapas del cultivo llevadas a un año. El concepto a aplicar es similar al del valor presente en análisis financieros. Se deben crear tres actividades por cultivo:

- **Siembra (primer año)**

Es una actividad que tiene el coeficiente de 1 en la restricción de tierra (tanto para el primero como para el segundo semestre). En jornales y capital se colocan los valores que son necesarios para el primer año del cultivo y la función objetivo será negativa ya que en este primer año no hay cosecha por lo tanto no hay ingresos; solo egresos.

- **Establecimiento**

Es una actividad que permite cuantificar las labores hechas al cultivo durante su establecimiento, debe llevar el valor de 1 en tierra y los valores de capital y mano de obra son los que se emplean durante un año de establecimiento. La función objetivo también será negativa ya que solo contempla los costos al no haber producción

- **Cosecha**

En esta actividad se cuantifican los costos en capital y mano de obra del año en donde el cultivo está en producción. Esta actividad aportará a la función objetivo un valor correspondiente a las ventas menos los costos de cosecha.

Para representar en el modelo matemático esta realidad se le pide al modelo que por cada hectárea que coseche se considere la actividad de siembra y la actividad de establecimiento. Para esto hay que crear dos restricciones:

- a. **Restricción de siembra:** se debe formular una igualdad que obligue al modelo a incluir el costo de la siembra distribuido a lo largo del tiempo de la producción en un porcentaje de un año de costos. Para ello se calcula la fracción correspondiente de siembra en el periodo de producción. Por ejemplo, si el cultivo tiene una duración en producción de 10 años como en el caso de los cítricos, la fracción a incluir en la ecuación es igual a 1 año que es el periodo de siembra dividido en 10 años (1/10). Este valor se utiliza en la ecuación con el valor de -0,1 en la restricción debajo de cosecha de cítrico y el coeficiente de 1 debajo de la actividad de siembra de cítrico.
- b. **Restricción de establecimiento:** se calcula de la misma forma que la restricción de siembra pero el coeficiente es: tiempo de establecimiento / tiempo de producción. Para el caso de los cítricos son 4 años de establecimiento/ 10 años de producción (4/10), este valor se ubica debajo de cosecha de cítrico con el valor de -0.4 y la actividad de establecimiento el valor de 1 en una igualdad a cero.

La estructura del modelo es:

	Cosecha	Siembra	Establecimiento		Disponible
Tierra	1	1	1	<=	10
Rest. Siembra	-0.1	1		<=	0
Rest. Estab	-0.4		1	<=	0
Función Obj.	260.300	-175.500	-153.200		

Los ejemplos anteriores son solo algunas de posibles alternativas en la formulación de restricciones.



## **Ejercicio 3.1 Construcción de un Modelo de Optimización para la Evaluación Ex-ante de Alternativas Tecnológicas**

### **Objetivo**

Este ejercicio está diseñado para que los participantes adquieran destrezas en el uso de la hoja electrónica Excel en la construcción de un modelo de programación lineal.

### **Orientaciones para el Instructor**

1. Dependiendo del número de computadores disponibles y de participantes, divídalos en grupos de mínimo dos y máximo cuatro personas y ubique cada grupo en un computador que disponga del programa Excel.
2. Entrégueles la hoja de trabajo en donde se definen los parámetros del modelo a construir.
3. Pídale a los participantes que construyan la matriz de entrada de información con base en las recomendaciones expuestas en la Sección 3, numeral 3.5.
4. Solicite a los miembros de los grupos que cambien los coeficientes empleados en las restricciones del modelo y observen las variaciones de las soluciones planteadas por el mismo.
5. De acuerdo con la disponibilidad del tiempo para la realización del ejercicio, proponga a los participantes la incorporación de más restricciones. Para ello sugiera el uso de la información presentada en la Sección 3, en el numeral 3.8.
6. Socialice la información lograda con cada grupo. Para ello, si se dispone de un videobeam, permita que dos o tres grupos presenten sus resultados. Si no se dispone de este intercambio los participantes de los diferentes grupos teniendo la precaución de solicitar por cada grupo un relator que explique a sus nuevos compañeros el modelo construido, las restricciones planteadas y las soluciones obtenidas.

### **Recursos necesarios**

- Hoja de trabajo para cada uno de los participantes.
- Computadores con el programa Excel instalado. El número dependerá de la disposición logística y del número de participantes en el evento. Procure destinar un equipo para dos o tres personas. En cuanto al software, tenga en cuenta que puede ser cualquier versión de Excel, siempre y cuando este activado el macro SOLVER en el menú de Herramientas. Recuerde que SOLVER es un macro automático y no siempre está activado. En la Sección 3 se ilustra sobre el procedimiento de carga en caso de que no esté disponible el macro SOLVER.

- Videobeam
- Papelógrafo y papel
- Marcadores

*Tiempo sugerido: 90 minutos para el ejercicio de construcción de la matriz. Puede ser de 3 horas en caso de abordar todas las restricciones propuestas en la sección 3.*



## **Ejercicio 3.1 Construcción de un Modelo de Optimización para la Evaluación Ex-ante de Alternativas Tecnológicas**

### **Instrucciones para el Participante**

1. Forme los grupos de trabajo de acuerdo con las orientaciones del instructor.
2. Tomando como base las hojas de trabajo, elaboren un modelo de simulación mediante la técnica de programación lineal. Para ello sigan los pasos propuestos para la construcción de un modelo de programación lineal expuestos en la Sección 3 numeral 3.5.
3. Evalúen las soluciones dadas por el SOLVER al modelo construido, para cada uno de los escenarios dado por las restricciones propuestas en la hoja de trabajo.
4. Realicen un inventario de las dificultades operativas que se dieron en la construcción del modelo.
5. Socialicen el modelo y las dificultades encontradas en su construcción, de acuerdo con las indicaciones dadas por el instructor.

*Tiempo total: Ejercicio base 1 hora y plenaria 30 minutos.*

### **Ejercicio 3.1 Construcción de un Modelo de Optimización para la Evaluación Ex-ante de Alternativas Tecnológicas – Procedimiento**

1. Para la elaboración del modelo de programación lineal se propone tomar los datos del ejemplo desarrollado en la Sección 3. La información básica del ejemplo es:

Consideremos un grupo de fincas que comparten las siguientes características: 10 hectáreas de superficie (aptas para sembrar maíz y frijol), 585 jornales/semestre como mano de obra disponible y US\$2000/semestre de capital. Los requerimientos para sembrar una hectárea de maíz son 55 jornales y US\$230 de capital, mientras que para sembrar frijol se requieren 124 jornales por cada hectárea y US\$330. El ingreso neto por hectárea de maíz (Función Objetivo) es de US\$85 y por frijol US\$176. De acuerdo con las características regionales de mercado, existe un alto riesgo de deprimir los precios del frijol si estas fincas siembran más de 4 hectáreas con frijol.

2. Una vez se ha construido y resuelto el modelo mediante el uso de la hoja electrónica Excel se propone cambiar y/o ampliar la estructura del modelo en los siguientes escenarios:
  - 2.1. Existe la posibilidad de obtener un crédito, que duplique el capital de US\$2000 /semestre US\$4000 /semestre. Realice los cambios necesarios en el modelo y soluciónelo. Igualmente, realice un análisis de sensibilidad con varios valores de capital que el grupo considere pertinentes.
  - 2.2. Mediante la introducción de una alternativa tecnológica en maíz se puede aumentar la función objetivo en un 30% (la función objetivo es de un valor de US\$110.5 / semestre), disminución de los costos en US\$30 y disminución de los jornales a 40 jornales. Realice los cambios necesarios al modelo y evalúe el impacto de la propuesta de maíz mejorado en el sistema para las tres propuestas de cambio en el sistema. Igualmente el grupo puede proponer cambios en el sistema con una alternativa de frijol mejorado. Sugerencia: crear una actividad llamada Maíz mejor.
  - 2.3. La erosión que se ocasiona por la siembra de maíz es de 20 toneladas de suelo por semestre y las pérdidas de suelo en el cultivo del frijol son de 10 ton/semestre. Si se desea que las pérdidas totales en el sistema no sobrepasen 80 ton/semestre, ¿cómo debe ser la organización de la finca?
  - 2.4. Las fincas pueden contratar jornales y vender jornales, el precio de venta de jornal es de US\$2 y el precio de compra es de US\$2.5. Con esta información elabore la restricción de mano de obra y solucione el modelo. Identifique y

aplique otros valores de compra y venta de jornales. Realice un análisis de sensibilidad en este aspecto.

- 2.5 La precipitación del área donde están ubicadas las fincas y los requerimientos hídricos de los cultivos se presentan en los Cuadros 1 y 2. Con esta información elabore restricciones para el agua disponible en cada uno de los meses y solucione el modelo.

**Cuadro 1. Datos de precipitación y requerimientos hídricos por hectárea del cultivo maíz para primer semestre del año.**

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio
Precipitación (mm de agua)	65	129	200	245	300	268	200
Requerimientos (mm de agua)	0	24.6	42.1	75.6	84.1	91.9	82.4

**Cuadro 2. Datos de precipitación y requerimientos hídricos por hectárea del cultivo frijol para primer semestre del año.**

Mes	Enero	Febrero	marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio
Precipitación (mm de agua)	65	129	200	245	300	268	200
Requerimientos (mm de agua)	0	0	28	70.6	83.6	68.1	0

## Ejercicio 3.1 Construcción de un Modelo de Optimización para la Evaluación Ex-ante de Alternativas Tecnológicas – Información de Retorno

### Numeral 1

Actividades					Totales
Restricciones	Maíz	Frijol	Desigualdad	Disponible	
Función objetivo	85	176		10	
Tierra	1	1	<=	2000	
Capital	230	330	<=	585	
Mano de obra	55	124	<=		
Máximo	10	4			
Mínimo		0			
Cantidad	5.29893925	2.36740598			7.66634523
					<b>Totales</b>
Función objetivo	450.409836	416.663452			867.073288
Tierra	5.29893925	2.36740598			7.66634523
Capital	1218.75603	781.243873			2000
Mano de obra	291.441659	293.558341			585

### Numeral 2 Evaluación tecnología mejorada en maíz

#### 2.1 Análisis de sensibilidad a capital

Actividad	US\$1000	US\$2000	US\$3000	US\$4000
Maíz (ha)	0	5.298	9.492	9.492
Frijol (ha)	3.03	2.367	0.5072	0.5073
Sin usar (ha)	6.97	2.335	0.0008	0.0007

#### 2.2 Sensibilidad a tecnologías de maíz

Para poder introducir en el modelo la alternativa mejorada se propone la creación de una nueva actividad que represente los cambios de la alternativa tecnológica.

El modelo para la alternativa que aumenta el rendimiento en un 30% se conforma así:

Actividades						Totales
Restricciones	Maíz	Maíz mejorado	Frijol	Desigualdad	Disponible	
Función objetivo	85	110.5	178		10	
Tierra	1	1	1	<=	2000	
Capital	230	230	330	<=	585	
Mano de obra	55	55	124	<=		
Máximo	10	10	4			
Mínimo						
Cantidad	0	5.29893925	2.36740598			7.66634523
						<b>Totales</b>
Función objetivo	0	585.532787	416.663454			1002.19624
Tierra	0	585.532787	2.36740598			7.66634523
Capital	0	5.29893925		761.243973		2000
Mano de obra	0	291.441659		293.558341		585

Las salidas del modelo para las diferentes sensibilidades son:

Sensibilidad	Maíz (ha)	Maíz mejorado (ha)	Frijol (ha)	Ingreso neto (US\$)
Aumento producción en 30%	0	5.2989	2.3674	1002.2
Disminución de costos en US\$30	0	8.2631	1.052	887.63
Disminución jornales a 40	0	3.5869	3.5607	931.56

La restricción adicional para incluir la erosión se ilustra en el modelo:

La estructura del modelo con la incorporación de la restricción de venta y compra de jornales es:

Restricciones	Maíz	Frijol	Vent. jornal	Cont. jornal	Tranf1	Tranf2	Disig	Disponib	Total
Función objetivo	85	176	2	-2.5					
Tierra	1	1					<=	10	
Capital	230	330					<=	2000	
Mano de obra familiar			1		1		<=	585	
Mano de obra concentrada				-1	1		=	0	
Mano de obra total	55	124	1	-1	-1	-1	<=	0	
Máximo	10	4	100	300					
Mínimo		0							
Cantidad	8.48	0.1495	100	0	0	0			8.63
									<b>Total</b>
Función objetivo	721	26.307	200	0	0	0			947
Tierra	8.48	0.1495	0	0	0	0		10	8.63
Capital	1951	49.325	0	0	0	0		2000	2000
Mano de obra familiar	0	0	100	0	0	0		585	585
Mano de obra contratada	0	0	0	0	0	0		0	0
Mano de obra total	466	18.534	100	0	0	0		585	585
Mano de obra Total	0	0	0	0	0	0		585	0

### 2.3 Incorporación de la erosión

La restricción de erosión recomienda el aumento de la siembra de frijol.

Restricciones	Actividades				Totales
	Maíz	Frijol	Desigualdad	Disponible	
Función objetivo	85	176		10	
Tierra	1	1	<=	2000	
Capital	230	330	<=	585	
Mano de obra	55	124	<=		
Erosión	20	10	<=	80	
Máximo	10	4			
Mínimo					
Cantidad	2.11	3.7824			5.891
					<b>Totales</b>
Función objetivo	179	665.7			844.9
Tierra	2.11	3.7824		10	5.891
Capital	485	1248.2		2000	2000
Mano de obra	116	469.02		585	585
Erosión	42.2	37.824		80	80

## 2.4 Restricción de jornales

La estructura del modelo con la restricción de venta y compra de jornales es:

Restricciones	Maiz	Frijol	Vent. jornal	Cont. jornal	Tranf1	Tranf2	Disig.	Disponib.	Total
Función objetivo	85	176	2	-2.5					
Tierra	1	1					⇐	10	
Capital	230	330					⇐	2000	
Mano de obra familiar			1		1		⇐	585	
Mano de obra concentrada				-1	1		=	0	
Mano de obra total	55	124	1	-1	-1	-1	⇐	0	
Máximo	10	4	100	300					
Mínimo		0							
<b>Cantidad</b>	<b>8.48</b>	<b>0.1495</b>	<b>100</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>			<b>8.63</b>
									<b>Total</b>
Función objetivo	721	26.307	200	0	0	0			947
Tierra	8.48	0.1495	0	0	0	0		10	8.63
Capital	1951	49.325	0	0	0	0		2000	2000
Mano de obra familiar	0	0	100	0	0	0		585	585
Mano de obra contratada	0	0	0	0	0	0		0	0
Mano de obra total	466	18.534	100	0	0	0		585	585
Mano de obra Total	0	0	0	0	0	0		585	0



## 2.5 Balances hídricos

La estructura del modelo para analizar los balances hidricos que garantizan la mayor productividad se ilustra a continuación:

Restricciones	Actividades				Desigualdad	Disponible	Totales
	Maiz	Frijol	Lluvia				
Función objetivo	85	176				10	
Tierra	1	1			<=	2000	
Capital	230	330			<=	585	
Mano de obra	55	124			<=	0	
Agua enero	0	0	-65		<=	0	
Agua febrero	24.6	0	-129		<=	0	
Agua marzo	42.1	28	-200		<=	0	
Agua abril	75.6	70.8	-245		<=	0	
Agua mayo	84.1	83.6	-300		<=	0	
Agua junio	91.9	68.1	-266		<=	0	
Agua julio	82.4	0	-200		<=	0	
Util agua lluvia	-1	-1	1		<=	0	
Máximo	10	4	1				
Mínimo							
Cantidad	0	3.4703	1				3.470255
							<b>Totales</b>
Función objetivo	0	610.76	0		<=	10	610.7649
Tierra	0	3.4703	0		<=	2000	3.470255
Capital	0	1145.2	0		<=	585	1145.184
Mano de obra	0	430.31	0		<=	0	430.3116
Agua enero	0	0	-65		<=	0	-65
Agua febrero	0	0	-129		<=	0	-129
Agua marzo	0	97.167	-200		<=	0	-102.8329
Agua abril	0	245	-245		<=	0	3.29E-11
Agua mayo	0	290.11	-300		<=	0	-9.886666
Agua junio	0	236.32	-266		<=	0	-31.67564
Agua julio	0	0	-200		<=	0	-200
Util agua lluvia	0	-3.4703	1		<=	0	-2.470255

## LINGO

Esta sección explica como modelar con LINGO (un programa desarrollado por LINDO Systems INC) en el lugar de MS EXCELL. La utilización de LINGO es más fácil que la de EXCELL y permite desarrollar modelos mas complejos. El siguiente ejemplo de modelo se hace con la versión LINGO 5 que trabaja bajo ambiente Windows. Una versión limitada de LINGO 5 se puede descargar gratis desde el sitio de Internet [www.lindo.com](http://www.lindo.com) o se puede ordenar a Lindo Systems INC, 1415 North Dayton Street, Chicago, IL 60622 USA. La versión limitada tiene una licencia de 6 semanas. El libro que contiene las explicaciones del programa se puede también ordenar a través del mismo sitio de Internet.

### El uso de LINGO

La instalación del programa LINGO se hace automáticamente desde el programa LINGO5.exe. Después de la instalación del archivo, el programa se lanza con el orden LINGO en el "start program" menu de Windows. Una hoja de Lingo aparece.

Los modelos no se escriben en una hoja como en Excell. Se escribe de manera algebraica. Usamos los mismos datos que en el ejercicio con Excell: El modelo de una pequeña finca se escribe de la manera siguiente:

```
Max = 85 * Maiz + 176 * Frijol;  
!limitacion de tierra;  
Maiz + frijol <= 10;  
!limitacion de trabajo;  
55 * Maiz + 124 * frijol <= 400;  
!limitacion de capital;  
230 * Maiz + 330 * frijol <= 2000;  
!limitacion de mercado;  
frijol <= 4;
```

Primero, se escribe la función objetiva y segundo las limitaciones de los factores de producción (tierra, trabajo, capital ) y la limitación de mercado. Los comentarios empiezan con un signo de admiración !

Cuando las ecuaciones del modelo están listas, ejecute el *solver*. Un compilador chequea la validez del modelo. Si hay un error el programa indicará en cual línea y en que lugar de la línea se ubica el error. El usuario debe regresar al editor para hacer los cambios hasta que el modelo esta correcto.

### Los resultados

Las primeras líneas de los resultados son estadísticas sobre el modelo. Esta información estadística tiene poco interés cuando el modelo es pequeño. Para

seleccionar una hoja más interesante es mejor ejecutar el comando SOLU.  
Aparecerán la líneas siguientes:

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
MAIZ	7.27	0.00
FRIJOL	0.00	15.63636

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICE
1	618.1818	1.00
2	2.727273	0.00
3	0.00	1.545455
4	327.2727	0.00
5	4	0.00

"VARIABLE " Da la lista de las variables del modelo

"VALUE" Da el valor óptimo de cada variable.

"REDUCED COST": Da el costo reducido de una variable; tiene dos explicaciones que son las siguientes:

- Primero, el costo reducido de una variable es el valor de la pérdida de ingreso si el campesino quiere producir una hectárea de una producción no rentable.

- Segundo, el costo reducido se puede interpretar como el aumento necesario del ingreso neto por hectaria de una variable para que sea rentable (y aparecer en la solución óptima). Este aumento se puede conseguir a través de un costo reducido, de un mejor precio o de una mejor productividad.

En el ejemplo del modelo se estima que la finca debería producir 7.27 hectáreas de maíz y nada de frijoles para maximizar su ingreso bajo las limitaciones dadas. Si el campesino quiere producir una hectárea de frijoles, el va perder Lps. 15.63 en el ingreso total. O si el ingreso neto de una hectárea de frijol puede ser aumentado de mas de Lps. 15.63, entonces los frijoles van a ser rentables (y aparece en la solución).

En el cuadro de las líneas ("ROW"):

"SLACK OR SURPLUS" de la primera línea muestra el valor del ingreso neto de toda la finca. En el ejemplo el ingreso neto de la finca es de Lps. 618.18.

"DUAL PRICE de la línea 1" no tiene significado interesante en este ejercicio. Las líneas siguientes (2 hasta 4) muestran los "SLACK o SURPLUS" de las 4 limitaciones. En estos casos eso demuestra si las disponibilidades habían sido usadas totalmente o no.

En el ejemplo hay: Un SURPLUS de tierra de 2.72 hectáreas (línea 2)  
No hay SURPLUS de mano de obra (línea 3)  
Un SURPLUS de capital de Lps.237.27 (línea 4)  
Un SURPLUS en la limitación de mercado (línea 5).

“DUAL PRICE” de una limitación es el precio sombra de una limitación y tiene dos explicaciones:

- 1) Es el aumento del ingreso total que resultará de la adición de una unidad o factor de producción
- 2) Es también el precio real del factor raro. Si el campesino renta una unidad del factor limitante a un precio mas alto que el “DUAL PRICE” el va a perder dinero. Si la renta de esta unidad se hace a un precio mas bajo que el “REDUCED COST”, el campesino va ganar dinero.

En el ejemplo solamente hay un precio sombra de Lps. 1.54 por la mano de obra. Si el personal de la finca puede trabajar un día mas el ingreso total va incrementar en Lps. 1.54. Es también el precio real de un día de mano de obra. Solamente si el campesino consigue un jornal por menos de Lps. 1.54 el va ha gastar dinero.

## **Bibliografía**

Bergren, B. 1992. Técnicas en investigación de operaciones. Editorial Macmillan Publishing company.

Brockington, N. 1979. Computer modelling in agriculture. Oxford University Press. 155 p.

Chaparro, O. 1994. Modelos de optimización aplicados en la Agricultura. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria CORPOICA. Documento Interno de trabajo. 1994. Santa fé de Bogotá.

Dantzing, Marshall Wood. 1984. La programación lineal y sus aplicaciones. Editorial Trillas . México

García, F. 1998. Modelos de simulación: perspectivas y aplicación en la investigación en sistemas de producción pecuarios. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. CORPOICA. Santa fé de Bogotá.

Manual del usuario de Excel. 1996 Microsoft. Office.




## **Originales para Transparencias**




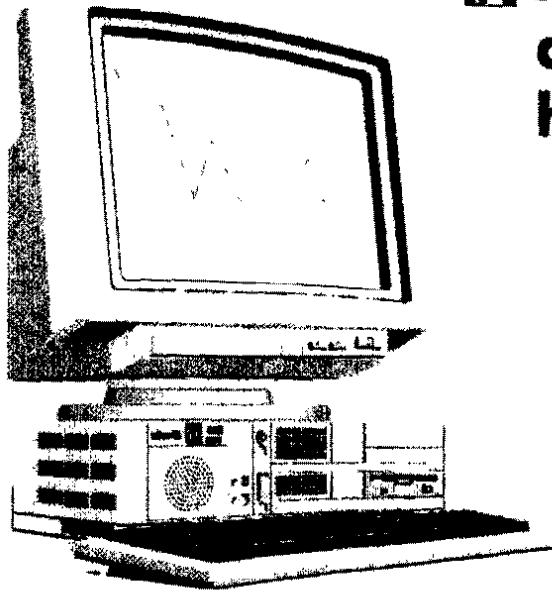


# Objetivos de la Sección

 **Presentar los conceptos y estructura de los modelos de simulación basados en la programación lineal**

 **Adquirir destreza en la construcción de modelos mediante el uso de la hoja Excel.**

 **Reconocer las aplicaciones en el uso de los modelos de simulación en la toma de decisiones en el manejo de los recursos naturales en Laderas.**





# **Etapas para El uso de Modelos**

- ✓ **Análisis y formulación del problema**
- ✓ **Estructuración del Modelo matemático**
- ✓ **Resolución del Modelo (solución)**
- ✓ **Validación del Modelo y la solución**
- ✓ **Implementación de la solución**



# Consideramos un Grupo de Fincas que Comparten las Siguietes Características

## Disponibles

10 ha de superficie aptas para maíz y frijol  
Mano de obra disponible : 585 Jor/sem  
Capital: US\$ 2000/semestre

## Requerimientos

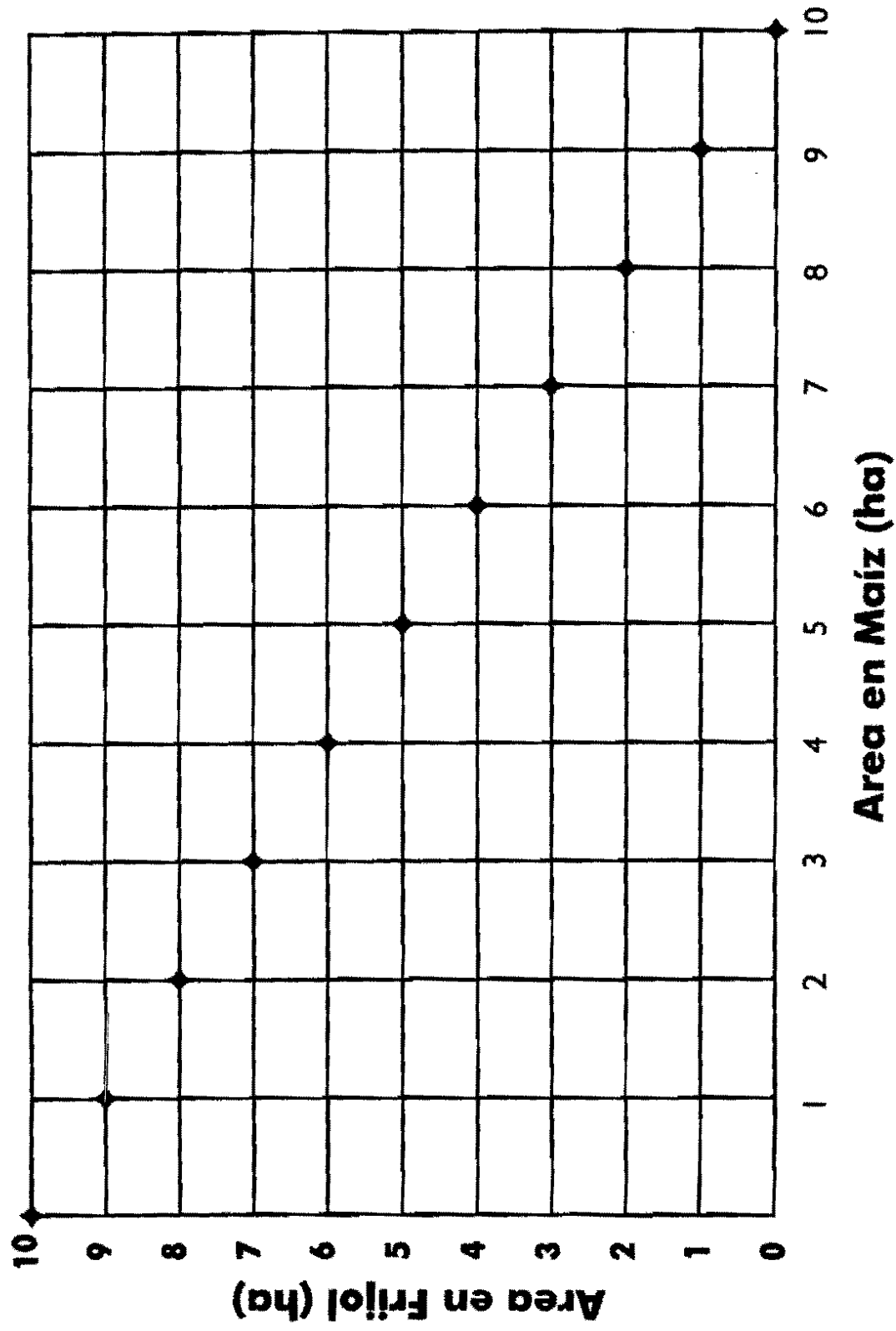
<b>Sembrar una hectárea de maíz</b> Jornales = 55 Capital = US\$ 230	<b>Sembrar una hectárea de frijol</b> Jornales = 124 Capital = US\$ 330
--	---

## El Ingreso Neto es:

Por Ha es US\$ 85 para maíz y US\$ 176 para frijol  
Restricción por mercadeo de máximo 4 ha en frijol



# Matriz de Programación Lineal







# **Estructura del Modelo**



## **Función Objetivo**

$$**F(x) = 116.7 * X1 + 314.5 * X2 + 104.2 * X3**$$

**F(x) = Margen bruto de la finca US\$**

**X1 = Area sembrada en maíz (hectáreas)**

**X2 = Area sembrada en café (hectáreas)**

**X3 = Area sembrada en frijol (hectáreas)**

**Constantes son ingresos por hectáreas de cada cultivo US\$/ha**



# Opciones del Conjunto Factible

<b>Plan</b>	<b>Maíz (ha)</b>	<b>Frijol (ha)</b>	<b>Ingreso Neto</b>
<b>A</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>US\$ 704</b>
<b>B</b>	<b>1.6</b>	<b>4</b>	<b>US\$ 840</b>
<b>C</b>	<b>5.2</b>	<b>2.4</b>	<b>US\$ 864.4</b>
<b>D</b>	<b>8.7</b>	<b>0</b>	<b>US\$ 739.5</b>



# **Análisis de Sensibilidad**

---

- Precios**
- Tierra**
- Prácticas de manejo**
- Alternativas tecnológicas**
- Factores Climáticos**
- Capital**
- Mercado**



**Restricciones**

**Función Objetivo:  
Maximizar el ingreso neto**

**Actividades**

**Modelo de Programación Lineal**

Restricción	Actividad		Desigualdad	Disponible
	Maiz	Frijol		
Función Objetivo	85	176	$\leq$	
Tierra	1	1	$\leq$	10
Mano de Obra	55	124	$\leq$	2000
Capital	230	330	$\leq$	585





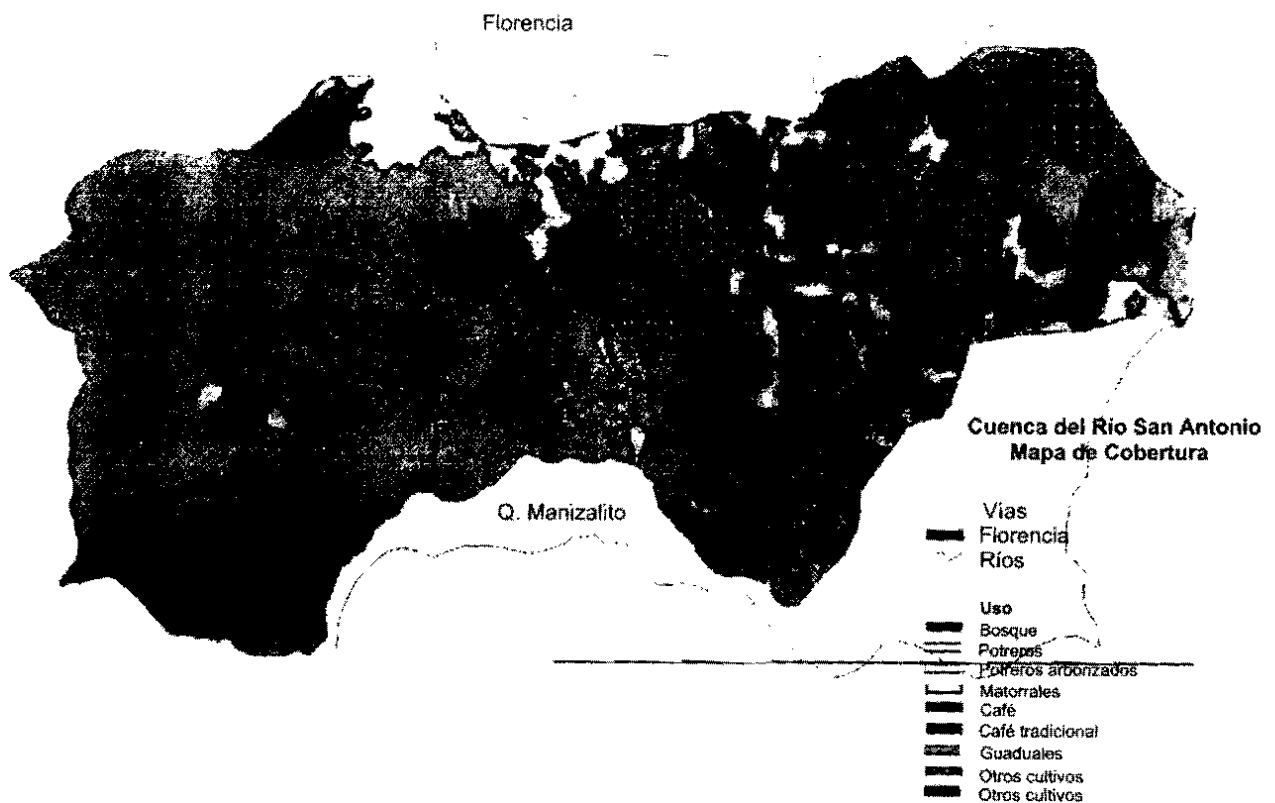
# Estructura del Modelo de Programación Lineal

1	A	B	C	D	E	F
2						
3	Restricciones	Maíz	Frijol	Desing.	Dispo.	Totales
4	Función objeto	85	176			
5	Tierra	1	1	<=	10	
6	Capital	230	330	<=	2000	
7	Mano de obra	55	124	<=	585	
8						
9	Máximo	10	4			
10	Mínimo	0	0			
11						
12	Cantidad					
13						
14						
15	Función objeto	+B4xB\$ 12	+C4xC\$ 12			SUMA=+(b15:C15)
16	Tierra	+B5xB\$ 12	+C5xC\$ 12		10	SUMA=+(B16:C16)
17	Capital	+B6xB\$ 12	+C6xC\$ 12		2000	SUMA=+(B17:C17)
18	Mano de obra	+B7xB\$ 12	+C7xC\$ 12		585	SUMA=+(B18:C18)
19						
20						



## Sección 4

# Aplicaciones de Modelos de Programación Lineal en la Evaluación Ex-Ante





## Sección 4. Aplicaciones de Modelos de Programación Lineal en la Evaluación Ex-ante

	Página
Estructura de la Sección.....	4-5
Objetivos.....	4-6
Preguntas Orientadoras .....	4-6
Introducción.....	4-7
4.1 Análisis de Opciones de Desarrollo en la Cuenca del Río Doña Juana.....	4-8
4.1.1 La elaboración de un modelo mental.....	4-8
4.1.2 Recuperación de información.....	4-9
4.1.3 Actividades y restricciones.....	4-9
4.1.4 El impacto de mantener los sistemas actuales de producción.....	4-11
4.1.5 Mejoramiento factible en el uso del suelo a partir de la valoración del agua y los sedimentos.....	4-13
4.1.6 Cambios factibles de implementar en los sistemas de producción.....	4-14
4.2. Términos de Intercambio entre Criterios de Política en la Cuenca del Río San Antonio.....	4-16
4.2.1 La elaboración de un modelo mental.....	4-16
4.2.2 Recuperación de la información.....	4-17
4.2.3 Actividades y restricciones.....	4-19
4.2.4 Análisis del intercambio entre criterios de política.....	4-22
4.3 Cuantificación Ex-ante del Intercambio entre Equidad, Productividad y Sostenibilidad para el Diseño de Alternativas Tecnológicas en el Cultivo de Arracacha.....	4-26
4.3.1 La elaboración de un modelo mental.....	4-26
4.3.2 Recuperación de información.....	4-26
4.3.3 Actividades y restricciones.....	4-27
4.3.4 Análisis del efecto de las rotaciones sobre la producción de arracacha y producción de leche, a diferentes niveles de pérdida de suelo.....	4-28
4.3.5 Efecto de las prácticas de conservación sobre la producción de arracacha.....	4-28
4.3.6 Relaciones entre control de la erosión y el uso de mano de obra.....	4-28
4.3.7 Distribución de los beneficios entre los distintos actores.....	4-28
Ejercicio 4.1 Análisis y Evaluación Ex-ante en el Manejo de los Recursos Naturales – Aplicaciones.....	4-31
Bibliografía.....	4-38
Originales para Transparencias.....	4-41



## Introducción

La toma de decisiones sobre prioridades en el uso del suelo a nivel de predio, cuenca, microrregión, región o país es un proceso complejo, debido a los conflictos que se presentan entre los criterios de competitividad de la actividad agropecuaria, la sostenibilidad de los agroecosistemas y la distribución de beneficios del desarrollo agropecuario. La aplicación de modelos de programación lineal para entender los términos de intercambio entre estos criterios facilita al investigador y al agente de desarrollo la toma de decisiones y la asignación de prioridades. Lo anterior se debe a que el modelo define la función objetivo que el sistema analizado pretende privilegiar y la optimiza con base en las restricciones que la disponibilidad de recursos le permite y los objetivos de tipo económico, ambiental o social que desea alcanzar o que el marco político exige.

En términos generales, la aplicación de modelos de programación lineal implica un procedimiento metodológico que incorpora las fases siguientes:

- a. **Elaboración de un modelo mental.** Constituye el punto de partida que determina la utilidad del modelo matemático, que es específico para cada caso particular. Estos modelos se construyen para que respondan preguntas concretas bajo condiciones específicas. El modelo mental guarda relación con el tipo de preguntas que quien lo opera quisiera responder. La estructura y la función del modelo se orientan justamente a responder tales inquietudes.
- b. **Recuperación de información.** El equipo de investigadores o de agentes de desarrollo debe tomar una decisión sobre la disponibilidad de información para alimentar el sistema de análisis, de tal forma que adquiera la capacidad de responder las distintas inquietudes que plantea el modelo mental. Existe un rango muy amplio de condiciones específicas en las cuales la información puede estar disponible o ausente de fuentes secundarias. Quienes construyen el modelo deben evaluar la calidad de la información disponible y sus implicaciones para la captura en fuentes primarias de la información faltante.
- c. **Actividades y restricciones.** Con la información recolectada se definen las restricciones que enfrenta el sistema de análisis y las actividades alternativas que puede desarrollar.
- d. **Análisis de sensibilidad.** Una de las mayores fortalezas que tienen los modelos de programación lineal es la capacidad para responder de manera inmediata a cualquier cambio en los parámetros utilizados. Mediante estos cambios en actividades y/o restricciones se puede plantear un sinnúmero de escenarios potenciales, muchos de ellos imposibles de llevar a cabo en la práctica o cuyo alto costo no sería posible asumir. El escenario no es necesariamente una predicción de lo que va a suceder, sino que permite una mejor comprensión de lo que puede suceder si se dan determinadas condiciones. Estos escenarios

potenciales constituyen la información más importante que administran los modelos en la toma de decisiones.

En esta sección se documentan tres estudios de caso en los cuales el análisis ex-ante se basó en el uso de modelos de programación lineal que responden a distintas inquietudes planteadas por investigadores y agentes de desarrollo:

- Análisis de opciones de desarrollo en la cuenca del río Doña Juana (Ríos et al., 1998).
- Términos de intercambio entre criterios de política en la cuenca del río San Antonio (Rivera y Estrada, 1998).
- Cuantificación ex-ante del intercambio entre equidad, productividad y sostenibilidad para el diseño de alternativas tecnológicas en el cultivo de arracacha (Rivera y Estrada, 1995)

## **4.1 Análisis de Opciones de Desarrollo en la Cuenca del Río Doña Juana**

### **4.1.1 La elaboración de un modelo mental**

La zona alta de la cuenca del río Doña Juana posee 4.050 ha y una población de 878 personas. Existen 169 predios, localizados entre 1250 y 1750 m.s.n.m., y dedicados a ganadería doble propósito, café, cacao y cultivos de 'pancoger'. La cuenca representa la problemática de los recursos naturales: agua, suelo, y biodiversidad que se viene dando en amplias regiones colombianas de los años 50 en adelante, donde la 'ganaderización' se ha ido extendiendo en forma continuada. Este proceso incluye la tala de bosques por los colonos el establecimiento de praderas y el desplazamiento de aquellos por los terratenientes por terratenientes hacia las partes altas de la cuenca, donde se genera y se regulan los caudales de agua. Este proceso se agrava frente a la coyuntura de bajos precios de productos como café y cacao, por el encarecimiento de costos de transporte debido a la falta de infraestructura vial, y la presencia de problemas fitosanitarios en café y cacao, principalmente.

El agua desempeña funciones clave para la producción agropecuaria, pero tiene influencia en los procesos de formación y arrastre de suelos. Al mismo tiempo, su disponibilidad en las partes bajas de la cuenca para uso en acueductos o proyectos de riego no es sólo función de las condiciones climáticas (precipitación y humedad) sino que está condicionada por el uso consuntivo de la cobertura vegetal y la capacidad de retención del suelo. El modelo mental señala que existe una potencial competencia por agua entre las actividades productivas agropecuarias en la cuenca y las necesidades del acueducto de la Victoria y eventualmente las del acueducto de La Dorada. Igualmente, plantea la existencia de competencias entre el uso actual



del suelo (con sus procesos erosivos) y los costos de remoción de los sedimentos que afectan los acueductos en mención.

El modelo de programación lineal se elaboró maximizando el ingreso neto de los productores localizados en la cuenca, a partir de distintos escenarios de producción y de conservación de recursos naturales, para resolver las inquietudes siguientes:

- ¿Cuál es el impacto de mantener los sistemas actuales de producción?
- ¿Qué mejoramiento es factible en el uso del suelo valorando el agua y los sedimentos en la cuenca?
- ¿Cuáles son los cambios tecnológicos posible en los sistemas de producción?

#### **4.1.2 Recuperación de información**

La información sobre tamaño de predios, área en cultivos, uso de mano de obra, uso de insumos, productividad y técnicas de producción se obtuvo de fuentes secundarias, en especial, la caracterización socioeconómica y de sistemas de producción realizada por el CRECED - CORPOICA en el Magdalena Medio Caldense (Abad, 1996; Loaiza, 1996; Muñoz e Ibarra, 1997). La información sobre costos de producción agropecuarios fue suministrada por la Unidad Municipal de Asistencia Técnica Agropecuaria (UMATA) del municipio de la Victoria, Caldas. La información sobre cobertura y uso actual del suelo (Quiroga, 1994) y los estudios ambientales e hidrológicos de la cuenca (Giraldo et al., 1993; Guzmán, 1993).

Con la información de suelos y de clima se determinaron las pérdidas de suelo que se presentan en los diferentes cultivos de la cuenca, utilizando una de las subrutinas del modelo EPIC (Wischmeier y Smith, 1978 ).

El consumo de agua de los diferentes cultivos existentes en la cuenca se calculó utilizando el modelo CROPWAT de la FAO (Smith, 1993) a partir de la información sobre precipitación, temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y radiación, obtenidas de la estación Santa Helena (Cenicafé, 1996) aledaña a la zona de estudio.

#### **4.1.3 Actividades y restricciones**

La información generada se integró en un modelo de programación lineal que optimiza, como función objetivo, el ingreso neto —ventas menos costos variables en efectivo— de los productores de la cuenca. Además de incorporar el ingreso neto (criterio de competitividad) dentro de la función objetivo, se incorporó al modelo como criterio de sostenibilidad el escenario bajo el cual se suceden cambios sustanciales en el uso actual del suelo para propiciar una menor pérdida de éste y proporcionar más agua al cauce. Se analizaron, también, las implicaciones del cambio en el uso del suelo sobre la generación de empleo, como criterio de equidad.

La información sobre tamaño del área, uso de la mano de obra y disponibilidad de capital determinada en la caracterización fue utilizada como restricciones para el modelo (Cuadro 4.1). La restricción por mano de obra fue determinada por la disponibilidad actual, pero el modelo tuvo la opción de utilizar o vender los jornales familiares. La restricción del capital fue determinada por el uso actual, pero el modelo permitió la inclusión de decisiones de inversión del productor, con lo cual se afectó negativamente la función objetivo por el costo del capital (10% de intereses en términos reales). El área máxima utilizable fue de 4.050 ha, la disponibilidad anual de jornales familiares fue de 150.127 y el capital \$ 84.322.000. El máximo posible de jornales para contratar fue de 30.000.

Una restricción adicional utilizada fue la disponibilidad de agua. A partir de la precipitación total (4.235 mm/año) y su distribución a través del año se determinó que la disponibilidad en la cuenca para cada uno de los trimestres del año es de 14.090, 12.830, 5.770 y 8.660 m<sup>3</sup>/ha, respectivamente.

**Cuadro 4.1 Uso del suelo, mano de obra y gastos de capital (no incluye la inversión) en la zona alta de la cuenca del río Doña Juana.**

Cultivo	Tierra (ha)	Mano de obra (jornales)	Capital (\$ x 1000)
Café	117	13.742	19.820
Pastos	2762	33.145	11.048
Bovinos *		10.248	24.602
Cacao	167	15.017	0
Anuales	166	15.609	3.321
Rastrojos	838	8.803	0
<b>TOTAL</b>	<b>4050</b>	<b>96.600</b>	<b>58.791</b>

\* Equivalente a 2017 vacas, con una carga animal de 0.7 vacas/ha

En el Cuadro 4.2 se presenta la información utilizada para caracterizar cada una de las actividades que se le ofrecieron al modelo, en términos de sus requerimientos (capital, jornales y agua), generación de sedimentos y producción.

**Cuadro 4.2 Información sobre requerimientos y producción de las distintas actividades de uso del suelo en la zona alta de la cuenca del río Doña Juana.**

	Unidad	Café	Pasto	*Vacas	Cacao	Anuales	Rastrojos
Insumos + Depreciación	\$1000/ha	225.9	10.0	16.2	50.0	20.0	0.0
Gastos en efectivo	\$1000/ha	168.8	5.0	12.2	0.0	20.0	0.0
Capital	\$1000/ha	200.0	30.0	360.0	250.0	0.0	0.0
Jornales	No./ha	117	12	5	90	94	10
Consumo de agua	m <sup>3</sup> /ha	1.008	1.008		756	760	1.008
Sedimentos	T/ha	8.8	2.2	0.8	5.9	10.0	1.2
Producción	kg/ha	800		*109	400	4120	*3
Valor	\$/kg	1587		1250	412	1800	*27000

\* La información de las vacas no está referida por ha, sino por vaca.  
Además de la producción de carne, las vacas producen 313 lt de leche por vaca con un valor de \$400/lt  
La producción del rastrojo está expresada en m<sup>3</sup>

En el análisis de sensibilidad del modelo se exploraron distintos escenarios mediante la asignación de valor al agua para uso en acueductos y a los sedimentos producidos. Se evaluaron nuevas alternativas tecnológicas basadas en sistemas de producción no existentes en la cuenca: cultivo del maíz en callejones de leguminosas arbóreas y cultivo del caucho, sobre las cuales hay consenso entre investigadores y extensionistas sobre su potencial para la región. La información utilizada para el análisis de factibilidad de siembra de maíz en callejones fue la generada por Sánchez (1998) con datos de ensayos y parcelas demostrativas instaladas por las diferentes entidades que trabajan en el desarrollo tecnológico agropecuario de la cuenca y de otras localidades de características agroecológicas y socioeconómicas similares. Para el caso del caucho se utilizó la información generada por el Comité Agroindustrial de Caldas (1997). Se realizó también un análisis de sensibilidad del modelo al aumento en la productividad del cacao.

#### 4.1.4 El impacto de mantener los sistemas actuales de producción

Si bien los niveles de producción se pueden considerar bajos para los estándares de otras zonas agropecuarias, debido a restricciones de topografía, clima e infraestructura, la rentabilidad de las actividades agropecuarias es suficientemente atractiva gracias al bajo uso de insumos externos. Sin considerar el valor de las inversiones en tierra, infraestructura y ganado, los ingresos netos de la finca por año

ascienden a \$5.779.200, es decir, 2,8 salarios mínimos. Esta cifra significa que la finca constituye una estrategia de empleo familiar que aporta ingresos suficientes para el mantenimiento de la familia, generando inclusive algunos excedentes para capitalización en ganado. No obstante, los sistemas actuales de producción no resuelven el fenómeno del desempleo y son frágiles frente a un eventual incremento en productividad que conduzca a la reducción del precio de los productos.

Los resultados del modelo de programación lineal indican que el uso del suelo se encuentra ajustado a las condiciones socioeconómicas y agroecológicas de la región. El incremento en la función objetivo entre la situación real y óptima es de solo 5% (Cuadro 4.3). El modelo óptimo incrementa las áreas en pastos y yuca en mayor proporción que la situación real. No obstante, la tendencia actual sí está reflejada en el modelo óptimo, en la medida que grandes áreas de café, cacao y plátano están siendo convertidas en potreros. Se puede afirmar que el modelo está confirmando la racionalidad económica del campesino al proponer como principal cambio la sustitución de café, cacao y plátano por pastos, al optimizar el uso actual.

El uso actual del suelo utiliza solamente el 59% de la mano de obra disponible en la cuenca. El modelo óptimo reduce a 60.489 jornales el uso de mano de obra, lo cual significa que son escasas las opciones de uso del suelo con alta productividad de ella (Cuadro 4.3). El cacao, actividad que genera el mayor uso de jornales por unidad de superficie, atraviesa desde hace varios años una coyuntura de bajos precios, aunada a una baja producción debido, en parte, a problemas fitosanitarios. El café, cultivo que también hace un uso intensivo de mano de obra, tienen restricciones de tipo agroclimático por su ubicación entre 750 y 1250 m.s.n.m., lo que la hace marginal para dicho cultivo por los altos niveles de la broca. El problema del desempleo en la cuenca constituye una de las mayores restricciones de tipo socioeconómico que enfrenta la región, por ser un medio para la generación de problemas de violencia y de migración campesina hacia áreas productivas de cultivos ilícitos.

La producción de agua permanece prácticamente constante entre la situación actual y aquella que resulta óptima para el modelo. De la misma manera, la producción de sedimentos tiene un incremento insignificante de 3,2 a 3,4 Tm/ha por año).

En la cuenca, se puede identificar la baja productividad de la mano de obra como el elemento más preocupante para el desarrollo de sistemas sostenibles. Todos los escenarios probables con el uso actual del suelo apuntan más a situaciones de desempleo y pobreza que de conflicto por el deterioro de recursos naturales. Las pérdidas estimadas de suelo alcanzan en promedio, 3.2 Tm/ha por año cifra que se considera media y no alta como se esperaba. Lo anterior se debe a que la mayoría de los sistemas de cultivo no requieren disturbar el suelo, a que las áreas que se tumban y queman para sembrar maíz son pequeñas, los índices de cobertura de los cultivos más importantes son altos y las lluvias tienen una muy adecuada distribución. La opción más atractiva económicamente y ambientalmente pareciera

ser la 'ganaderización' de la cuenca. Sin embargo, esta actividad tiene muy baja capacidad de generación de empleo para constituirse en una estrategia de desarrollo, en la medida que contribuye a incrementar la pobreza, el desempleo y los focos de violencia.

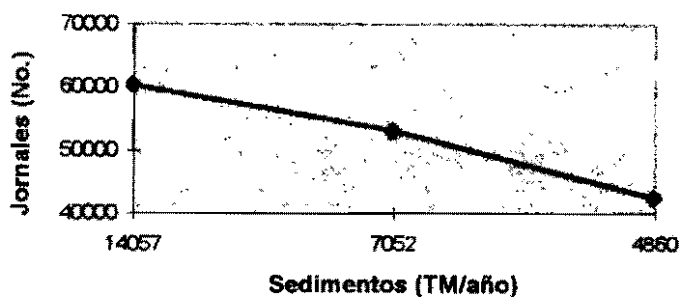
**Cuadro 4.3 Comparación entre el uso actual del suelo en la cuenca y el que propone el modelo de optimización.**

Actividad	Uso actual	Modelo óptimo
Café (ha)	117	0
Pasto (ha)	2.762	3.728
Cacao (ha)	167	0
Yuca (ha)	49	120
Plátano (ha)	97	0
Maíz (ha)	16	0
Maíz en callejones (ha)	0	0
Caucho (ha)	0	0
Descanso (ha)	838	202
Función objetivo (\$x1000 x finca)	5.864	6.172
Uso de mano de obra (No. jomales)	80.195	60.489
Aporte de agua (millones m3)	153,7	153,5
Sedimentos (Tm/año)	13.233	14.057

#### 4.1.5 Mejoramiento factible en el uso del suelo a partir de la valoración del agua y los sedimentos

La sensibilidad del modelo a la asignación de valores entre \$5 y \$40/m<sup>3</sup> al agua que se produce de manera marginal de asignación de valores hasta \$39.000/Tm, por no sedimentar no mostró cambio en el uso actual del suelo. Solamente cuando se tiene la disponibilidad para pagar \$40.000/Tm de sedimentos que se dejen de producir —un costo demasiado alto a pagar por el consumidor final como retribución al proceso de limpieza del agua— el modelo sugiere, como solución óptima, la reducción del área en pasto y la sustitución por rastrojos. Esta solución, sin embargo, generaría aún mayores conflictos con la dimensión social del sistema de producción en la medida que tiene un impacto negativo sobre la generación de empleo (Figura 4.1). En resumen, no se identificaron escenarios potenciales de valoración del recurso agua o de asignación de estímulos a la reducción en los niveles de sedimentación por parte de la sociedad de consumidores, que propicien cambios en el uso actual del suelo; de tal manera que la internalización de las

externalidades no necesariamente se reflejaría en diseños de sistemas más eficientes desde el punto de vista agroecológico.



**Figura 4.1 Intercambio entre la reducción de los niveles de sedimentación en la cuenca y la reducción en el número de jornales por año.**

#### 4.1.6 Cambios factibles de implementar en los sistemas de producción

El ejercicio de simulación introduciendo el cultivo de maíz en callejones de leguminosas arbóreas, indica que con los rendimientos obtenidos de manera experimental (1.400 kg/ha), no es factible generar cambios en los sistemas de producción de la cuenca (Cuadro 4.5). El modelo resulta sensible a incrementos en productividad superiores al 114%, o sea 3.000 kg/ha de maíz, meta que es prácticamente utópica para los programas de investigación en la región, debido a las características agroclimáticas y socioeconómicas en ella.

El ejercicio de simulación incorporando el cultivo del caucho, indica que es una opción competitiva toda vez que incrementa la función objetivo en un 56% y a él dedica todos los recursos de mano de obra y capital de la cuenca. Sin embargo, como un cultivo que genera 0,21 empleos permanentes por ha/año (Comité Agroindustrial de Caldas, 1997) la situación óptima desde el punto de vista económico tendría grandes restricciones de tipo social ya que solamente se emplearían 46.159 jornales (31% de los disponibles en la cuenca) y se generaría un excedente de 103.967 jornales, con el consiguiente agravamiento del problema de desempleo.

Desde el punto de vista agroecológico, el cultivo de cacao tiene mayores opciones de desarrollo que el café, siendo que ambos utilizan de manera intensiva mano de obra. Como aporte a la equidad, entendida como generación de opciones de empleo en la cuenca, el cacao pareciera tener el mayor potencial. Con un aumento en la productividad del 30% (de 400 kg/ha por año a 520 kg/ha por año) se obtiene un efecto notorio en el uso del suelo y, lo más importante, en la generación de empleo; en este caso, el modelo disminuye el área en pastos, elimina el área en yuca y

dedica 1.158 al cultivo de cacao, que dan empleo permanente a toda la mano de obra de la cuenca, sin efectos significativos en la producción de agua y mínimos en el incremento de la producción de sedimentos, al pasar de 3.2 a 4. Tm/ha (Cuadro 4.5).

Tanto por su aporte a la generación de empleo en la cuenca, como por permitir el mayor ingreso neto de los productores, la mejor opción tecnológica para incidir en los actuales sistemas de producción la constituyen los cultivos de caucho y cacao, pero asegurando una mayor productividad en este último (al menos 520 kg/ha por año). La función objetivo se maximiza a \$10.490.000, es decir, cinco salarios mínimos, que es un indicador de competitividad; y un menor uso consuntivo del agua y un relativo bajo aporte de sedimentos al lecho del río, indicadores de sostenibilidad agroecológica.

**Cuadro 4.5 Ejercicios de simulación del modelo introduciendo nuevas opciones tecnológicas para los sistemas de producción en la cuenca.**

Actividad	Maíz en callejones (1400 kg/ha)	Maíz en callejones (3000 kg/ha)	Caucho	Cacao (520 kg/ha)	Cacao (520 kg/ha) y caucho
Café (ha)	0	0	0	0	0
Pasto (ha)	3.728	2.738	0	2.468	0
Cacao (ha)	0	0	0	1.158	1.308
Yuca (ha)	120	0	0	222	0
Plátano (ha)	0	0	0	0	0
Maíz (ha)	0	0	0	0	0
Maíz callejones (ha)	0	1.110	0	0	0
Caucho (ha)	0	0	1.038	0	1.038
Descanso (ha)	202	202	3.012	202	1.704
Función objetivo (\$x1000 x finca)	6.172	6.647	9.173	9.061	10.490
Mano de obra (no. de jornales)	60.489	66.244	46.159	150.127	150.127
Aporte de agua (Millones m <sup>3</sup> )	153,5	153,8	154,3	153,8	154,3
Sedimentos (Tm/año)	14.057	14.154	9.325	16.670	14.948

El análisis de sensibilidad del modelo, utilizado como herramienta de evaluación ex-ante, hace más eficiente los procesos de investigación y de transferencia de tecnología. La alternativa del cultivo del maíz en callejones de leguminosas arbóreas,

en cuyo desarrollo se invirtieron 2 años de investigaciones, tiene escasa viabilidad porque requiere un incremento en productividad difícil de alcanzar. La alternativa del caucho, promocionada actualmente como la panacea para la cuenca, puede contribuir a agravar la situación de desempleo. En cambio, el cultivo del cacao, el cual no ha recibido escasa atención institucional, aparece como una opción competitiva, equitativa y sostenible, si se logra un incremento de 30% en su producción. El análisis indica la viabilidad del modelo para simular escenarios que no son factibles de llevar a la práctica y para entender los términos de intercambio entre los criterios para la conservación, la generación de empleo y la productividad de los campesinos.

## **4.2 Términos de Intercambio entre Criterios de Política en la Cuenca del Río San Antonio**

### **4.2.1 La elaboración de un modelo mental**

La Selva en Florencia (Caldas), localizada entre los 1.700 y los 2.100 m.s.n.m., es una zona particularmente rica en diversidad de fauna y flora, y es un factor fundamental para la regulación de caudales gracias a sus altos niveles de precipitación (más de 6.500 mm por año). No obstante, la deforestación acelerada está colocando en grave riesgo la sobrevivencia de este ecosistema; así, de una superficie boscosa de 11.400 ha en 1963 actualmente solo existen 6.600 ha. El río San Antonio nace en esta zona y constituye un importante afluente de la cuenca del río La Miel, donde actualmente se construye el complejo energético Miel I.

En la cuenca del río San Antonio habitan 253 familias localizadas en 3.972 ha. Según las características sociales, ambientales y de uso del suelo se han identificado cuatro tipos de finca por zonas: alta, media alta, media baja y baja. Debido a factores adversos a la producción como la baja luminosidad, la falta de variedades mejoradas adaptadas a estas condiciones e ineficiencias en el uso de fertilizante por los altos niveles de precipitación, los productores tienen pocas oportunidades de incrementar su ingreso a través de la productividad agropecuaria. Además, debido a los niveles de precipitación y las altas pendientes existentes, la zona es considerada como de alto riesgo para la degradación de suelos. Las prioridades que tienen los productores para el uso del suelo están determinadas por la necesidad de mejorar los rendimientos bajo las restricciones prevalentes, pero entran en conflicto con el interés de la represa de disponer de agua abundante y limpia que mejore sus retornos a la inversión.

El modelo mental para la construcción del modelo matemático se relacionó con la competencia por agua entre las actividades productivas agropecuarias y las necesidades de la represa, y con la competencia entre el uso actual del suelo y su impacto sobre la producción de sedimentos y los intereses de lograr una larga vida útil de aquella. El punto de partida para determinar los precios 'sombra' fueron los



parámetros de productividad agropecuaria en cada zona y el valor de los productos en el mercado. Se asume que la construcción de una de las represas más eficientes del mundo debe generar un alto costo de oportunidad a la disponibilidad y oportunidad del agua y a la reducción de sedimentos. El objetivo del ejercicio de optimización fue encontrar el punto en el cual, a través de valorar la producción de agua (en dos épocas distintas) y de sedimentos, resultaría factible propiciar un cambio sustancial en el uso actual del suelo.

#### **4.2.2 Recuperación de la información**

Se recopiló información de fuentes secundarias sobre veredas, clima, topografía, hidrografía y uso del suelo. Se aplicó una encuesta al 25% de los productores de la cuenca y se realizó un ejercicio de tipificación a partir de un análisis multivariado y de componentes principales, utilizando la matriz de correlación. El uso del agua y el estado de conservación de las bocatomas se evaluó mediante encuesta al 70% de las familias. El uso de los recursos y los ingresos totales en cada una de las cuatro zonas de la cuenca del río San Antonio se presentan en el Cuadro 4.6.

La zona alta se localiza en la Selva y en el reborde de la misma, a 1.352 m.s.n.m. en promedio, y posee los predios de mayor tamaño (42 ha) y de mayor proporción en monte y rastrojos. El cultivo más importante para la generación de ingresos es el café, seguido por los productos de la selva (carbón, leña y maderas). En el contexto de la cuenca, fincas generan los mayores ingresos netos (2.7 salarios mínimos). La zona media alta se localiza en promedio a 1.172 m.s.n.m. y posee las fincas de mayor pendiente (205%). Las fincas tienen 11.1 ha, y 4.4 ha están cultivadas en café del cual obtienen casi exclusivamente sus ingresos en efectivo. La zona media baja es la de mayor densidad de familias (102) y se localiza a 1.047 m.s.n.m., posee las fincas de menor tamaño en la cuenca (5.7 ha) y el uso más intensivo de la mano de obra (71 jornales/ha). En esta zona, el 55% de la finca se encuentra cultivada en café y es donde se obtiene la mayor productividad del mismo. Son las fincas de menor inversión, de menores ingresos (1.6 salarios mínimos) y de mayor venta de jornales por fuera de la finca. La zona baja, localizada en promedio a 857 m.s.n.m., se diferencia de las demás fundamentalmente por su vocación ganadera (21.2 unidades animal por predio), la mayor inversión que esta actividad exige y la diversificación de sus ingresos por el cultivo de la caña para la producción de panela.

**Cuadro 4.6** Uso de recursos e ingresos en cuatro zonas de la cuenca del río San Antonio.

	Alta	Media alta	Media baja	Baja
<b>Tierra</b>				
Area (ha)	1.754	967	582	669
Café (ha)	182	381	320	37
Pastos (ha)	191	135	53	397
Caña (ha)	5	44	60	42
Pancoger (ha)	46	71	40	17
Monte y rastrojos (ha)	1.330	337	109	175
<b>Mano de obra</b>				
Jornales disponibles	12.904	20.385	29.100	7.453
Café (jornales)	10.945	22.860	31.050	3.827
Pastos (jornales)	2.977	2.112	1.158	8.262
Caña (jornales)	132	2.176	5.215	3.456
Pancoger (jornales)	2.143	3.318	1.968	852
Monte y rastrojos (jornales)	5.318	1.346	435	701
Total (jornales)	21.517	31.812	39.826	17.098
<b>Gastos de capital</b>				
Café (\$x1000)	17.311	35.814	31.626	3.437
Pastos (\$x1000)	2.332	2.319	0	7.972
Caña (\$x1000)	0	0	270	0
Pancoger (\$x1000)	365	0	0	0
Monte y rastrojos (\$x1000)	0	0	0	0
Total (\$x1000)	20.008	38.132	31.896	11.409
<b>Capital de inversión</b>				
Café (\$x1000)	36.483	85.725	80.025	8.279
Pastos (\$x1000)	66.520	47.359	19.713	183.257
Caña (\$x1000)	658	4.352	5.995	4.215
Total (\$x1000)	103.661	137.435	105.732	195.751
<b>Ingresos</b>				
Café (\$x1000)	182.730	415.439	389.109	37.884
Leche y carne (\$x1000)	31.396	22.363	12.530	109.141
Panela (\$x1000)	1.034	11.575	41.513	28.660
Monte y rastrojos (\$x1000)	107.692	24.229	8.163	12.094
Total (\$x1000)	322.852	473.606	451.315	187.779

1 US\$ = \$1000 colombianos

Se esperaba que en la región existiera un uso muy intensivo de la tierra como consecuencia del tamaño de las familias y las escasas alternativas de trabajo fuera del sector agropecuario. No obstante, el 49% del área de las fincas se encuentra en bosque y rastrojos, alcanzando casi 76% en las de mayor tamaño, localizadas en la zona alta. Las pendientes en las fincas son muy pronunciadas y bajo los parámetros tradicionales de calidad de tierras estas no serían aptas para uso en la producción agropecuaria. La pendiente mínima encontrada en lotes específicos fue de 75%, llegando en ocasiones a niveles superiores al 300%. La pendiente promedio de los lotes en café es de 164% y de los lotes en pancoger 158. El uso de mano de obra es relativamente intenso: 110.249 jornales en total, es decir, 28 jornales/ha o 436 jornales/finca. Además de emplear totalmente la mano de obra familiar, se contratan en promedio, 218 jornales/finca. La contratación de jornales se concentra en las épocas de cosecha y en la travesía de café.

Además de la información sobre características de uso del suelo, se estimó el consumo de agua por parte de cada cultivo en las distintas zonas de la cuenca, utilizando el modelo CROPWAT de la FAO (Smith, 1993). Para verificar el aporte de agua que hace la subcuenca del río San Antonio a la cuenca de La Miel se estimaron durante 1 año los caudales en el punto de la desembocadura. Estas evaluaciones se hicieron cada 15 días, midiendo la velocidad del río (mediante el método del flotador) y diariamente el área del mismo (a partir de la altura del nivel).

Las pérdidas de suelo fueron estimadas con base en el modelo EPIC (Environmental Policy Integrated Climate) (Wischmeier, W.H. and Smith, D.D. 1978).

Adicionalmente, se instalaron cinco parcelas de escorrentía de 12 x 2 m, en los cultivos de maíz, yuca, frijol y rastrojos para comprobar los resultados del modelo EPIC (Arroyave et al., 1998). Para verificar el aporte total de sedimentos durante 1 año se realizaron mediciones diarias de turbidez del caudal en la desembocadura del río San Antonio, y a partir de ésta turbidez se estimó la cantidad de sólidos totales del agua.

Se utilizó el modelo 'Represas', desarrollado por CIAT-CONDESAN (Estrada, R. 1998, Com. Pers.) el cual simula el costo de oportunidad de los sedimentos, expresado como valor presente neto por tonelada de sedimentos. Este cálculo se hizo en base a los beneficios que se generan para el proyecto hidroeléctrico y utilizando los parámetros técnicos que publica la empresa constructora del proyecto (HIDROMIEL, 1997).

#### **4.2.3 Actividades y restricciones**

La información se integró en un modelo de programación lineal que optimiza, como función objetivo, el ingreso neto (ventas menos costos variables en efectivo) de los productores de la cuenca, utilizando los valores de cosecha que son los más representativos, aunque en general sean los más bajos. Además de este criterio de competitividad, se incorporó al modelo como criterio de sostenibilidad el escenario

bajo el cual se suceden cambios sustanciales en el uso actual del suelo para propiciar una menor pérdida de éste y un mayor aporte de agua al embalse en dos épocas diferentes (máxima y mínima precipitación). Se analizaron también las implicaciones del cambio en el uso del suelo sobre la generación de empleo, como criterio de equidad.

El modelo utilizó las restricciones sobre área, uso de mano de obra y capital, determinadas en la caracterización (Cuadro 4.7). Debido a que los cultivos de 'pancoger' son para autoconsumo y, en consecuencia, no aportan a la función objetivo, fue necesario incorporar en el modelo como mínimo, las áreas actuales. Las restricciones por mano de obra fueron determinadas por la disponibilidad actual, pero el modelo tuvo la opción de utilizar los jornales familiares en las actividades de la finca o venderlos para actividades fuera de la finca; la disponibilidad de jornales para contratar se estimó en 41.275. Así mismo, las restricciones de capital fueron determinadas por el uso actual, pero el modelo permitió tomar decisiones de inversión del productor, en cuyo caso afectó negativamente la función objetivo por el costo que tiene el capital (10% en términos reales).

**Cuadro 4.7 Restricciones utilizadas por el modelo de programación lineal.**

Zona	Capital	Area	Mano de Obra
Alta	20.008	1.754	12.904
Media Alta	38.133	967	20.385
Media Baja	31.896	582	29.100
Baja	11.409	669	7.453
<b>TOTAL</b>	<b>101.446</b>	<b>3.972</b>	<b>69.842</b>

En el Cuadro 4.8 se presenta la información utilizada para caracterizar cada una de las actividades que se le ofrecieron al modelo, en términos de sus requerimientos (capital, jornales y agua), generación de sedimentos y producción.

**Cuadro 4.8 Información sobre requerimientos y producción de las distintas actividades de uso del suelo en la zona alta de la cuenca del río San Antonio.**

	Unidad	Zona	Café	Pastos	*Vacas	Caña	Pancoger	Rastrojos
Insumos + depreciación	\$1000/ha	A	152	6	17	0	8	0
		MA	158	10	14	20	0	0
		MB	161	6	6	24	0	0
		B	158	10	16	20	0	0
Gastos en efectivo	\$1000/ha	A	95	0	11	0	8	0
		MA	94	4	8	0	0	0
		MB	99	0	0	4	0	0
		B	93	4	12	0	0	0
Capital	\$1000/ha	A	200	30	355	0	0	0
		MA	225	30	355	100	0	0
		MB	250	30	355	100	0	0
		B	225	30	360	100	0	0
Jornales	No./ha	A	60	12	4	0	47	4
		MA	60	12	4	50	47	4
		MB	97	18	4	87	49	4
		B	104	16	4	82	49	4
Consumo de agua en época de lluvia	m <sup>3</sup> /ha		7.260	7.000		7.500	7.500	3.000
Consumo de agua en época seca	m <sup>3</sup> /ha		2.740	3.000		2.800	2.800	1.000
Sedimentos	T/ha	A	34	3			108	8
		MA	47	4		27	79	5
		MB	15	2		10	49	1
		B	17	2		11	51	2
Producción	kg/ha	A	632		96			3
		MA	691		96	1.000		3
		MB	765		104	2.500		3
		B	650		126	2.500		3
Valor	\$/kg		1.600		1.100	273		27.000

Zonas: A = alta, MA = media alta, MB = media baja, B = baja

- \* La información sobre las vacas no está referida por ha sino por vaca. Además de la producción de carne, las vacas producen 259, 259, 437 y 302 l de leche/vaca, en las zonas A, MA, MB y B, respectivamente, con un valor de \$300/l. La producción del rastrojo está expresada en m<sup>3</sup>.

La precipitación fue de 7.539, 7.572 y 6.918 mm/año, en las zonas alta, media alta y media baja, y baja respectivamente, restringiendo el uso del modelo, de acuerdo con su distribución (Cuadro 4.9).

**Cuadro 4.9 Restricciones por disponibilidad de agua (m<sup>3</sup>/ha) en 4 zonas de la cuenca del río San Antonio.**

Epoca de precipitación	Alta	Media alta	Media baja	Baja
Máxima (época lluviosa)	55.690	56.790	53.000	53.000
Mínima (época seca)	19.700	18.930	16.180	16.180

En el análisis de sensibilidad del modelo se exploraron distintos escenarios, mediante la asignación de valores al agua generada de manera marginal en épocas de máxima y mínima precipitación, y a los sedimentos que se dejan de producir. De acuerdo con los resultados del modelo **Represas**, el ahorro que logra la sociedad de consumidores por reducción de los niveles de sedimentación comienza a ser importante después de 83 años de construcción de la presa, beneficios que trasladados a valor presente neto (VPN) representan \$2.560/t de sedimentos, considerando una tasa de sedimentos de 40 t/ha con incrementos de 10 t/ha en los años 10 y 20.

**4.2.4 Análisis del intercambio entre criterios de política**

En promedio, las fincas de la cuenca generan 2.04 salarios mínimos (\$172.000 por salario mínimo mensual). En términos generales, se observa una correlación positiva entre tamaño de las fincas e ingresos, excepto en la zona baja, que es marginal para café y donde, no obstante, un mayor tamaño relativo, la distribución que debe hacer el dueño del ganado de los beneficios de la producción de carne, hace que los ingresos netos sean bajos. Los resultados de la programación lineal indican que el uso del suelo se encuentra bastante ajustado a las condiciones de la región, si se considera que el incremento en la función objetivo, luego del ejercicio de optimización, fue de sólo 8% (Cuadro 4.10). Los principales cambios en el uso del suelo propuestos por el modelo de optimización se refieren a la reducción en las áreas en pasto en las zonas alta, media alta y media baja, y al incremento del área en pastos en la zona baja (reduciendo la porción en monte y rastrojos). En las zonas media alta y media baja se incrementan las áreas en café. La lógica de la racionalidad campesina, no incorporada al modelo, y que explica en gran medida las diferencias, se fundamenta en la necesidad de disponer de pastos para el mantenimiento de animales, con fines fundamentalmente de capitalización, de prevención de riesgos, y de autoconsumo, independiente de criterios económicos. La producción de agua se incrementa ligeramente a 264.8 m<sup>3</sup>, pero la de sedimentos también se incrementa de a 63.950 TM.

**Cuadro 4.10 Comparación entre el uso del suelo actual (ha) en las distintas zonas de la cuenca y el que propone el modelo de optimización.**

Actividad	Zona	Uso actual	Modelo óptimo
Café (ha)	Alta	182	182
	Media alta	381	465
	Media baja	320	395
	Baja	37	37
Pastos (ha)	Alta	191	0
	Media alta	135	0
	Media baja	53	0
	Baja	397	605
Caña (ha)	Alta	0	0
	Media alta	44	0
	Media baja	60	0
	Baja	42	10
Rastrojo (ha)	Alta	1.330	1.526
	Media alta	337	431
	Media baja	109	146
	Baja	175	0
	Función objetivo (\$x1000 x finca)	3.653	3.992
	Mano de obra (No. jornales)	111.051	111.118
	Aporte de agua (millones m <sup>3</sup> )	263.9	264.8
	Sedimentos (Tm)	60.121	63.950

La sensibilidad del modelo a la asignación de valores al agua que se produce de manera marginal, entre \$5 y \$40/ m<sup>3</sup>, fue mínima. Los valores de consumo de agua estimados por el modelo CROPWAT fueron muy similares entre las distintas coberturas del suelo, razón por la cual existe una baja capacidad de respuesta del modelo. La asignación de un valor al incremento en el volumen de agua en la cuenca no propicia cambios en el uso del suelo ni tiene impacto sobre la producción de agua o de sedimentos.

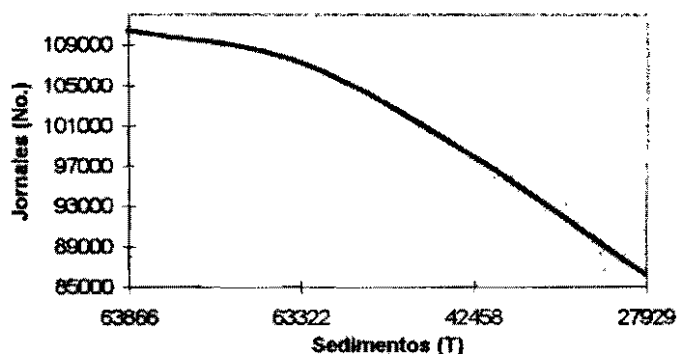
La sensibilidad del modelo para propiciar cambios en el uso del suelo por la asignación de un valor debido a la reducción en la producción de sedimentos resultó mayor que la valoración del agua. En el Cuadro 4.11, se observa que a medida que se coloca valor a la no-sedimentación se reducen los niveles, pero no se consigue

un impacto importante sobre el aporte de agua a la represa; el punto donde comienza a presentarse respuesta se encuentra alrededor de \$11.000/TM de sedimentos que se dejan de producir, un valor demasiado alto para la represa en la fase de construcción. En consecuencia, no debería esperarse que al asignar un valor a los sedimentos que se dejan de producir de (\$2.560/Tm), el cual debería estar dispuesta a pagar la represa por los beneficios que le representa, se logren cambios importantes en el uso del suelo en la cuenca.

**Cuadro 4.11** Análisis de sensibilidad del modelo de programación lineal a cambios en el precio de los sedimentos sobre la producción total de sedimentos (en Tm) y el aporte de agua a la represa (millones de m<sup>3</sup>).

Valor de los sedimentos no producidos (\$/Tm)	Aporte de sedimentos (Tm)	Aporte de agua (millones de m <sup>3</sup> )
0	63.950	264.8
4.000	63.866	264.8
8.000	63.322	264.8
12.000	42.458	266.0
16.000	33.463	261.8
20.000	33.463	261.8
24.000	27.929	264.2

En la Figura 4.2 se observa cómo la valoración de los sedimentos que se dejan de producir genera conflicto con la dimensión social del sistema de producción de la cuenca, en la medida que tiene un impacto negativo sobre la generación de empleo. Por otros lado, no sólo se reduciría la contratación de mano de obra por fuera de la finca, sino que llegaría a afectar, incluso, las posibilidades de empleo actual de la mano de obra familiar.



**Figura 4.2** Términos de intercambio entre la reducción de los niveles de sedimentación en la cuenca y la reducción en el número de jornales por año.



Una forma de reducir la cantidad de los sedimentos que se dejan de producir es mediante el desarrollo de prácticas de cultivo en las actividades de 'pancoger' y café, que tengan potencial para reducir la pérdida de suelo y, a la vez, incrementen la productividad del cultivo. Asumiendo inversiones de \$60.000/ha por año para prácticas de conservación en 751 ha en la cuenca y estimulando a los productores con \$6.000/Tm de sedimentos que se dejen de producir, se podría mantener el ingreso de los productores y reducir al mismo tiempo los niveles de sedimentación sin afectar la generación de empleo.

Existen escasas posibilidades para capturar recursos externos con el argumento de generar cambios en el uso del suelo que favorezcan un mayor retorno y una mayor vida útil al proyecto hidroeléctrico. La valoración del agua a niveles razonables para los consumidores no permitiría, ni en épocas de máxima ni mínima precipitación, incrementar los aportes a la cuenca. Los cambios en las prácticas de cultivo sugieren un impacto tan pequeño sobre la producción de agua disponible, que no resulta un escenario atractivo para la represa y, por ende, no constituye un término de negociación importante para los productores, máxime, si se tiene en cuenta que ellos no pueden controlar su aporte a la represa. De otra parte, los niveles de pérdida de suelo son relativamente bajos y para conseguir cambios sustanciales en su uso en la cuenca se requiere de inversiones mayores a las que la represa debería estar dispuesta a financiar por la internalización de las externalidades por reducción de sedimentos (\$2.560/Tm). La valoración de los sedimentos que se dejan de producir tendrían un momento oportuno de intervención después de 83 años de construida la presa. La Ley 99 de 1993 (Ley del Medio Ambiente) señala la obligatoriedad de la empresa que administra el proyecto de transferir el 6% de los recursos de la venta en bloque de energía para procesos de conservación y desarrollo. Parece lógico que en esta situación, la comunidad tenga, por un lado, mayor interés en negociar el apoyo a la educación como estrategia para el desarrollo y por otro mantener la participación en la gestión de la reserva que el Estado ha adquirido en la Selva de Florencia.

La información generada por los modelos constituyó un punto de partida para la valoración de los recursos que poseen los productores, la interiorización de dichos valores y la forma como ellos podrían plantear los términos de una eventual negociación con quienes diseñan las políticas ambientales y quienes se benefician de manera directa del proceso de conservación, entre ellos los consumidores de energía y la empresa que administra el proyecto hidroeléctrico.

## **4.3 Cuantificación Ex-ante del Intercambio entre Equidad, Productividad y Sostenibilidad para el Diseño de Alternativas Tecnológicas en el Cultivo de Arracacha**

### **4.3.1 La elaboración de un modelo mental**

La ubicación de Cajamarca (Tolima) con respecto a los mercados, su altitud, precipitación, materia orgánica en el suelo y ausencia de heladas, hacen de esta región un nicho adecuado para la producción de arracacha en Colombia. Los procesos erosivos, debidos a las pendientes extremas y el incremento en el uso de insecticidas para el control de la chiza, son costos ambientales que preocupan a los responsables del diseño de nuevas opciones tecnológicas para el mejoramiento del sistema. No obstante las grandes ineficiencias que se han identificado en el sistema como pérdidas de suelo de 20 t/ha, al 50% de la producción que no se puede comercializar por ataques de chiza y la contaminación de las aguas con agroquímicos, no se observan esfuerzos importantes por modificar el sistema.

En el proceso de producción de arracacha intervienen tres actores con intereses muy distintos, que se deben considerar para el diseño de la solución. El dueño de la tierra que tiene como objetivo renovar sus praderas para la explotación en lechería y que recibe el 50% de la producción. Un vendedor de insumos (medianero) que aporta semilla, fertilizantes e insecticidas y recibe el 25% de la producción. El campesino que aporta su mano de obra y recibe el 25% restante.

En consecuencia, las principales inquietudes que se quisieron resolver con el modelo fueron las siguientes:

- ¿Cuál es el efecto de las rotaciones sobre la producción de arracacha y de leche, bajo diferentes niveles de pérdida de suelo?
- ¿Cuál es el efecto de las prácticas de conservación de suelos sobre la producción de arracacha?
- ¿Cuál es el efecto del control de la erosión sobre el uso de mano de obra?
- ¿Cómo se distribuyen los beneficios entre distintos actores?

### **4.3.2 Recuperación de información**

En fuentes secundarias se recuperó información sobre crecimiento y desarrollo de la planta, manejo agronómico del cultivo, manejo de plagas y epidemiología de la chiza, costos de producción y mercadeo del producto (CORPOICA, 1994 y 1995). También, a partir de fuentes secundarias, se generaron parámetros en relación con pérdidas de suelo (Gamboa y Palomino, 1993) y efectos de las prácticas de control sobre la erosión, producción de los pastos y producción animal.

### 4.3.3 Actividades y restricciones

El peso máximo seco de la raíz tuberosa se obtiene a los 330 días, con una producción de 1.000 g por planta. El efecto del control biológico se puede considerar insignificante frente a la presión del insecto, razón por la cual los campesinos continúan aplicando 50 cm<sup>3</sup> por planta de una mezcla que contiene el 1% de furadán. La distancia de siembra no afecta la producción pero sí el volumen comercializable. Los costos de producción por hectárea para el aparcerero son de \$675.000 y para el medianero \$280.000.

Las relaciones entre pendiente del terreno, la distancia entre hileras, el área ocupada por la conservación y erosión se presentan en el Cuadro 4.11. Existe una relación directa entre la pendiente y el área necesaria para que la práctica de conservación tenga una eficiencia del 70%. Esta área se descuenta del área sembrada, incidiendo directamente en la producción por hectárea, igualmente, afecta el uso de jornales para conservación.

**Cuadro 4.11 Prácticas de conservación, área ocupada y pérdidas de suelo.**

Pendiente (%)	Distancia entre hileras (m)	Área ocupada en conservación (m <sup>2</sup> /ha)	Erosión (Tm/ha por año)
9	22.9	436	0.8
27	7.7	1.295	2.3
47	4.7	2.114	4.1
70	3.5	2.869	6.0
100	2.8	3.537	8.6

La producción de MS estimada de pasto (kikuyo) es de 20 t/ha por año, distribuida de manera proporcional a la precipitación, en dos períodos secos y dos húmedos. Se consideraron pérdidas por pisoteo animal del orden del 30%. No se consideraron opciones de fertilización de los pastos distintas al efecto residual de las rotaciones.

La producción de leche se caracteriza por el uso de animales Normando de doble propósito. Los machos son vendidos después del destete. La producción media es de 1.350 l/lactancia, la natalidad del 60% y la mortalidad de 2% en jóvenes y 3% en adultos. El peso al destete es de 140 kg a los 8 meses de edad.

#### **4.3.4 Análisis del efecto de las rotaciones sobre la producción de arracacha y leche, a diferentes niveles de pérdida de suelo**

El objetivo fundamental del propietario de la tierra es la producción de leche con un potencial para producir entre 2.500 y 4.300 lt/ha por año. La producción de arracacha se favorece por el número de veces que el cultivo se realice durante la rotación, pero la producción de leche tiene una tendencia inversa; es decir, a mayor número de rotaciones, la productividad es menor. El dueño de la tierra mantendrá su interés económico, aun cuando se realicen tres cultivos de arracacha por rotación, haciendo caso omiso de la pérdida de suelo, al menos hasta un nivel de 9 Tm/ha.

#### **4.3.5 Efecto de las prácticas de conservación sobre la producción de arracacha**

La realización de prácticas de control para reducir la erosión obliga al productor a sembrar menos arracacha, tener más área en conservación y disponer de menos pasturas. En consecuencia, a mayor restricción de pérdida de suelo menores son los volúmenes de producción.

#### **4.3.6 Relaciones entre control de la erosión y uso de mano de obra**

En un escenario en el cual la sociedad restringe los niveles de erosión posibles, el propietario se decide por utilizar ganadería, de bajo uso de mano de obra, y reducir la siembra de arracacha, que emplea mayor número de jornales. La consecuencia es una reducción sustancial de 76 jornales/ha cuando el nivel de erosión es de 9 Tm/ha a 35 cuando el nivel de erosión es de 5 Tm/ha.

#### **4.3.7 Distribución de los beneficios entre los distintos actores**

Cuando el precio de la arracacha es favorable (US\$ 0.9/kg), todos los actores reciben beneficios, independiente del nivel de restricción de erosión o del número de cultivos por rotación. Cuando el sistema se convierte en un buen negocio para todos, existe una motivación hacia la conservación.

Si el precio de la arracacha se reduce a US\$0.09/kg, quien más se beneficia es el dueño de la tierra, tanto más cuando se realizan 1, 2 ó 3 cultivos por rotación. El campesino que aporta su mano de obra y quien debe realizar las prácticas de conservación no sólo es quien menos ingresos recibe en el sistema, sino que es quien deja de ganar en la medida que se incrementa el número de cultivos de arracacha por rotación

En todos los escenarios, el propietario de la tierra es quien mayores beneficios recibe de la productividad del sistema. Sin embargo, cuando la sociedad le impone restricciones de control de erosión y la estrategia es reducir el número de cultivos

por ciclo de rotación, sus ingresos se reducen de US\$1.200 a 8US\$50/Tm por año, un costo demasiado alto para estar dispuesto a asumirlo bajo las actuales circunstancias.

Independiente de los precios de la arracacha, los mayores beneficios los obtiene el propietario de la tierra por la recuperación de los pastos. Como el propietario domina el sistema, la pérdida por erosión es menor en la medida que no permite varios cultivos de arracacha en el mismo lote.

Cuando la exigencia de reducir la erosión es pequeña, los cambios se suceden realizando prácticas de conservación en arracacha, a costa de los ingresos del campesino que aporta la mano de obra. Pero si la magnitud de las exigencias se incrementan, el propietario de la tierra está obligado a contribuir dedicando mayores áreas a descanso, reduciendo el área cultivada en arracacha y la generación de empleo.



## **Ejercicio 4.1 Análisis y Evaluación Ex-ante en el Manejo de los Recursos Naturales - Aplicaciones**

### **Objetivo**

El presente ejercicio está diseñado para que los participantes analicen y evalúen la aplicación de los modelos de simulación en la evaluación ex-ante, mediante la búsqueda de soluciones a interrogantes relacionados con la viabilidad de las propuestas del modelo y con el análisis de diferentes escenarios en la toma de decisiones en el manejo de los recursos naturales.

### **Orientaciones para el instructor**

1. Conforme grupos de trabajo de 4 a 6 participantes.
2. Suministre a cada grupo las hojas de trabajo, explicando su contenido.
3. Oriente el trabajo en grupo a la solución de las preguntas planteadas en la hoja de trabajo. Para ello, invite a los participantes a que determinen indicadores relacionados con el uso de los recursos tales como eficiencia, rentabilidad, costos, y valor del jornal, para que por medio de ellos comparen las diferentes salidas del modelo propuesto y emitan conclusiones al respecto.
4. Realice una plenaria donde cada grupo responda a cada una de las preguntas propuestas. Compare las apreciaciones e induzca un análisis sobre la aplicación de los modelos a realidades de los sitios de trabajo de los participantes.
5. Lleve a cabo la información de retorno con los participantes.

### **Recursos necesarios**

- Hoja de trabajo para cada uno de los participantes.
- papelógrafo y papel.
- Marcadores (mínimo dos por grupo).
- Calculadoras, mínimo una por cada grupo.

*Tiempo sugerido: 90 minutos.*

## **Ejercicio 4.1 Análisis y Evaluación Ex-ante en el Manejo de los Recursos Naturales – Aplicaciones**

### **Objetivo**

El presente ejercicio está diseñado para que los participantes analicen y evalúen la aplicación de los modelos de simulación en la evaluación ex-ante, mediante la búsqueda de soluciones a interrogantes relacionados con la viabilidad de las propuestas del modelo y con el análisis de diferentes escenarios en la toma de decisiones en el manejo de los recursos naturales.

### **Instrucciones para los Participantes**

1. Forme los grupos de trabajo indicados por el instructor
2. Nombren un relator
3. Tomando como base las hojas de trabajo, realicen la evaluación ex-ante del sistema. Algunos de los interrogantes podrían ser:
  - ¿Vale la pena hacer un mejor uso de los recursos de que dispone el productor?
  - ¿Qué sucedería si los productores dispusieran de crédito?
  - ¿Qué sucedería si el precio del maíz se redujera?
4. Después del análisis anterior, el grupo debe plantear por lo menos dos interrogantes que un investigador quisiera resolver mediante el uso de la programación lineal.
5. En plenaria, cada grupo presentará sus conclusiones



## Ejercicio 4.1 Análisis y Evaluación Ex-ante en el Manejo de los Recursos Naturales - Aplicaciones - Hoja de Trabajo

### Distribución de los recursos en el sistema de producción

Area promedio de la finca	: 8.3 ha
Capital disponible primer semestre	: US\$270
Capital disponible segundo semestre	: US\$190
Mano de obra familiar primer semestre	: 350 jornales
Mano de obra familiar segundo semestre	: 323 jornales

### Modelo tradicional con que cuenta el productor

Actividad	Tierra		Capital		Mano de obra		Ingreso neto	
	Sem 1 ha	Sem 2 ha	Sem 1 (US\$/ha)	Sem 2 (US\$/ha)	Sem 1 (jorn/ha)	Sem 2 (jorn/ha)	Sem 1 (US\$/ha)	Sem 2 (US\$/ha)
Maíz/sorgo	0.92	0	30.2	0	80	0	120	0
Sorgo 1 sem.	0.47	0	9.5	0	24	0	37.3	0
Maíz 2 sem.	0	0.47	0	17.5	0	52	0	83.2
Sorgo 2 sem.	0	0.5	0	13.5	0	22	0	67.2
Tabaco	0.92	0	157.2	0	174	0	759	0
tomate		0.22	0	157.2	0	384	0	34
Frijol	1	0	37.5	0	80	0	192	0
Yuca	0.15	0.15	29.3	37.5	60	58	40	40
Cítricos	0.5	0.5	35	29.3	17	17	60	60
Praderas	4.34	4.34	3.7	35	105	105	30	30
Aves (por ave)	0	0	1	3.7	0.35		2.17	2
Rastrojo	0	2.12	0	1	0	0.3	0	0
Jornales contratados	100	232		0		0		

Costo del jornal US\$2.

Ingreso neto total de la finca por año: US\$740

## Resultados de la programación lineal

1. La solución propuesta por el modelo matemático empleando los recursos con que cuenta el productor es la siguiente:

	Semestre 1	Semestre 2
	ha	ha
Maíz/sorgo	0.51	0
Sorgo 1 semestre	0.4	0
Maíz 2 semestre	0	0.08
Sorgo 2 semestre	0	0.74
Tabaco	0.82	0
tomate	0	0
Frijol	1.39	0
Yuca	0.15	0.15
Cítricos	0	0
Praderas	2	2
Aves (por ave)	57	57
Rastrojo	3.03	5.33
Jornales contratados	60	65

Area empleada semestre 1: 5.27 ha

Area empleada semestre 2: 2.97 ha

Capital empleado:

Semestre 1: US\$270

Semestre 2: US\$190

Función objetivo: US\$1200

## 2. Sensibilidad del modelo a cambios en capital

Los resultados del modelo explorando la posibilidad que el productor cuente con un mayor capital para invertir en las actividades de la finca son las siguientes:

Capital de US\$460			Capital de US\$860			Capital de US\$1410		
Actividad	Sem 1	Sem 2	Actividad	Sem 1	Sem 2	Actividad	Sem 1	Sem 2
	(ha)	(ha)		(ha)	(ha)		(ha)	(ha)
Maíz/sorgo	0.51	0	Maíz/sorgo	0.51	0	Maíz/sorgo	0.51	0
Sorgo 1 semestre	0.4	0	Sorgo 1 semestre	0.4	0	Sorgo 1 semestre	0.4	0
Maíz 2 semestre	0	0.08	Maíz 2 semestre	0	1.74	Maíz 2 semestre	0	4.63
Sorgo 2 semestre	0	0.74	Sorgo 2 semestre	0	0.74	Sorgo 2 semestre	0	0.74
Tabaco	0.82	0	Tabaco	2.57	0	Tabaco	5.37	0
tomate	0	0	tomate	0	0	tomate	0	0
Frijol	1.39	0	Frijol	2.86	0	Frijol	0.06	0
Yuca	0.15	0.15	Yuca	0.15	0.15	Yuca	0.15	0.15
Cítricos	0	0	Cítricos	0	0	Cítricos	0	0
Praderas	2	2	Praderas	2	2	Praderas	2	2
Aves (por ave)	57	57	Aves (por ave)	57	57	Aves (por ave)	57	57
Rastrojo	3.03	5.33	Rastrojo	0	3.7	Rastrojo	0	0.8
Jornales contratados	60	65	Jornales contratados	420	114	Jornales contratados	895	98
<p>Area empleada semestre 1 5.27 ha Area empleada semestre 2 2.97 ha</p> <p><b>Capital empleado:</b> Semestre 1: US\$270 Semestre 2: US\$190</p> <p><b>Función objetivo:</b> US\$1200</p>			<p>Area empleada semestre 1 5.27 ha Area empleada semestre 2 2.97 ha</p> <p><b>Capital empleado:</b> Semestre 1: US\$270 Semestre 2: US\$190</p> <p><b>Función objetivo:</b> US\$1200</p>			<p>Area empleada semestre 1 5.27 ha Area empleada semestre 2 2.97 ha</p> <p><b>Capital empleado:</b> Semestre 1: US\$270 Semestre 2: US\$190</p> <p><b>Función objetivo:</b> US\$1200</p>		

## Ejercicio 4.1 Análisis y Evaluación Ex-ante en el Manejo de los Recursos Naturales – Aplicaciones – Información de Retorno

Con base en el estudio de la información proveniente de las actividades, restricciones y función objetivo del modelo, así como de las soluciones planteadas en el modelo óptimo, se puede realizar el siguiente análisis:

1. Comparación del sistema tradicional vs. el modelo óptimo con recursos que cuenta el productor.
  - **Recurso tierra.** El modelo propone dejar en descanso una mayor cantidad de tierra durante el primer semestre, producto de la disminución del área en maíz /sorgo en un 50% y disminución de las praderas en 2.43 hectáreas (55%). El área en tabaco se mantiene similar y se propone un aumento en el área de frijol en aproximadamente 40% sobre el área sembrada tradicionalmente en el primer semestre. Igualmente, el modelo propone la no-siembra de tomate, maíz y cítricos. En cuanto a las aves, pasó de tener 34 aves en el modelo tradicional a 57 en la solución óptima.
  - **Recurso Mano de obra.** El modelo propone la contratación de un número menor de jornales (125) en comparación con los 332 empleados en el modelo tradicional.
  - **Recurso Capital.** El modelo emplea la totalidad del capital US\$460, al igual que en el modelo tradicional.
  - **Función Objetivo.** El ingreso neto familiar posible de lograr con el modelo mejorado es de US\$1200, en comparación con US\$740 del modelo tradicional

### Conclusiones:

El modelo propone una distribución de las actividades de tal forma que se emplee un menor número de jornales contratados, haciendo más eficiente la retribución al jornal familiar, al pasar de US\$1.1 a US\$1.7 por jornal, esto se logra aumentando la siembra de frijol y el número de aves en un porcentaje cercano al 50% de las actividades.

Igualmente, se puede concluir que el manejo y la toma de decisiones que los productores ejercen sobre los recursos del sistema tradicional está cercano al modelo propuesto, a excepción de las actividades de tomate y maíz en el segundo

semestre. Bien vale la pena profundizar sobre esta diferencia y preguntarse: ¿por qué esta situación?

2. **Sensibilidad a capital.** El modelo muestra cómo las soluciones óptimas responden positivamente al aumento de capital, el cual es empleado en la actividad tabaco, que da una retribución de US\$4.36/jornal, siendo este el mayor valor logrado por las actividades desarrolladas en el modelo tradicional. Con un aumento de la disponibilidad de capital de US\$400 se puede obtener un ingreso de US\$1200, valor que resulta cuatro veces superior a la inversión.

En conclusión, el modelo responde sensiblemente a cambios en capital, el cual se invierte en la actividad tabaco, exigiendo una mayor contratación de jornales. Esta situación se debe analizar en el contexto de la región donde se estructuró el modelo, ya que no se ha estimado ninguna restricción por contratación de jornales, situación que se puede dar en la medida que se siembre un número mayor de hectáreas en tabaco.

Del análisis de las soluciones presentadas por el modelo se puede concluir, adicionalmente, la gran sensibilidad del modelo por el uso de mano de obra. Esta sensibilidad debe llevar al grupo de investigadores y agentes de desarrollo a proponer alternativas tecnológicas que optimicen este recurso. Es así como propuestas en el manejo de los recursos naturales que impliquen una mayor inversión en mano de obra tendrán limitaciones en su adopción, debido a su exigencia en un factor limitante para el sistema.

## Bibliografía

- Abad, G. 1996. La Cuenca Hidrográfica del Río de Doña Juana. Corpoica, Creced Magdalena Medio Caldense, La Dorada, Caldas, Colombia. 22p.
- Arroyave, J.F.; Tapasco, J. A.; Rivera, B. y Obando, F.H. 1998. Viabilidad del uso del modelo de simulación de pérdida de suelo EPIC en zonas de ladera. Tesis de grado. Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad de Caldas. (Trabajo de grado de Ingeniería Agronómica).
- Cenicafé. 1992-1996. Anuarios Meteorológicos Cafeteros. Chinchiná, Caldas, Colombia.
- Comité Agroindustrial de Caldas. 1997. Perfil de Oportunidad del cultivo del Caucho. Manizales, Caldas, Colombia.
- ECOFONDO. Presentado en el tercer Simposio Latinoamericano sobre Investigación y Extensión en Sistemas Agropecuarios (IESA-AL III). Lima, Agosto 19-21 de 1998.
- Giraldo, B. J.; Narváez, O.; Urrea, M. 1993. Aspectos geológicos ambientales de la Cuenca Hidrográfica del Río Doña Juana. 130p.
- Guzmán, H. 1993. Estudio hidrológico de la quebrada Doña Juana departamento de Caldas. Instituto Colombiano de Hidrología y Meteorología y Adecuación de Tierras 'IMAT'. Santafé de Bogotá, D.C. Colombia. 39p.
- HIDROMIEL. 1997. Proyecto hidroeléctrico Miel I. Descripción general del proyecto. Manizales. 12 p.
- Loaiza, L. A. 1996. Caracterización de fincas de pequeños productores atendidos por la UMATA en el área de influencia del Creced Magdalena Medio Caldense. Corpoica Regional 9, Creced Magdalena Medio Caldense, La Dorada, Caldas, Colombia. 38p.
- Muñoz, C.I.; Ibarra, E. 1997. Caracterización socioeconómica de la Cuenca del Río Doña Juana. Corpoica Regional Nueve, Manizales, Caldas, (Colombia). 23p.
- Quiroga, M. 1994. Cobertura y uso actual del suelo de la Cuenca del Río Doña Juana. Gobernación de Caldas, Departamento Administrativo de Planeación. Manizales, Caldas. Colombia. 43p.
- Ríos, G.; Abad, G.; Rivera, B.; Estrada, R. D. 1998. Análisis de opciones de desarrollo en la cuenca alta del río Doña Juana - Victoria, Caldas, Colombia. Corpoica Regional 9, CONDESAN, COLCIENCIAS, Universidad de Caldas,

Rivera, J. J. ; Estrada, R. D. 1996. Cuantificación ex-ante del intercambio entre equidad, productividad y sostenibilidad para el diseño de alternativas tecnológicas. El caso del cultivo de la arracacha en Colombia. In: B. Rivera; R. Aubad (eds). El enfoque de sistemas de producción y la incorporación de criterios de política. Santa Fe de Bogotá, CORPOICA. p. 101-112.

PRONATTA. Presentado en el tercer Simposio Latinoamericano sobre Investigación y Extensión en Sistemas Agropecuarios (IESA-AL III). Lima, Agosto 19-21 de 1998.  
Rivera, B.; Estrada, R. D. 1998. Modelo para el empoderamiento de una comunidad local a partir del análisis de los términos de intercambio entre criterios de política. Fundación Eduquemos, Universidad de Caldas, CONDESAN-COLCIENCIAS,

Sánchez, M. H. 1998. Cultivo en Callejones : Un sistema Alternativo de producción sostenible en zonas de ladera del oriente caldense. CORPOICA, CRECED Magdalena Medio Caldense. La Dorada, Caldas, Colombia. 8p.

Smith, M. 1993. CROPWAT, Programa de ordenador para planificar y manejar el riego. FAO, Roma, Italia. 135p.

Wischmeier, W.H.; Smith, D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the rock mountains. Guide for selection of practices Soil and water conservation. United States. Department of Agriculture. Agricultural handbook N° 282. 1965. 47p.

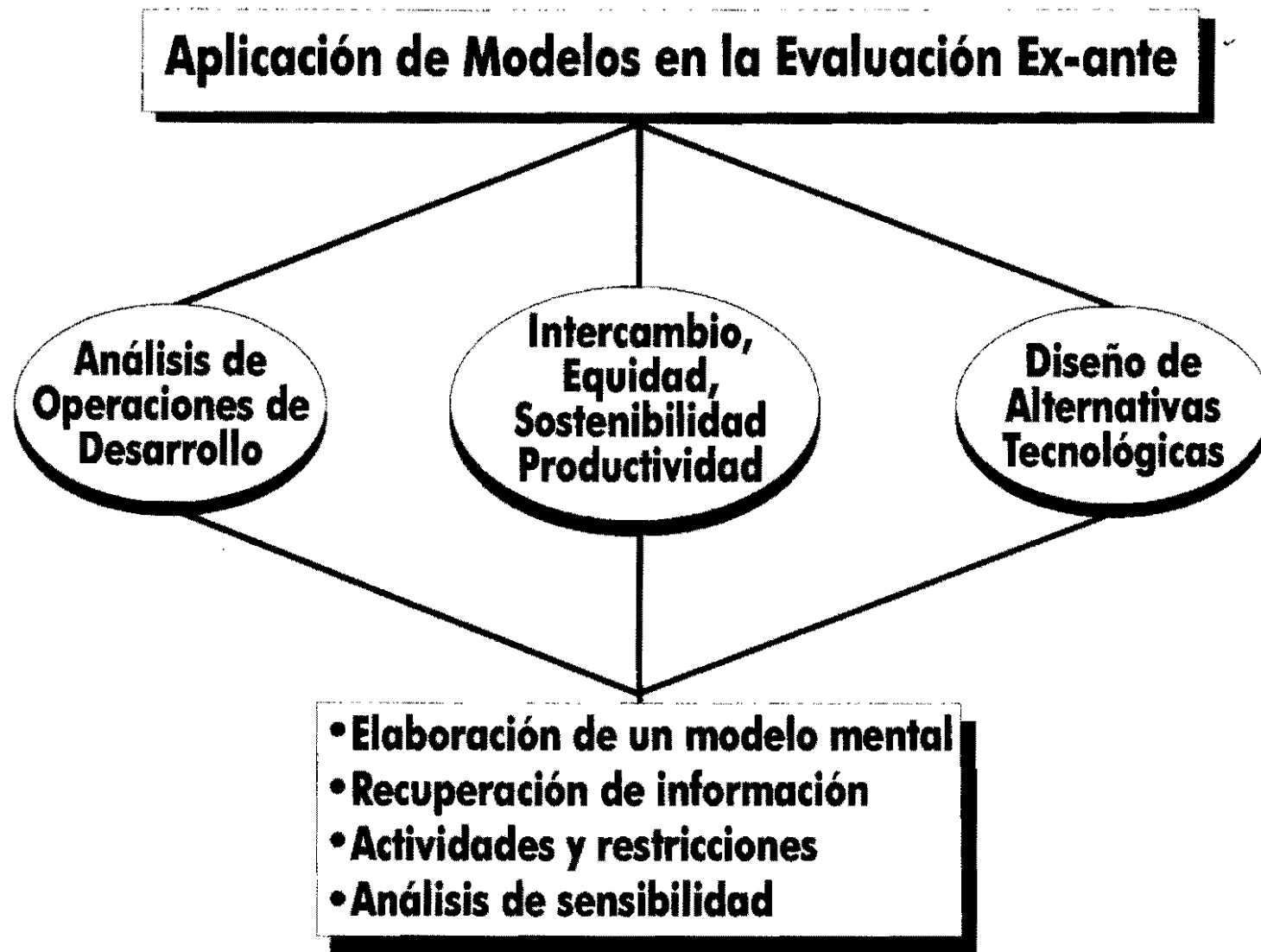




## Originales para Transparencias



# Estructura de la Sección





# Objetivos de la Sección

- ✓ **Describir los pasos metodológicos de la aplicación de modelos de simulación en la toma de decisiones en el manejo de los recursos naturales**
- ✓ **Explicar cómo se lleva a cabo la aplicación de modelos de simulación para el análisis de opciones de desarrollo de una cuenca**
- ✓ **Explicar cómo opera la aplicación de modelos de simulación en el cálculo de los términos de intercambio entre los criterios de política: sostenibilidad, equidad y productividad**
- ✓ **Aclarar cómo se aplican los modelos en la cuantificación del intercambio entre equidad, productividad y sostenibilidad en el diseño de alternativas tecnológicas**



# Preguntas Orientadoras

**1** ¿Cuales son las fases metodológicas para la aplicación de un modelo de simulación en la toma de decisiones para el manejo de los recursos naturales?

**2** ¿Cuales son algunas características relevantes en el uso de modelos de simulación para el análisis de opciones de desarrollo en una cuenca?

**3** ¿Cuales son las características relevantes en el uso de modelos de simulación para la identificación de los términos de intercambio entre los criterios de sostenibilidad, productividad y equidad en una cuenca?

**4** ¿Cuales son las características relevantes en el uso de modelos de simulación para la cuantificación ex-ante del intercambio entre equidad, productividad y sostenibilidad, en el diseño de alternativas tecnológicas?





# Recuperación de Información para la Cuenca del río Doña Juana

<b>Actividad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Café</b>	<b>Pasto</b>	<b>Vacas</b>	<b>Cacao</b>	<b>Anuales</b>	<b>Rastrojos</b>
<b>Insumos + Depreciación</b>	<b>\$ 1000/ha</b>	<b>225.9</b>	<b>10.0</b>	<b>16.2</b>	<b>50.0</b>	<b>20.0</b>	<b>0.0</b>
<b>Gastos en efectivo</b>	<b>\$ 1000/ha</b>	<b>168.8</b>	<b>5.0</b>	<b>12.2</b>	<b>0.0</b>	<b>20.0</b>	<b>0.0</b>
<b>Capital</b>	<b>\$ 1000/ha</b>	<b>200.0</b>	<b>30.0</b>	<b>360.0</b>	<b>250.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>
<b>Jornales</b>	<b>No./ha</b>	<b>117.0</b>	<b>12.0</b>	<b>5.0</b>	<b>90.0</b>	<b>94.0</b>	<b>10.0</b>
<b>Consumo de agua</b>	<b>m3/ha</b>	<b>1,008.0</b>	<b>1,008.0</b>		<b>756.0</b>	<b>760.0</b>	<b>1,008.0</b>
<b>Sedimentos</b>	<b>T/ha</b>	<b>8.8</b>	<b>2.2</b>	<b>0.8</b>	<b>5.9</b>	<b>10.0</b>	<b>1.2</b>
<b>Producción</b>	<b>kg/ha</b>	<b>800.0</b>		<b>*109</b>	<b>400.0</b>	<b>4,120.0</b>	<b>*3</b>
<b>Valor</b>	<b>\$/kg</b>	<b>1,587.0</b>		<b>1,250.0</b>	<b>412.0</b>	<b>1,800.0</b>	<b>*27000</b>

- \* La información de las vacas no está referida por ha sino por vaca.  
Además de la producción de carne, las vacas producen 313/lt de leche/  
vaca con un valor de \$ 400/lt
- La producción del rastrojo está expresada en m3



# Análisis del Modelo para Evaluar Opciones de Desarrollo

<b>Actividad</b>	<b>Maíz en callejones (1400 kg/ha)</b>	<b>Maíz en callejones (3000 kg/ha)</b>	<b>Caucho</b>	<b>Cacao (520 kg/ha)</b>	<b>Cacao (520 kg/ha) y caucho</b>
<b>Café (ha)</b>	0	0	0.0	0.0	0.0
<b>Pasto (ha)</b>	3,728.0	2,738.0	0.0	2,468.0	0.0
<b>Cacao (ha)</b>	0.0	0.0	0.0	1,158.0	1,308.0
<b>Yuca (ha)</b>	120.0	0.0	0.0	222.0	0.0
<b>Plátano (ha)</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Maíz (ha)</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Maíz callejones (ha)</b>	0.0	1,110.0	0.0	0.0	0.0
<b>Caucho (ha)</b>	0.0	0.0	1,038.0	0.0	1,038.0
<b>Descanso (ha)</b>	202.0	202.0	3,012.0	202.0	1,704.0
<b>Función objetivo (\$x1000 x finca)</b>	6,172.0	6,647.0	9,173.0	9,061.0	10,490.0
<b>Mano de obra (no. jornales)</b>	60,489.0	66,244.0	46,159.0	150,127.0	150,127.0
<b>Aporte de agua (millones m3)</b>	153.5	153.8	154.3	153.8	154.3
<b>Sedimentos (TM/año)</b>	14,057.0	14,154.0	9,325.0	16,670.0	14,948.0



# Recuperación de Información

## Cuenca del Río San Antonio

Actividad	Alta	Media Alta	Media Baja	Baja
<b>Tierra</b>				
Area (ha)	1,745.0	967.0	582.0	669.0
Café (ha)	182.0	381.0	320.0	37.0
Pastos (ha)	191.0	135.0	53.0	397.0
Caña (ha)	5.0	44.0	60.0	42.0
Pancoger (ha)	46.0	71.0	40.0	17.0
Monte y rastrojos (ha)	1,330.0	337.0	109.0	175.0
<b>Mano de obra</b>				
Jornales disponibles	12,904.0	20,385.0	29,100.0	7,453.0
Café (ha)	10,945.0	22,860.0	31,050.0	3,827.0
Pastos (ha)	2,977.0	2,112.0	1,158.0	8,262.0
Caña (ha)	132.0	2,176.0	5,215.0	3,456.0
Pancoger (ha)	2,143.0	3,318.0	1,968.0	852.0
Monte y rastrojos (ha)	5,318.0	1,346.0	435.0	701.0
Total (jornales)	21,517.0	31,812.0	39,826.0	17,098.0
<b>Gastos de Capital</b>				
Café (\$x1000)	17,311.0	35,814.0	31,626.0	3,437.0
Pastos (\$x1000)	2,332.0	2,319.0	0.0	7,972.0
Caña (\$x1000)	0.0	0.0	270.0	0.0
Pancoger (\$x1000)	365.0	0.0	0.0	0.0
Monte y rastrojos (\$x1000)	0.0	0.0	0.0	0.0
Total (\$x1000)	20,008.0	38,132.0	31,896.0	11,409.0
<b>Capital de Inversión</b>				
Café (\$x1000)	36,483.0	85,725.0	80,025.0	8,279.0
Pastos (\$x1000)	66,520.0	47,359.0	19,713.0	183,257.0
Caña (\$x1000)	658.0	4,352.0	5,995.0	4,215.0
Total (\$x1000)	103,661.0	137,435.0	105,732.0	195,751.0
<b>Ingresos</b>				
Café (\$x1000)	182,730.0	415,439.0	389,109.0	37,884.0
Leche y carne (\$1000)	31,396.0	22,363.0	12,530.0	109,141.0
Panola (\$x1000)	1,034.0	11,575.0	41,513.0	28,660.0
Monte y Rastrojos (\$x1000)	107,692.0	24,229.0	8,163.0	12,094.0
Total (\$x1000)	322,852.0	473,606.0	451,315.0	187,779.0

**1 US\$ = 1000**



# Estructura del Modelo para La Cuenca del Río San Antonio

Actividad	Unidad	Zona	Café	Pastos	*Vacas	Caña	Pancoger	Rastrojos
<b>Insumos + Depreciación</b>	\$1000/ha	A	152.0	6.0	17.0	0.0	8.0	0.0
		MA	158.0	10.0	14.0	20.0	0.0	0.0
		MB	161.0	6.0	6.0	24.0	0.0	0.0
		B	158.0	10.0	16.0	20.0	0.0	0.0
<b>Gastos en efectivo</b>	\$1000/ha	A	95.0	0.0	11.0	0.0	8.0	0.0
		MA	94.0	4.0	8.0	0.0	0.0	0.0
		MB	99.0	0.0	0.0	4.0	0.0	0.0
		B	93.0	4.0	12.0	0.0	0.0	0.0
<b>Capital</b>	\$1000/ha	A	200.0	30.0	355.0	0.0	0.0	0.0
		MA	225.0	30.0	355.0	100.0	0.0	0.0
		MB	250.0	30.0	355.0	100.0	0.0	0.0
		B	225.0	30.0	360.0	100.0	0.0	0.0
<b>Jornales</b>	No./ha	A	60.0	12.0	4.0	0.0	47.0	4.0
		MA	60.0	12.0	4.0	50.0	47.0	4.0
		MB	97.0	18.0	4.0	87.0	49.0	4.0
		B	104.0	16.0	4.0	82.0	49.0	4.0
<b>Consumo de agua invierno</b>	m <sup>3</sup> /ha		7,260.0	7,000.0		7,500.0	7,500.0	3,000.0
<b>Consumo de agua verano</b>	m <sup>3</sup> /ha		2,740.0	3,000.0		2,800.0	2,800.0	1,000.0
<b>Sedimentos</b>	T/ha	A	34.0	3.0			108.0	8.0
		MA	47.0	4.0		27.0	79.0	5.0
		MB	15.0	2.0		10.0	49.0	1.0
		B	17.0	2.0		11.0	51.0	2.0
<b>Producción</b>	kg/ha	A	632.0		96.0			3.0
		MA	691.0		96.0	1,000.0		3.0
		MB	765.0		104.0	2,500.0		3.0
		B	650.0		126.0	2,500.0		3.0
<b>Valor</b>	\$/kg		1,600.0		1,100.0	273.0		27,000.0

\* La información de las vacas no está referida por ha sino por vaca.

Además de la producción de carne, las vacas producen 259, 259, 437 y 302 l de leche/vaca, en las zonas

A, MA, MB y B respectivamente, con un valor de \$300/l. La producción del rastrojo está expresada en m<sup>3</sup>





# Análisis de Sensibilidad en la Cuantificación de los Intercambios

<b>Valor de los sedimentos no producidos (\$/TM)</b>	<b>Aporte de Sedimentos (TM)</b>	<b>Aporte de Agua (millones de m3)</b>
<b>0.0</b>	<b>63,950.0</b>	<b>264.8</b>
<b>4,000.0</b>	<b>63,886.0</b>	<b>264.8</b>
<b>8,000.0</b>	<b>63,322.0</b>	<b>264.8</b>
<b>1,200.0</b>	<b>42,458.0</b>	<b>266.0</b>
<b>16,000.0</b>	<b>33,463.0</b>	<b>261.8</b>
<b>20,000.0</b>	<b>33,463.0</b>	<b>261.8</b>
<b>24,000.0</b>	<b>27,929.0</b>	<b>264.2</b>



# **Análisis de Sensibilidad en la Cuantificación de los Intercambios**

<b>Pendiente (%)</b>	<b>Distancia entre hileras (m)</b>	<b>Area ocupada en conservación (m<sup>2</sup>/ha)</b>	<b>Erosión (TM/ha/año)</b>
<b>9.0</b>	<b>22.9</b>	<b>436.0</b>	<b>0.8</b>
<b>27.0</b>	<b>7.7</b>	<b>1,295.0</b>	<b>2.3</b>
<b>47.0</b>	<b>4.7</b>	<b>2,114.0</b>	<b>4.1</b>
<b>70.0</b>	<b>3.5</b>	<b>2,869.0</b>	<b>6.0</b>
<b>100.0</b>	<b>2.8</b>	<b>3,537.0</b>	<b>8.6</b>



# Usos de Recursos e Ingresos Promedio de las Fincas Tipo en 4 Zonas de La Cuenca del Río San Antonio

Actividad	Alta	Media Alta	Media Baja	Baja
<b>Tierra</b>				
Area (ha)	42.0	11.1	5.7	29.8
Café %	10.4	39.4	55.0	5.5
Pastos %	10.9	14.0	9.1	59.4
Caña %	0.3	4.5	10.3	6.3
Pancoger %	2.6	7.3	6.9	2.6
Monte y rastrojos %	75.8	34.8	18.7	26.2
<b>Mano de obra</b>				
Jornales disponibles	309.0	234.0	285.0	332.0
Café (jornales)	262.0	262.0	304.0	170.0
Pastos (jornales)	55.0	19.0	9.0	283.0
Caña (jornales)	3.0	25.0	51.0	154.0
Pancoger (jornales)	51.0	38.0	19.0	38.0
Monte y rastrojos (jornales)	127.0	15.0	4.0	31.0
<b>Capital</b>				
Café (\$x1000)	414.0	411.0	310.0	153.0
Pastos (\$x1000)	0.0	6.0	0.0	71.0
Caña (\$x1000)	0.0	0.0	3.0	0.0
Pancoger (\$x1000)	9.0	0.0	0.0	0.0
Monte y rastrojos (\$x1000)	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Ingresos</b>				
Café (\$x1000)	4,375.0	4,769.0	3,811.0	1,687.0
Leche y carne (\$1000)	434.0	148.0	57.0	2,944.0
Panela (\$x1000)	25.0	133.0	407.0	1,277.0
Pancoger (\$x1000)	0.0	0.0	0.0	0.0
Monte y Rastrojos (\$x1000)	2,579.0	278.0	80.0	539.0

1 US\$ = 1000



# **Comparación entre el Uso Actual del Suelo en la Cuenca y el que Propone el Modelo de Optimización**

<b>Actividad</b>	<b>Uso Actual</b>	<b>Modelo Optimo</b>
<b>Café (ha)</b>	<b>117.0</b>	<b>0.0</b>
<b>Pastos (ha)</b>	<b>2,762.0</b>	<b>3,728.0</b>
<b>Cacao (ha)</b>	<b>167.0</b>	<b>0.0</b>
<b>Yuca (ha)</b>	<b>49.0</b>	<b>120.0</b>
<b>Plátano (ha)</b>	<b>97.0</b>	<b>0.0</b>
<b>Maíz (ha)</b>	<b>16.0</b>	<b>0.0</b>
<b>Maíz en callejones (ha)</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>
<b>Caucho (ha)</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>
<b>Descanso (ha)</b>	<b>838.0</b>	<b>202.0</b>
<b>Función objetivo (\$x1000xfinca)</b>	<b>5,864.0</b>	<b>6,172.0</b>
<b>Uso de mano de obra (No. Jornales)</b>	<b>80,195.0</b>	<b>60,489.0</b>
<b>Aporte de agua (millones m3)</b>	<b>153.7</b>	<b>153.5</b>
<b>Sedimentos (Tm/año)</b>	<b>13,233.0</b>	<b>14,057.0</b>

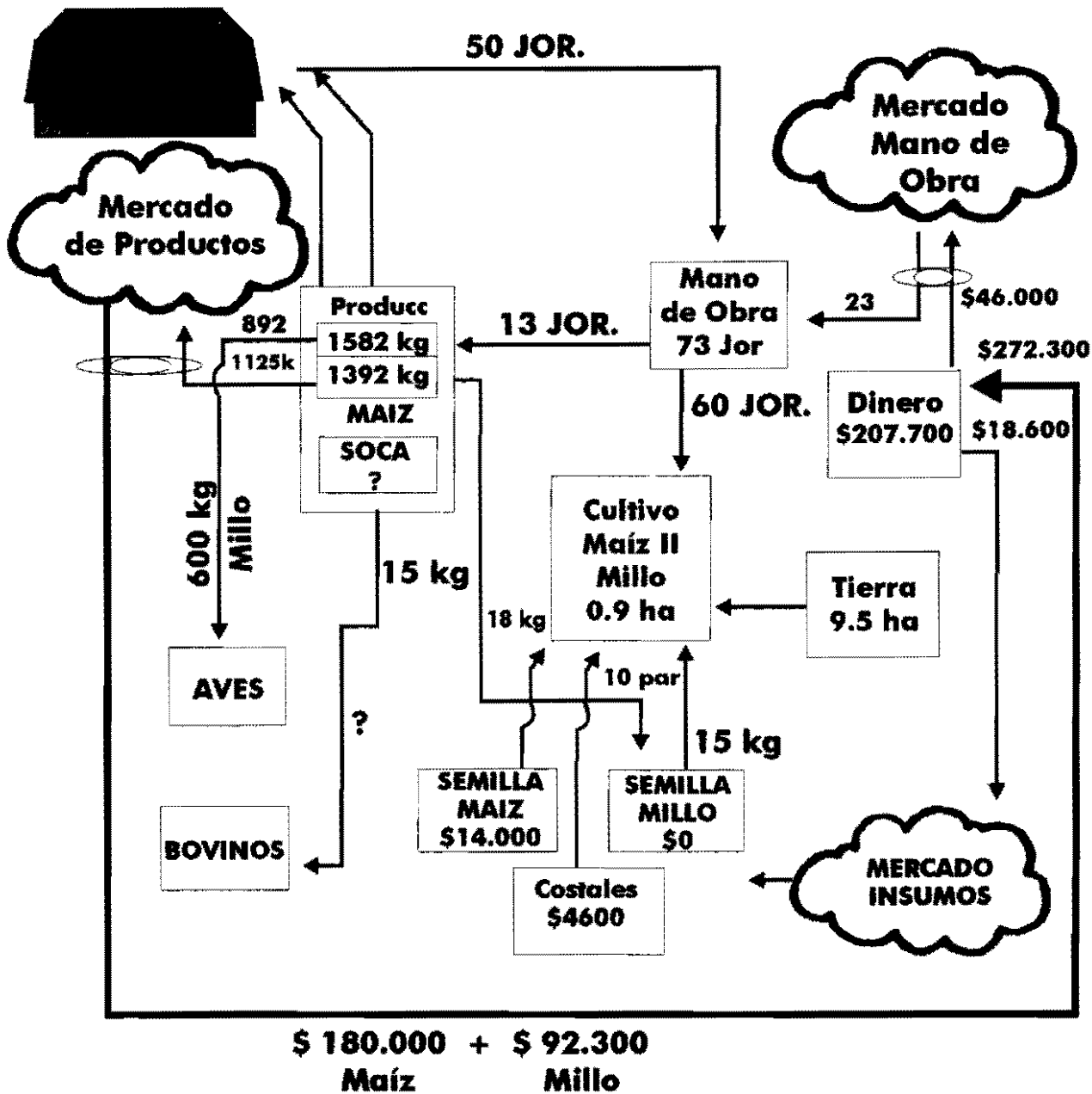




# Comparación entre el Uso Actual (ha) en las Distintas Zonas de la Cuenca y el que Propone el Modelo de Optimización

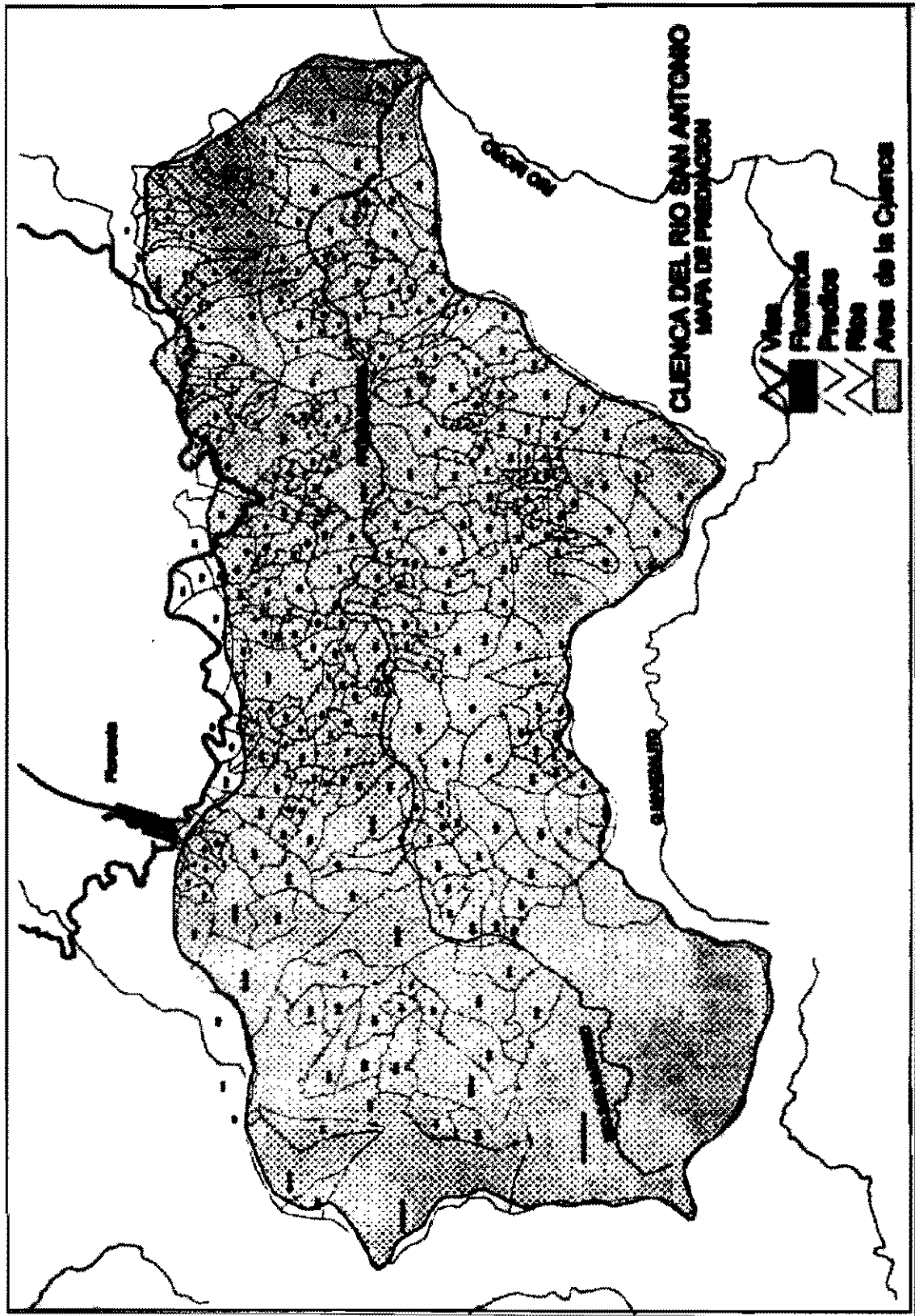
Actividad	Zona	Uso Actual	Modelo Optimo
<b>Café (ha)</b>	<b>Alta</b>	<b>182.0</b>	<b>182.0</b>
	<b>Media alta</b>	<b>381.0</b>	<b>465.0</b>
	<b>Media baja</b>	<b>320.0</b>	<b>395.0</b>
	<b>Baja</b>	<b>37.0</b>	<b>37.0</b>
<b>Pastos (ha)</b>	<b>Alta</b>	<b>191.0</b>	<b>0.0</b>
	<b>Media alta</b>	<b>135.0</b>	<b>0.0</b>
	<b>Media baja</b>	<b>53.0</b>	<b>0.0</b>
	<b>Baja</b>	<b>397.0</b>	<b>605.0</b>
<b>Caña (ha)</b>	<b>Alta</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>
	<b>Media alta</b>	<b>44.0</b>	<b>0.0</b>
	<b>Media baja</b>	<b>60.0</b>	<b>0.0</b>
	<b>Baja</b>	<b>42.0</b>	<b>10.0</b>
<b>Rastrojo (ha)</b>	<b>Alta</b>	<b>1,330.0</b>	<b>1,526.0</b>
	<b>Media alta</b>	<b>337.0</b>	<b>431.0</b>
	<b>Media baja</b>	<b>109.0</b>	<b>146.0</b>
	<b>Baja</b>	<b>175.0</b>	<b>0.0</b>
	<b>Función objetivo (\$x1000xfinca)</b>	<b>3,653.0</b>	<b>3,992.0</b>
	<b>Mano de obra (No. jornales)</b>	<b>111,051.0</b>	<b>111,118.0</b>
	<b>Aparte de agua (millones m3)</b>	<b>263.9</b>	<b>264.8</b>
	<b>Sedimentos (Tm)</b>	<b>60,121.0</b>	<b>63,950.0</b>





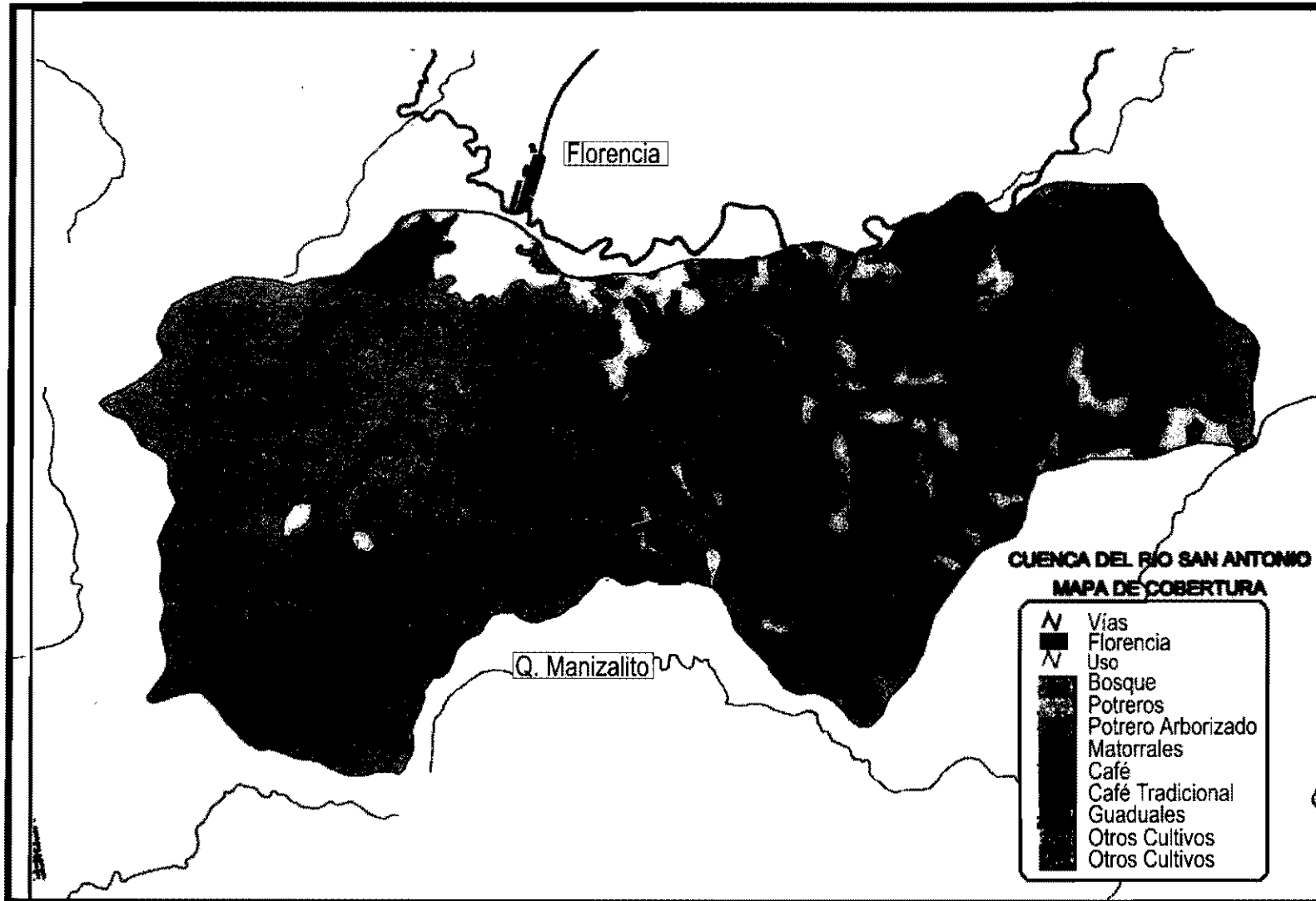


# Cuenca del Río San Antonio





# Cuenca del Río San Antonio

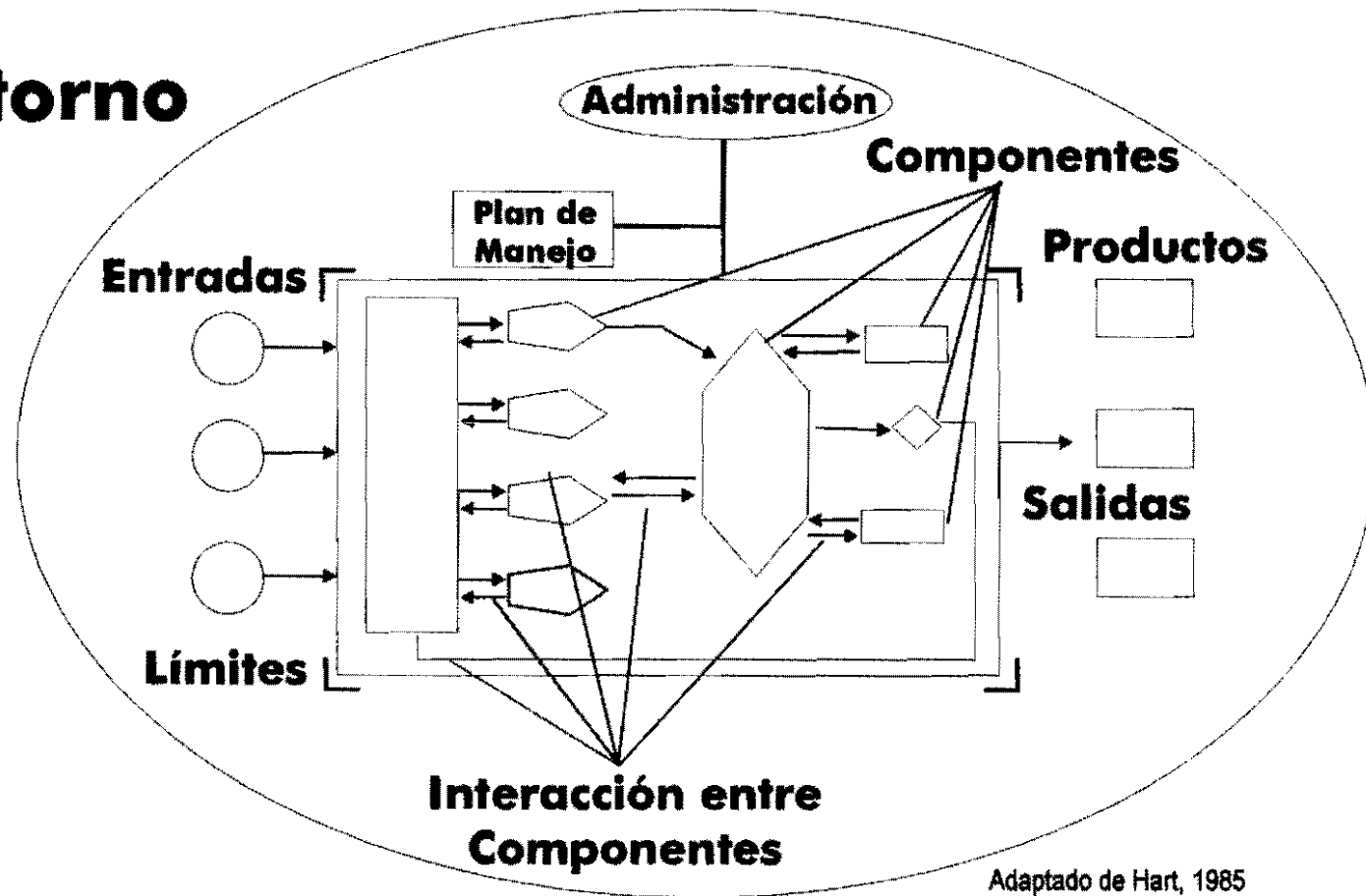






# Elementos de un Sistema de Producción Agropecuaria, La Finca como Ejemplo

**Entorno**





# Anexos



## Anexos

	<b>Página</b>
Anexo 1. Evaluación Final de Conocimientos.....	A-5
Anexo 2. Evaluación Final de Conocimientos - Información de Retorno .....	A-7
Anexo 3. Evaluación del Evento.....	A-10
Anexo 4. Autoevaluación del Desempeño del Instructor .....	A-13
Anexo 5. Evaluación de los Materiales de Capacitación .....	A-17
Anexo 6. Anexos Técnicos .....	A-18
Anexo 6.1 Referencias sobre Aplicación del Modelo EPIC.....	A-18
Anexo 6.2 Simulación del CROPWAT en los Cultivos de Maíz, Frijol y Tomate en la Región del Carchi, Ecuador .....	A-23
Anexo 6.3 Diferentes Parámetros en el Modelo LADERA.....	A-35



## Anexo 1. Evaluación Final de Conocimientos

### Instrucciones:

A continuación le solicitamos que conteste algunas preguntas. Esta no es una evaluación sino un ejercicio que nos permite compartir los conocimientos logrados a lo largo del evento de capacitación. Se desea 'socializar' los aspectos ensamblados en los diferentes momentos de aprendizaje brindados por la guía y mediante una acción colectiva realizar un cierre a las actividades de enseñanza y aprendizaje.

De esta forma, usted tendrá un instrumento de evaluación sobre la experiencia vivida a lo largo del taller sobre la toma de decisiones en el manejo de los recursos naturales.

### Preguntas

1. ¿Cuál considera usted que es el aporte más relevante que se ofrece en la guía 'utilización de modelos de simulación para la evaluación ex-ante' para el proceso de toma de decisiones en el manejo de los recursos naturales en ladera?

---

---

---

---

---

---

---

2. ¿Cuál es la principal contribución de la evaluación ex-ante a su desempeño profesional en proyectos de manejo de recursos naturales en ladera?

---

---

---

---

---

---

---

3. ¿Cuál considera usted que es el aporte de los modelos de simulación EPIC, CROPWAT, LADERA y modelos de programación lineal en la toma de decisiones para el manejo de los recursos naturales?

---

---

---

---

---

---

---

4. ¿Cuál es el procedimiento metodológico en la aplicación de modelos de simulación para la toma de decisiones en la evaluación ex-ante?

---

---

---

---

---

---

---



## **Anexo 2. Evaluación Final de Conocimientos - Información de Retorno**

### **Instrucciones**

Ahora usted ha examinado su percepción y conocimientos sobre la utilización de modelos de simulación en la evaluación ex-ante. Compare sus respuestas con nuestras sugerencias, con el fin de construir un modelo mental que le permita abordar con una mayor precisión y control las decisiones sobre el manejo de los recursos naturales en un proyecto que este ejecutando o vaya a ejecutar en su localidad o región.

### **Para la pregunta 1**

### **Respuestas**

Los aportes de la guía 'Utilización de modelos de simulación para la evaluación ex-ante', están dirigidos en los siguientes aspectos:

- Permitir a los investigadores y agentes de desarrollo, integrarse a los diferentes niveles jerárquicos en un análisis de los recursos naturales, contribuyendo significativamente a que los equipos interdisciplinarios de trabajo contemplen la asignación total de los recursos y las interacciones de los subsistemas, en especial, el suelo y la productividad.
- Los modelos de simulación permiten a los investigadores integrar los enfoques disciplinarios desarrollados en los componentes bióticos de las unidades de análisis de los recursos naturales, con el enfoque holístico necesario para abordar integradamente los componentes suelo, planta, clima, y hombre en los sistemas de producción en zonas de laderas. De esta forma, se generan espacios que motivan el trabajo interdisciplinario y se ofrecen a los participantes en los equipos de trabajo inquietudes en la explicación y comprensión de los sistemas de producción. De esta forma se aumenta la capacidad de análisis de los grupos para abordar con mayor precisión y control las decisiones que se adopten sobre el manejo de los recursos naturales.
- La utilización de modelos en la evaluación ex-ante ofrece a los investigadores la oportunidad de construir un modelo mental sobre la realidad de los sistemas de producción, incorporando preguntas concretas bajo condiciones específicas.
- Otra contribución es el acceso que los modelos de simulación permiten a los investigadores para incorporar la variable tiempo en el análisis. Esto se facilita por la simulación, al ofrecer un conjunto de escenarios posibles que favorecen

enormemente la toma de decisiones, a diferentes niveles jerárquicos, en el manejo y conservación de los recursos naturales en zonas de ladera.

- Igualmente, la información suministrada por los modelos de simulación ofrece a las comunidades de agricultores la oportunidad de involucrarse en el proceso de desarrollo. Mediante el uso de la información ofrecida por los modelos sobre el efecto ocasionado por las prácticas agrícolas en los recursos naturales, así como la relación de sus actividades agrícolas con otros sectores de la producción o áreas geográficas, pueden orientar de una forma más consciente y precisa sus acciones en relación con los recursos naturales.

## **Para la pregunta 2**

En el proceso de toma de decisiones en proyectos de investigación y desarrollo rural se encuentra la etapa del diseño de alternativas tecnológicas, en la cual el equipo de investigadores explora diferentes propuestas para la construcción de sistemas de producción más eficientes desde el punto de vista físico - biológico, económico, social y energético. La evaluación ex-ante contribuye en forma significativa a la respuesta a la pregunta: ¿Qué pasaría?, ya que ofrece la oportunidad a los investigadores de anticipar la bondad o limitación de los resultados de las decisiones en el manejo de recursos naturales, en especial, en el uso de propuestas tecnológicas. Adicionalmente permite analizar las posibilidades de que esta tecnología cumpla con los objetivos del proyecto y contribuya a satisfacer las inquietudes que plantea la sociedad en relación con el uso racional de los recursos naturales, la protección del ambiente, el crecimiento económico y la capacidad de competencia en una economía globalizada.

## **Para la pregunta 3**

Los modelos permiten la simulación de la erosión del suelo en función de sus características, uso, condiciones climáticas y topográficas, y estructuras de costos y mercadeo. Estos modelos permiten simular la pérdida de suelo y la productividad agrícola, al igual que el efecto de implementar prácticas conservacionistas sobre la disminución de la erosión, la escorrentia y la productividad biológica y económica de los sistemas de producción.

Los modelos de simulación permiten, también analizar el efecto de un factor de producción sobre la función objetivo, facilitando así elementos para la cuantificación y valoración de los recursos naturales. Permiten hacer análisis integrados de los diferentes componentes del sistema facilitando la creación de un conjunto infinito de escenarios posibles, producto de cambios tanto de los factores internos de producción, como en los externos y condicionantes de los sistemas, tales como mercadeo, y precios de los productos.

Los modelos propuestos permiten evaluar el impacto que una política o una acción concreta tiene sobre los diferentes actores y niveles jerárquicos de los sistemas de producción analizados.

#### Para la pregunta 4

En términos generales, la aplicación de modelos de programación lineal implica un procedimiento metodológico que incorpora las fases siguientes:

- a. **Elaboración de un modelo mental.** Constituye el punto de partida que determina la utilidad del modelo matemático y es específico a cada caso particular. Los modelos no son universales, sino que se construyen para que respondan preguntas concretas bajo condiciones específicas. El modelo mental guarda relación con el tipo de preguntas que quisiera responder quien lo opera. La estructura y la función del modelo se orientan justamente a responder tal o tales inquietudes.
- b. **Recuperación de información.** El equipo de investigadores o de agentes de desarrollo debe tomar una decisión sobre la disponibilidad de información para alimentar el modelo, de tal forma que este adquiera la capacidad para responder las distintas inquietudes que plantea el modelo mental. Existe un rango muy amplio de condiciones específicas en las cuales la información puede estar, o totalmente disponible o totalmente ausente, en fuentes secundarias. Quienes construyen el modelo deben evaluar la calidad de la información disponible y las implicaciones para la captura en fuentes primarias de la información faltante.
- c. **Actividades y restricciones.** Con la información recolectada se definen las restricciones del modelo y las actividades alternativas que puede desarrollar.
- d. **Análisis de sensibilidad.** Una de las mayores fortalezas que tienen los modelos de programación lineal es la capacidad para responder de manera inmediata a cualquier cambio en los parámetros utilizados. Mediante cambios en los parámetros de actividades y restricciones se puede plantear un sinnúmero de escenarios potenciales, muchos de ellos imposibles de llevar a cabo en la práctica o cuyo alto costo no sería posible asumir. Estos escenarios potenciales constituyen la información más importante que aportan los modelos al análisis.

## Anexo 3. Evaluación del Evento<sup>1</sup>

Nombre del tema o temas tratados:

---

Fecha: \_\_\_\_\_

### Apreciado participante:

Deseamos conocer sus opiniones sobre las actividades realizadas el día de hoy. No necesita firmar este formulario; de la sinceridad en sus respuestas depende en gran parte el mejoramiento de esta actividad.

La evaluación incluye dos componentes:

a) La escala 0 a 3 sirve para que usted asigne un valor a cada uno de los aspectos que se evalúan:

- 0 = Malo, inadecuado
- 1 = Regular, deficiente
- 2 = Bueno, aceptable
- 3 = Muy bueno, altamente satisfactorio

b) Debajo de cada pregunta hay un espacio para comentarios de acuerdo con el puntaje asignado. Refiérase a los aspectos **positivos** y **negativos** y deje en blanco los aspectos que no aplican en el caso de las actividades realizadas el día de hoy.

1.0 Evalúe el (los) objetivo (s) que se esperaba lograr el día de hoy.

1.1 ¿Correspondió o correspondieron a las necesidades institucionales y personales y las expectativas que usted traía?

0	1	2	3
---	---	---	---

Comentarios: \_\_\_\_\_

---

---

---

<sup>1</sup> Formato para evaluar los talleres de capacitación en los cuales se ha incluido una o varias de las Guías. Se puede usar día a día a lo largo de un taller de una o más semanas.



5.0 ¿Qué actividades realizará en el corto plazo en su institución para aplicar o transferir lo aprendido en este día?

---

---

---

---

---

---

6.0 ¿Estaría interesado en que esta capacitación se llevara a cabo en su institución? ¿En qué forma?

---

---

---

---

---

---

**¡Gracias por sus respuestas y comentarios!**

## Anexo 4. Autoevaluación del Desempeño del Instructor

Fecha: \_\_\_\_\_

Nombre del instructor \_\_\_\_\_

Tema (s) Desarrollado(s): \_\_\_\_\_

### Instrucciones

Apreciado instructor:

A continuación aparece una serie de descripciones de comportamientos que se consideran deseables en un buen instructor. Estas han sido recogidas de la literatura educativa con respecto a las características que describen un buen docente o una buena capacitación.

Con este instrumento se pueden analizar cuatro dimensiones del desempeño del instructor: (1) organización y claridad, (2) conocimiento del tema, (3) habilidades de interacción, y (4) dirección de la práctica. Para cada una de estas dimensiones se incluyen descriptores frente a los cuales la persona que se autoevalúa puede marcar si el comportamiento descrito fue ejecutado o no por ella, durante la capacitación.

Marque una **X** en la columna **SI** cuando usted esté seguro de que ese comportamiento estuvo presente en su conducta, independientemente de la calidad con la cual podría evaluarse su ejecución.

Marque una **X** en la columna **NO** cuando usted esté seguro de que no se observó ese comportamiento.

El proceso de autoevaluación tiene dos momentos: (1) cuando se está preparando para la capacitación, el instructor hace una revisión de cada ítem para recordar todos los aspectos que debe tener en cuenta para que su desempeño sea exitoso; (2) inmediatamente después de la capacitación, para reconocer los desempeños que no tuvieron lugar durante la misma, por diferentes causas.

Cada instructor, en forma individual, es el primer beneficiario de la autoevaluación. Este instrumento le ayuda a mejorar su desempeño en futuras actividades de capacitación.

Este formulario también puede entregarse a algunos de los participantes en la capacitación para que consignen sus percepciones acerca del desempeño del instructor. Luego, se recogen los formularios y se tabulan las respuestas usando la hoja de tabulación (A-16).

### 1. Organización y claridad

Yo, como instructor... (a)

	Si	No
1.1 Presenté los objetivos de la actividad	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.2 Expliqué la metodología para realizar la (s) actividad (es)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.3 Respeté el tiempo previsto	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.4 Entregué material escrito sobre mi presentación	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.5 Seguí una secuencia ordenada en mi exposición	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.6 Usé ayudas didácticas que facilitaron la comprensión del tema	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.7 Mantuve las intervenciones de la audiencia dentro del tema	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

### 2. Dominio del tema

2.8 Estoy seguro de conocer la información presentada	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.9 Respondí las preguntas de la audiencia con propiedad	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.10 Relacioné los aspectos teóricos del tema con los casos prácticos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.11 Proporcioné ejemplos para ilustrar el tema expuesto	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.12 Centré la atención de la audiencia en los contenidos más importantes del tema	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

### 3. Habilidades de interacción

3.13 Usé un lenguaje adaptado al nivel de los conocimientos de la audiencia	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.14 Acepté preguntas de la audiencia	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.15 Me aseguré que la audiencia me entendiera	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.16 Mantuve contacto visual con la audiencia	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.17 Formulé preguntas a los participantes	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.18 Invité a los participantes para que formularan preguntas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.19 Proporcioné información de retorno inmediata a las respuestas de los participantes	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.20 Mantuve una buena interacción con los cofacilitadores	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



**4. Dirección de la práctica**  
(Campo-laboratorio-taller-aula)

Como encargado de dirigir la práctica y/o los ejercicios...

	Si	No
4.21 Aclaré a los participantes los objetivos y procedimientos para la realización de la práctica	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.22 Demostré/expliqué la forma de realizar la práctica	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.23 Seleccioné y acondicioné el sitio adecuado para la práctica	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.24 Organicé a la audiencia de manera que todos pudieran participar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.25 Tuve a disposición de los participantes los equipos y materiales necesarios para la práctica	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.26 Proporcioné retroinformación inmediata a los participantes una vez finalizada la práctica	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL INSTRUCTOR

### Orientaciones:

1. El formulario de autoevaluación puede distribuirse entre 10 o más participantes para que observen y evalúen el desempeño del instructor.
2. El instructor recoge los formularios y tabula los resultados. Luego traslada los puntajes al perfil de desempeño para establecer la diferencia entre el puntaje observado y el ideal.

### Areas a evaluar

Tabulación										Puntaje observado	100% Ideal	Perfil de desempeño										
1.	Organización y claridad	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7												1		
2.	Dominio del tema	2.8	2.9	2.10	2.11	2.12															2	
3.	Habilidades de interacción	3.13	3.14	3.15	3.16	3.17	3.18	3.19	3.20												3	
4.	Dirección de la práctica	4.21	4.22	4.23	4.24	4.25	4.26														4	
												.50	.60	.70	.80	.90	100					

Para establecer los puntajes y el perfil, se procede así:

1. Sumar las tabulaciones en cada casilla y anotar la suma en la columna 'puntaje observado'.
2. Se establece el puntaje que corresponde al 100%, según el número de evaluadores (por ejemplo: Fila 1: organización y claridad, respondieron 10 evaluadores; puntaje observado 45, puntaje correspondiente al 100% = 70. En este caso el puntaje observado (45) es el 64% del puntaje ideal. Este se marca en el perfil de desempeño.
3. En la gráfica 'perfil de desempeño' se unen los puntos de cada componente (1,2,3 y 4) para establecer el perfil.

## Anexo 5. Evaluación de los Materiales de Capacitación

La evaluación del material puede hacerse con la participación de:

- Expertos en el contenido (científicos, investigadores)
- Expertos en comunicación
- Técnicos, facilitadores de procesos, profesores, etc.
- Productores, agricultores, miembros de organizaciones comunitarias, etc.

Para este efecto, los evaluadores pueden usar un formato como el siguiente:

<b>Calidad del Contenido</b>	<b>Si</b>	<b>No</b>
La información que se presenta es técnicamente válida en el contexto en que se utiliza		
El contenido está dividido en segmentos que siguen un proceso claro y ordenado		
El contenido se presenta objetivamente, es decir respetando principios y métodos válidos		
El contenido es adecuado para el nivel de la audiencia (ver usuarios de la Guía)		
El contenido está actualizado desde el punto de vista científico-técnico		
<b>Calidad de la Producción</b>	<b>Si</b>	<b>No</b>
La calidad de la impresión es excelente		
Las imágenes (dibujos, gráficas, cuadros) son claras		
Las ilustraciones apoyan el mensaje escrito		
Los iconos están bien seleccionados (de acuerdo con el significado del texto)		
La distribución de la información (diagramación) en cada página es adecuada		
Los dibujos y fotografías reflejan bien situaciones reales		
Hay una buena correspondencia entre imágenes y textos		
<b>Calidad instruccional</b>	<b>Si</b>	<b>No</b>
Los objetivos están claramente establecidos		
El material favorece la participación de la audiencia en la capacitación		
La relación objetivos-contenidos es excelente: el contenido refleja lo que se propone en los objetivos		
El material facilita los procesos de enseñanza y aprendizaje		
Los ejercicios y prácticas son novedosos		
Los ejercicios y prácticas ayudan en la comprensión de los temas		

## **Anexo 6. Anexos Técnicos**

### **Anexo 6.1 Referencias sobre Aplicación del Modelo EPIC**

Arnold, J. G. 1990. ROTO - A continuous water and sediment routing model. In Watershed Planning and Analysis in Action. Symp. Proc. of IR Conf. Watershed MGT/IR DW./ASCE. Durango, Colorado. July 9-11, 1990. p. 580-590

Arnold, R. W., and Jones, CA 1987. Soil and climate effects upon crop productivity and nutrient use. In Soil Fertility and Organic Matter as Critical Components of Production Systems. Soil Sci. Soc. Am. Spec. Pub. no. 19:9-17, Madison, Wisconsin, USA.

Benson, V. W., Potter, K. N., Bogusch, H. C., Goss, D., and Williams, J. R. 1992. Nitrogen leaching sensitivity to evapotranspiration and soil water storage estimates in EPIC. J. Soil and Water Cons. 47(4):334-337.

Benson, V. W., Goldstein, WA., Young, D. L. Williams, J. R., Jones C. A., and Kiniry, J. R. 1990. Impacts of integrated cropping practices on nitrogen use and movement. In: P. W. Unger, W. R. Jordan, T. V. Sneed, and R. W. Jensen (eds.) Challenges in Dryland Agriculture - A Global Perspective. Texas Agric. Exp. Sta., College Station, Texas. p. 426-428

Benson, V. W. 1989. EPIC: A planning tool for soil and water conservation programs. In: 1989. Summer Computer Simulation Conference, Society for Computer Simulation, San Diego, California, U.S.A. p. 718-721.

Benson, V. W., Rice, O. W., Dyke, P. T., Williams, J. R., Jones, C. A. 1989. Conservation impacts on crop productivity for the life of a soil. J. Soil Water Conserv. 44:

Bryant, K.J., Benson, V. W., Kiniry, J. R., Williams, J.R., and Lacewell, R. D. 1992. Simulating corn yield response to irrigation timings: Validation of the EPIC model. J. Prod. Agric. 5(2):237-242

Cabelguenne, M., Jones, C. A., Marty, J. R., Dyke, P. T., and Williams, J. R. 1990. Calibration and validation of EPIC for crop rotations in southern France. Agri. Syst. 33:153-171.

Cabelguenne, M., Jones, C. A., Marty, J. R. and Quinones, H. 1988. Contribution a l'etude des rotations culturales: tentative d'utilisation d'un modele agronomique. Agronomie 8:549-556.

Cole, G. W., Lyles, L. and Hagen, L. G. 1982. A simulation model of daily wind erosion soil loss. ASAE Paper 82 p. 2575.

Dyke, P. T., Jones, C. A., Keeling, J. W., Matocha, J. E. and Williams, J. R. 1990. Calibration of a farming systems model for the Southern Coastal Plain and High Plains of Texas. Misc. Pub. No. 1696. Texas Agric. Exp. Stat., College Station, Texas.

Easterling K. W. E., McKenney, M. S., Rosenberg, N. J. and Lemon, K. M. 1991. A Farm-Level Simulation of the Effects of Climate Change on Crop Production in the MIM Region. United States Department of Energy Report IIB. DOE/RLA1830T-H8 (rRO52D). 222 PP.

Hargreaves, G. H. and Samani, Z. k 1985. Reference crop evaporation from temperature. Appl.Engr. in Agric. 1:96.-99.

Jones, C. A. 1983. A survey of the variability is tissue nitrogen and phosphorus concentration in maize and grain sorghum. Field Crops Res. 6:133-147.

Jones, C. A., Cole, C. V., Sharpley, A. N. and Williams, J. R. 1984a. A simplified soil and plant phosphorus model. 1. Documentation. Soil Sci. Soc. Am. J. 48:&W-805.

Jones, C. A. Sharpley, A. N. and Williams, J. R. 1984b. A simplified soil and plant phosphorus model. M. Testing. Soil Sci. Soc. Am. J. 48:810-813.

Jones, C. A., Wegener, M.K. Russell, J.S., McLeod, I.M. and Williams, J.R. 1989. AUSCANE - Simulation of Australian Sugarcane with EPIC. Commonwealth Scientific and Indusu W Research Organization. Brisbane, Australia..

Jones, J. W., Jones C. A. and Williams, J. R- 1988. Complementary modeling. Appendix C. In Science Panel Report No. 5 Review of SCOPE 28 Report on Environmental Consequences of Nuclear War Volume 11, Ecological and Agricultural Effects. Committee on Interagency Radiation Research and Policy Coordination. Office of Science and Technology Policy. Executive Office of the President Washington,, D. C., USA.

Kiniry, J. R., Jones, C. A., O'Toole, J. C., Blanchet, R., Cabeiguenne, M. and Spanel, D. A. 1999. Radiation use efficiency in biomass accumulation prior to grain filling in five grain-crop species., Field Crops Res. 20:51-64.

Knisel, W.G. 1980 CREAMS, A Field Scale Model for Chemicals, Runoff, and Erosion from Agricultural Management Systems. USDA Conserv. Res. Report No. 26. pp. 643.

Krishna, J. IL, Arkin, G. F., Williams, J. R. and Mulkey J. R. 1987. Simulating furrow-dike impacts on runoff and sorghum yields. Trans. ASAE 39:143-147.

Lacewell, R. D., Lee, J. G., Wendt C. W., Lascano, R- J. and Keeling, J. W. 1990. Implications of alternative dryland crop rotation: Texas High Plains. pp. 635-638. In:

- P. W. Unger, W. R- Jordan, T. V. Sneed, and R- W. Jensen (eds.). Challenges in Dryland Agriculture - A Global Perspective. Texas Agric. Exp. Sta., College Station, Texas.
- Lee, J. G. and Lacewell, R. D. 1990. Farm program impacts on an exhaustible groundwater supply: An analysis of the Texas Southern Ugh Plains. *Water Resources Res.* 26:361-368.
- Lee, J. G. and Lacewell. R- D. 1989. Bio-econon-dc modeling for conservation planning. pp. 727-73 1. In: Summer Computer Simulation Conference. Society for Computer Simulation 1989, San Diego, California, USA.
- Leonard R- A., Knisel, W. G. and Still, D. A. 1987. GLEAMS: groundwater loading effects of agricultural management systems. *Trans. ASAE* 30:1403-1418.
- Monteith, J. L. 1965. Evaporation and environment Symp. *Soc. Exp. Biolo.* 9:205-234.
- Onstad, C. A. and Foster, G. R. 1975. Erosion modeling on a watershed. *Trans. ASAE* 18:288-292.
- Penman, H. L. 1948. Evaporation from open, bare soil and grass. *Proc. Royal Soc. (London)* A193:120-145.
- Priestley, C.H. B. and Taylor, R- J. 1972. On the assessment of surface heat flux and evaporation using scale parameters. *Monthly Weather Review* 100:81-92.
- Putman, J. W. and Dyke, P. 1987. The Erosion-Productivity Impact Calculator as Formulated for the Resource Conservation Act A U. S. Department of Agriculture, Economic Research Service, Staff Report No. AGES861204.
- Putman, L W. and Dyke, P. T. 1986. An Analysis of the Impact of Erosion on Productivity and F. Appraisal Task 5A. Resource Conservation Act U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service, 1985. Washington, D.C., September, 1986.
- Richardson, C. W. 1981. Stochastic simulation of daily precipitation, temperature and solar radiation. *Water Resources Res.* 17:192-190.
- Richardson, C. W. 1982a. Dependence structure of daily temperature and solar radiation. *Tram. ASAE* 23:736-739.
- Richardson, C. W. 1982b. A wind simulation model for wind erosion estimation. ASAE Paper No.82-2576.
- Robertson, T., Benson, V. W., W, J.R., Kiniry, J. R., and Jones, CA 1987. Impacts of climate change on yields and erosion for selected crops in the southern United

States. pp. 73-88. In: R M. Meo (ed.). Proceedings of the symposium on climate change in the southern United States: Future impacts and present policy. May 28-29, 1987. Science and Public Policy Program, University of Oklahoma, Norman.

Robertson, T., Rosenzweig, C., Benson, V. W. and Williams, J. R- 1990. Projected impacts of carbon dioxide and climate change in the Great Plains. pp. 675-677. I P. W. Unger, W. R. Jordan, T. V. Sneed and R- W. Jensen (eds.). Challenges in Dryland Agriculture - A Global Perspective. Texas Agric. Exp. Sta., College Station, Texas.

Segarra, E. 1989. Optimizing nitrogen use in cotton production. In: 1989 Summer Computer Simulation Conference. Society For Computer Simulation, San Diego, California, USA. p. 722-726

Seligman and van Keulen, H. 1981. PAPRAN: A simulation model of annual pasture production limited by rainfall and nitrogen. pp. 192-221. In: M J. Frissel and J. A. van Veen (eds.) Simulation of nitrogen Behavior of Soil-Plant Systems, PUDOC, Wageningen, Netherlands.

Sharpley, A. N. and Williams, J. R. 1990. EPIC- Erosion/Productivity Impact Calculator. 1. Model Documentation. U. S. Department of Agriculture Technical Bulletin No. 1768. p. 235.

Smith, S. J., Sharpley, A. N., Williams, J. R. and Jones, C. A. 1986. Prediction of nutrient transport m agricultural runoff using computed runoff values. pp. 1604-1605. In: Trans. XII Cong. Intl. Soc. Soil Sci., 1320 August 1986. Hamburg Intl. Soc. Soil Sci., Hamburg.

Vicien, C. 1989. Les modeles de simulation comme outil pour la construction de fonctions de production: une application a'la mesure de l'efficacite de la production agricole. M.Sc. Thesis Institut Agronomique Mediterranee, Montpellier.

Wegener, M. K. 1989. Analysis of risk in irrigated sugarcane production using stochastic dominance analysis. In Proc. 1989 Summer Computer Simulation Conference. Society For Computer Simulation, San Diego, California, USA. p. 712-717

Williams, J. R. 1975. Sediment yield prediction with universal soil loss equation using runoff energy factor. United States Department of Agriculture- Agricultural Research Services S-40 p. 242-244.

Williams, J. R., Jones, C. k and Dyke, P. T. 1984. A modeling approach to determining the relationship between erosion and soil productivity. Trans. ASAE 27: 129-144.

Williams, J. R., Jones, C. A., Kiniry, J. R. and Spaniel, D. k 1999. The EPIC crop growth model. Trans ASAE 32:497-51 1.

Williams, J. R., Dyke, P. T., Fuchs, W. W., Benson, V. W., Rice, O. W., and Taylor, E. D. 1990. EPIC--Erosion/Productivity Impact Calculator 2. User Manual. A. N. Sharpley and J. R. Williams, Editors. U. S. Department of Agriculture Technical Bulletin No. 1768 p. 127.

Wischmeier, N. P. and Smith, D. D. 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses, A Guide to Conservation Planning. USDA Agric. Handbook No. 537. pp. 58.

Woodruff, N. P. and Siddoway, F. H. 1965. A wind erosion equation. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 29:602-608.



## Anexo 6.2 Simulación del CROPWAT en los Cultivos de Maíz, Frijol y Tomate en la Región del Carchi, Ecuador

### Balance Hídrico de los Principales Cultivos

Con el fin de poder calcular el valor del agua es necesario realizar un estudio sobre balance hídrico de los cultivos calculando los requerimientos para el escenarios de precipitación normal promedio de la zona.

#### A. Resultados del Balance Hidrico en el Cultivo de Maíz

##### 1. Datos de cultivo empleados en el balance

Etapa de crecimiento	Inicial	Desa.	Media	Final	Total
Duración (días)	30	50	60	40	180
Coef. cultural Kc coef.	0.30	->	1.05	0.80	
Profundidad de raíces (metro)	0.35	->	0.80	0.80	
Niv. de agotamiento (frac)	0.70	->	0.70	0.70	
Respuesta en el coef. rendimiento Ky	0.40	1.50	0.50	0.20	1.25

## 2. Evapotranspiración y necesidades de agua del cultivo de maíz durante el primer semestre

Los datos resultantes son calculados para las condiciones de un año normal.

Archivo de clima: Ibarpo

Estación meteorológica: Ibarra

Cultivo: Maíz

Fecha de siembra: primero de marzo

Mes	Dec.	Etapa	Coef.	Etc	Etc	Pref	NER	NER
			(Kc)	(mm/día)	(mm/dec)	(mm/dec)	(mm/día)	(mm/dec)
Marzo	1	init	0.30	0.83	8.3	18.9	0.00	0.0
Marzo	2	init	0.30	0.82	8.3	22.0	0.00	0.0
Marzo	3	init	0.30	0.81	8.1	21.4	0.00	0.0
Abril	1	deve	0.38	1.01	10.1	20.8	0.00	0.0
Abril	2	deve	0.53	1.40	14.0	20.2	0.00	0.0
Abril	3	deve	0.68	1.80	18.0	20.1	0.00	0.0
Mayo	1	deve	0.83	2.19	2.9	20.6	0.13	1.3
Mayo	2	deve	0.97	2.59	25.9	20.9	0.51	5.1
Mayo	3	mid	1.05	2.78	27.8	16.9	1.09	10.9
Junio	1	mid	1.05	2.77	27.7	12.9	1.48	14.8
Junio	2	mid	1.05	2.76	27.6	9.0	1.87	18.7
Junio	3	mid	1.05	2.88	28.8	7.4	2.14	21.4
Julio	1	mid	1.05	3.00	30.0	5.9	2.41	24.1
Julio	2	mid	1.05	3.12	31.2	4.3	2.69	26.9
Julio	3	late	1.02	3.07	30.7	4.5	2.62	26.2
Agosto	1	late	0.96	2.92	29.2	4.6	2.46	24.6
Agosto	2	late	0.89	2.77	27.7	4.8	2.29	29.9
Agosto	3	late	0.83	2.55	25.5	6.0	1.95	19.5
<b>Total</b>					<b>400.8</b>	<b>241.0</b>		<b>216.5</b>

Etc. = Evapotranspiración (por día o por 10 días)

NER = Necesidades de riego (por día o por 10 días)

Dec. = Decada (10 días)

init. = Etapa inicial del cultivo

deve. = Etapa de desarrollo del cultivo

mid. = Etapa media del cultivo

late. = Etapa final del cultivo

**Simulación de riego para un año normal (promedio de precipitación 625.9 mm /año)**

**1. Resultados en el primer semestre con maíz, simulando solo la precipitación**

Frecuencias: Sin riego, solamente con las precipitaciones

No. reg.	Int día	Fecha	Etapas	Agot. (%)	TX (%)	Eta (%)	Dos (Net)	Déficit (mm)	Périd. (mm)	Dos (brut)	Caudal (l/s/ha)
1	11	11 mar	A	8	100	100	21.8	3.3	1.6	23.4	0.25
2	10	21 mar	A	7	100	100	8.2	3.3	19.0	27.2	0.32
3	10	1 abr	B	7	100	100	8.2	3.4	18.4	26.6	0.31
4	10	11 abr	B	8	100	100	9.5	4.4	16.4	25.9	0.30
5	10	21 abr	B	9	100	100	12.8	6.0	12.4	25.2	0.29
6	10	1 may	B	11	100	100	16.8	7.6	8.3	25.1	0.29
7	10	11 may	B	12	100	100	20.7	9.2	4.9	25.6	0.30
8	10	21 may	C	13	100	100	24.7	10.6	1.1	25.8	0.30
9	10	1 jun	C	22	100	100	21.0	17.4	0.0	21.0	0.24
10	10	11 jun	C	36	100	100	16.1	29.1	0.0	16.1	0.19
11	10	21 jun	C	57	100	100	11.2	45.6	0.0	11.2	0.13
12	10	1 jul	C	80	76	96	9.3	64.1	0.0	9.3	0.11
13	10	11 jul	C	91	36	52	7.3	72.4	0.0	7.3	0.08
14	10	21 jul	D	95	21	28	5.4	75.7	0.0	5.4	0.06
15	10	1 ago	D	95	17	20	5.6	76.3	0.0	5.6	0.06
16	10	11 ago	D	95	18	20	5.8	76.2	0.0	5.8	0.07
17	10	21 ago	D	95	19	21	6.0	75.9	0.0	6.0	0.07
Fin	10	1 sep	D	93	27	25					

Riego total bruto: 0.0 mm  
 Total precipitaciones: 299.9 mm  
 Riego total neto: 0.0 mm  
 Precipitación efectiva: 217.8 mm  
 Pérdidas totales de riego: 0.0 mm  
 Pérdida total de precipitación: 82.1 mm  
 Déficit de humedad a la cosecha: 74.1 mm

Abastecimiento neto + retención del suelo: 74.1 mm  
 Uso real de agua del cultivo: 275.9 mm  
 Necesidades reales de riego: 58.1 mm  
 Uso potencial de agua del cultivo: 400.8 mm  
 Eficiencia prog. de riego: 100.0 %  
 Eficiencia precipitación: 72.6 %  
 Deficiencia prog. de riego: 31.2 %

Reducción rendimiento	Etapas				Ciclo
	A	B	C	D	
Red. de la ET	0.0	0.0	20.6	78.9	31.2%
Coef. resp. rendimiento	0.4	1.5	0.5	0.2	1.25%
Red. del rendimiento	0.0	0.0	10.3	15.8	38.0%
Red. acumul. rendimiento	0.0	0.0	10.3	24.4	

## 2. Resultados en el primer semestre del cultivo de maíz con riego, simulando las prácticas de los productores

La simulación del riego se hace en base a los caudales disponibles por los usuarios y en la forma como ellos riegan en cuanto a la frecuencia de aplicación (100% cada 15 días) y forma (93% en surco). La cantidad a aplicar resulta de tomar el caudal disponible para riego y multiplicarlo según eficiencia de riego del 30% (valor aceptable debido a que los productores riegan en surco 93%). Para el caso de un año normal el valor de la dosis de aplicación es igual a  $78 \text{ mm} * 0.3 = 23.4 \text{ mm}$

Programación del riego: Maíz, Fecha de siembra: primero de marzo, primer semestre

Estación meteorológica: Ibarra

Archivo de clima: Ibarpro

Cultivo: Maíz

Fecha de siembra: marzo 1

Suelo: Franco arenoso, color rojo

Humedad disponible en el suelo: 100 mm/m.

Humedad inicial suelo : 80 mm/m.

Opciones de riego seleccionadas:

Frecuencias: Fechas definidas por el usuario:

Aplicación del riego a los siguientes días después de la siembra: 1, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135, 150, 165.

Aplicaciones : Dosis fija de riego de 23.4 mm

No. reg.	Int día	Fecha	Etap	Agot. (%)	TX (%)	Eta (%)	Dos (Net)	Déficit (mm)	Pérd. (mm)	Dos (brut)	Caudal (l/s/ha)
1	1	1 mar	A	22	100	100	23.4	0.0	6.6	23.4	2.71
2	14	15 mar	A	4	100	100	23.4	0.0	21.8	23.4	0.19
3	15	1 abr	A	5	100	100	23.4	0.0	21.0	23.4	0.18
4	15	15 abr	B	5	100	100	23.4	0.0	20.6	23.4	0.18
5	15	1 may	B	8	100	100	23.4	0.0	18.0	23.4	0.18
6	15	15 may	B	9	100	100	23.4	0.0	16.8	23.4	0.18
7	15	1 jun	C	18	100	100	23.4	0.0	8.8	23.4	0.18
8	15	15 jun	C	25	100	100	23.4	0.0	3.6	23.4	0.18
9	15	1 jul	C	35	100	100	23.4	4.4	0.0	23.4	0.18
10	15	15 jul	C	50	100	100	23.4	16.6	0.0	23.4	0.18
11	15	1 ago	D	68	100	100	23.4	31.2	0.0	23.4	0.18
12	15	15 ago	D	80	76	96	23.4	40.4	0.0	23.4	0.18
Fin	16	1 sep	D	82	65	91					

Riego total bruto: 280.8 mm

Total precipitaciones: 299.9 mm

Riego total neto: 280.8 mm

Precipitación efectiva: 182.0 mm

Pérdidas totales de riego: 117.0 mm

Pérdida total de precipitación: 117.9 mm

Déficit de humedad a la cosecha: 66.0 mm

Abastecimiento neto + retención del suelo: 346.8 mm

Uso real de agua del cultivo: 395.8 mm

Necesidades reales de riego: 213.8 mm

Uso potencial de agua del cultivo: 400.8 mm

Eficiencia prog. de riego: 58.3 %

Eficiencia precipitación: 60.7 %

Deficiencia prog. de riego: 1.3 %

Reducción rendimiento	Etap				Ciclo
	A	B	C	D	
Red. de la ET	0.0	0.0	0.0	4.4	1.3%
Coef. resp. rendimiento	0.40	1.50	0.50	0.20	1.25
Red. del rendimiento	0.0	0.0	0.0	0.9	1.25%
Red. acumul. rendimiento	0.0	0.0	0.0	0.9	

### 3. Evapotranspiración y necesidades de agua del cultivo de maíz en el segundo semestre

Los datos resultantes son calculados para las condiciones de un año normal.

Epoca de siembra: primero de septiembre.

Mes	Dec.	Etapa	Coef. (Kc)	ETc (mm/día)	ETc (mm/déc)	Pef (mm/día)	NER (mm/día)	NER (mm/día)
sep	1	init	0.30	0.91	9.1	7.2	0.19	1.9
sep	2	init	0.30	0.90	9.0	8.4	0.07	0.7
sep	3	init	0.30	0.89	8.9	12.2	0.00	0.0
oct	1	deve	0.38	1.09	10.9	16.1	0.00	0.0
oct	2	deve	0.53	1.50	15.0	19.9	0.00	0.0
oct	3	deve	0.68	1.90	19.0	20.9	0.00	0.0
nov	1	mid	0.83	2.28	22.8	22.6	0.02	0.2
nov	2	mid	0.97	2.65	26.5	24.0	0.25	2.5
nov	3	mid	1.05	2.84	28.4	21.7	0.67	6.7
dic	1	mid	1.05	2.83	28.3	19.4	0.89	8.9
dic	2	mid	1.05	2.81	28.1	17.0	1.11	11.1
dic	3	mid	1.05	2.86	28.6	13.7	1.49	14.9
ene	1	mid	1.05	2.90	29.0	9.6	1.94	19.4
ene	2	mid	1.05	2.95	29.5	5.9	2.36	23.6
ene	3	late	1.05	2.86	28.6	8.2	2.05	10.5
feb	1	late	0.96	2.69	26.9	10.4	1.65	16.5
feb	2	late	0.89	2.51	25.1	12.3	1.25	12.5
feb	3	late	0.83	2.32	23.2	15.4	0.77	7.7
<b>Total</b>					397.1		265.3	147.2

- ETc = Evapotranspiración (por día o por 10 días)
- NER = Necesidades de riego (por día o por 10 días)
- Dec = Década (10 días)
- init = Etapa inicial del cultivo
- deve = Etapa de desarrollo del cultivo
- mid = Etapa media del cultivo
- late = Etapa final del cultivo

#### 4. Resultados en el segundo semestre del cultivo de maíz, simulando solo precipitación

En estos resultados se simula el cultivo solamente con la precipitación que se da y simulando aplicaciones cada 10 días.

No. reg.	Int. día	Fecha	Etapa	Agot. (%)	TX (%)	Eta (%)	Dos [Net]	Déficit (mm)	Pérd. (mm)	Dos (brut)	Caudal (l/s/ha)
1	11	11 sep	A	24	100	100	8.3	10.0	0.0	8.3	0.09
2	10	21 sep	A	23	100	100	9.5	10.7	0.0	9.5	0.11
3	10	1 oct	B	12	100	100	14.6	6.3	0.0	14.6	0.17
4	10	11 oct	B	8	100	100	18.3	4.8	2.1	20.4	0.04
5	10	21 oct	B	10	100	100	13.8	6.4	12.1	25.9	0.30
6	10	1 nov	B	12	100	100	17.8	8.0	9.0	26.8	0.31
7	10	11 nov	B	13	100	100	21.7	9.5	6.8	28.5	0.33
8	10	21 nov	C	13	100	100	25.4	10.8	4.3	29.7	0.34
9	10	1 dic	C	15	100	100	26.9	12.3	0.0	26.9	0.31
10	10	11 dic	C	21	100	100	24.1	16.4	0.0	24.1	0.28
11	10	21 dic	C	29	100	100	21.3	23.3	0.0	21.3	0.25
12	10	1 ene	C	44	100	100	17.1	34.9	0.0	17.1	0.20
13	10	11 ene	C	66	100	100	11.5	52.4	0.0	11.5	0.13
14	10	21 ene	D	86	51	80	6.7	69.2	0.0	6.7	0.18
15	10	1 feb	D	90	37	45	9.7	72.2	0.0	9.7	0.11
16	10	11 feb	D	89	41	44	12.8	71.1	0.0	12.8	0.15
17	10	21 feb	D	86	52	53	15.8	68.6	0.0	15.8	0.18
Fin	10	1 mar	D	79	76	68					

Riego total bruto: 0.0 mm  
 Total precipitaciones: 328.9 mm  
 Riego total neto: 0.0 mm  
 Precipitación efectiva: 294.5 mm  
 Pérdidas totales de riego: 0.0 mm  
 Pérdida total de precipitación: 34.4 mm  
 Déficit de humedad a la cosecha: 63.6 mm

Abastecimiento neto + retención del suelo: 63.6 mm  
 Uso real de agua del cultivo: 342.1 mm  
 Necesidades reales de riego: 47.6 mm  
 Uso potencial de agua del cultivo: 397.1 mm  
 Eficiencia prog. de riego: 100.0 %  
 Eficiencia precipitación: 89.5 %  
 Deficiencia prog. de riego: 13.8 %

Reducción rendimiento	Etapa				Ciclo
	A	B	C	D	
Red. de la ET	0.0	0.0	2.7	48.50	13.8%
Coef. resp. rendimiento	0.40	1.50	0.50	0.20	1.25
Red. del rendimiento	0.0	0.0	1.3	9.70	17.3%
Red. acumul. rendimiento	0.0	0.0	1.3	10.9	

## 5. Resultados segundo semestre simulando riego en el cultivo del maíz precipitación y riego

Programación del riego: Maíz siembra el primero de septiembre

Opciones de riego seleccionadas:

Frecuencias:

Fechas definidas por el usuario después de la siembra: 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135, 150, 165 días.

Aplicaciones : Dosis fija de riego de 23.4 mm

Eficiencia de aplicación en el campo: 00 %

No. reg.	Int. día	Fecha	Etapas	Agot. (%)	TX (%)	Eta (%)	Dos (Net)	Déficit (mm)	Pérd. (mm)	Dos (brut)	Caudal (l/s/ha)
1	1	1 sep	A	23	100	100	23.4	0.0	6.5	23.4	2.71
2	14	15 sep	A	6	100	100	23.4	0.0	20.9	23.4	0.19
3	15	1 oct	A	5	100	100	23.4	0.0	20.7	23.4	0.18
4	15	15 oct	B	5	100	100	23.4	0.0	20.4	23.4	0.18
5	15	1 nov	B	8	100	100	23.4	0.0	17.7	23.4	0.18
6	15	15 nov	B	7	100	100	23.4	0.0	18.1	23.4	0.18
7	15	1 dic	C	12	100	100	23.4	0.0	13.9	23.4	0.18
8	15	15 dic	C	15	100	100	23.4	0.0	11.5	23.4	0.18
9	15	1 ene	C	25	100	100	23.4	0.0	3.5	23.4	0.18
10	15	15 ene	C	36	100	100	23.4	5.5	0.0	23.4	0.18
11	15	1 feb	D	45	100	100	23.4	12.5	0.0	23.4	0.18
12	15	15 feb	D	39	100	100	23.4	7.8	0.0	23.4	0.18
Fin	16	1 mar	D	20	100	100					

Riego total bruto: 280.8 mm

Total precipitaciones: 328.9 mm

Riego total neto: 280.8 mm

Precipitación efectiva: 249.1 mm

Pérdidas totales de riego: 133.2 mm

Pérdida total de precipitación: 79.8 mm

Déficit de humedad a la cosecha: 16.4 mm

Abastecimiento neto + retención del suelo: 297.2 mm

Uso real de agua del cultivo: 397.1 mm

Neces. reales de riego: 148.0 mm

Uso poten. de agua del cultivo: 397.1 mm

Eficiencia prog. de riego: 52.6 %

Eficiencia precipitación: 75.7 %

Deficiencia prog. de riego: 0.0 %

No reducciones del rendimiento para los déficit del agua

## I. Periodo normal de precipitación (625.9 mm)

### B. Resultados del balance hídrico en el cultivo de frijol

#### 1. Datos de cultivo empleados en el balance

Cultivo : Frijol (variedad Carbello-rojo)

Archivo de cultivo : Atufrijol

Etapa de crecimiento	Inicial	Desa.	Media	Final	Total
Duración (días)	20	30	40	30	120
Coef. cultural Kc coef.	0.30	->	1.05	0.65	
Profundidad de raíces (metro)	0.20	->	0.40	0.40	
Niv. de agotamiento [frac]	0.60	->	0.60	0.60	
Respuesta en el coef. rendimiento Ky	0.20	1.10	0.75	0.20	1.15

#### 2. Evapotranspiración y necesidades de agua del frijol

Fecha de siembra: primero de marzo

Mes	Dec.	Etapa	Coef. (Kc)	ETc (mm/día)	ETc (mm/déc)	Pef (mm/día)	NER (mm/día)	NER (mm/día)
Marzo	1	init	0.30	0.83	8.3	18.9	0.00	0.0
Marzo	2	init	0.30	0.82	8.2	22.0	0.00	0.0
Marzo	3	deve	0.43	1.15	11.5	21.4	0.00	0.0
Abril	1	deve	0.67	1.81	18.1	20.8	0.00	0.0
Abril	2	deve	0.92	2.46	24.6	20.2	0.44	4.4
Abril	3	mid	1.05	2.79	27.9	20.1	0.79	7.9
Mayo	1	mid	1.05	2.79	27.9	20.6	0.73	7.3
Mayo	2	mid	1.05	2.79	27.9	20.9	0.71	7.1
Mayo	3	mid	1.05	2.78	27.9	16.9	1.09	10.9
Junio	1	late	0.98	2.60	26.0	12.9	1.30	13.0
Junio	2	late	0.85	2.24	22.4	9.0	1.34	13.4
Junio	3	late	0.72	1.97	19.7	7.4	1.22	12.2
Total		I			250.4	210.9		76.3



### 3. Simulación de riego para un año normal (precipitación promedio de 625.9 mm/año)

#### 3.1 Resultados primer semestre frijol simulando solo precipitación - Primer semestre

Programación del riego: Frijol (carbello-rojo) primero de marzo

Fecha de siembra: primero de marzo

Suelo: Franco arena roja

Humedad disponible en el suelo: 100 mm/m.

Humedad inicial suelo: 80 mm/m.

Opciones de riego seleccionadas:

Frecuencias: Sin riego, solamente con las precipitaciones

No. reg.	Int día	Fecha	Etap	Agot. (%)	TX (%)	Eta (%)	Dos (Net)	Déficit (mm)	Pérd. (mm)	Dos (brut)	Caudal (l/ha)
1	11	11 mar	A	14	100	100	13.8	3.3	9.6	23.4	0.25
2	10	21 mar	B	13	100	100	8.2	3.6	19.0	27.2	0.32
3	10	1 abr	B	16	100	100	10.5	5.3	16.0	26.6	0.31
4	10	11 abr	B	22	100	100	16.2	7.9	9.7	25.9	0.30
5	10	21 abr	C	25	100	100	22.7	10.2	2.5	25.2	0.29
6	10	1 may	C	33	100	100	25.1	13.0	0.0	25.1	0.29
7	10	11 may	C	38	100	100	25.6	15.3	0.0	25.6	0.30
8	10	21 may	C	44	100	100	25.8	17.4	0.0	25.8	0.30
9	10	1 jun	D	60	100	100	21.0	24.1	0.0	21.0	0.24
10	10	11 jun	D	77	67	89	16.1	30.8	0.0	16.1	0.19
11	10	21 jun	D	83	49	61	11.2	33.1	0.0	11.2	0.13
Fin	10	1 jul	D	82	51	51					

Riego total bruto: 0.0 mm

Total precipitaciones: 262.3 mm

Riego total neto: 0.0 mm

Precipitación efectiva: 205.4 mm

Pérdidas totales de riego: 0.0 mm

Pérdida total de precipitación: 56.9 mm

Déficit de humedad a la cosecha: 32.9 mm

Abastecimiento neto + retención del suelo: 32.9 mm

Uso real de agua del cultivo: 230.3 mm

Necesidades reales de riego: 24.9 mm

Uso potencial de agua del cultivo: 250.4 mm

Eficiencia prog. de riego: 100.0 %

Eficiencia precipitación: 78.3 %

Deficiencia prog. de riego: 8.0 %

Reducción rendimiento	Etap				Ciclo
	A	B	C	D	
Red. de la ET	0.0	0.0	0.0	29.5	8.0%
Coef. resp. rendimiento	0.20	1.10	0.75	0.20	1.15
Red. del rendimiento	0.0	0.0	0.0	5.9	9.2
Red. acumul. rendimiento	0.0	0.0	0.0	5.9	%

### 3.2 Resultados primer semestre del cultivo - frijol con riego, simulando prácticas de los productores

La simulación del riego se hace con base en los caudales disponibles por los usuarios y en la forma como ellos riegan en cuanto a la frecuencia de aplicación (100% cada 15 días) y forma (93% en surco). El valor de la dosis a aplicar resulta de tomar el caudal disponible para riego y multiplicarlo con una eficiencia de riego del 30% (valor aceptable debido a que la forma de riego por parte de los productores es en surco 93% ). Para el caso de un año normal el valor de la dosis de aplicación es igual a  $78 \text{ mm} * 0.3 = 23.4 \text{ mm}$

Programación del riego: Frijol (variedad carbello-rojo) primero de marzo

Fecha de siembra : 1 marzo

Suelo: Franco, arena roja

Humedad disponible en el suelo: 100 mm/m.

Humedad inicial suelo: 80 mm/m.

Opciones de riego seleccionadas:

Frecuencias: Día definido por el usuario después de la siembra: 1,15, 30, 45, 60, 75, 90, 105.

Aplicaciones: Dosis fija de riego de 23.4 mm

Eficiencia de aplicación en el campo: 100 %

No. reg.	Int'día	Fecha	Etap	Agot. (%)	TX (%)	Eta (%)	Dos (Net)	Déficit (mm)	Pérd. (mm)	Dos (brut)	Caudal (l/s/ha)
1	1	1 mar	A	24	100	100	23.4	0.0	14.6	23.4	2.71
2	14	15 mar	A	6	100	100	23.4	0.0	21.8	23.4	0.19
3	15	1 abr	B	11	100	100	23.4	0.0	19.9	23.4	0.18
4	15	15 abr	B	14	100	100	23.4	0.0	18.3	23.4	0.18
5	15	1 may	C	26	100	100	23.4	0.0	13.2	23.4	0.18
6	15	15 may	C	24	100	100	23.4	0.0	14.0	23.4	0.18
7	15	1 jun	C	38	100	100	23.4	0.0	8.2	23.4	0.18
8	15	15 jun	D	39	100	100	23.4	0.0	7.7	23.4	0.18
Fin	16	1 sep	D	43	65	100					

Riego total bruto: 187.2 mm

Total precipitaciones: 262.3 mm

Riego total neto: 187.2 mm

Precipitación efectiva: 171.6 mm

Pérdidas totales de riego: 117.5 mm

Pérdida total de precipitación: 90.7 mm

Déficit de humedad a la cosecha: 17.1 mm

Abastecimiento neto + retención del suelo: 204.3 mm

Uso real de agua del cultivo: 250.4 mm

Necesidades reales de riego: 78.8 mm <sup>2</sup>

Uso potencial de agua del cultivo: 250.4 mm

Eficiencia prog. de riego: 37.2 %

Eficiencia precipitación: 65.4 %

Deficiencia prog. de riego: 0.0 %

No reducciones del rendimiento para los déficit del agua

## I. Período normal de precipitación (625.9 mm)

### C. Resultados del balance hídrico en el cultivo de tomate

#### 1. Datos de cultivo empleados en el balance

Cultivo : Tomate

Archivo de cultivo : Tomate

Etapa de crecimiento	Inicial	Desa.	Med.	Final	Total
Duración [días]	30	40	45	30	145
Coef. cultural Kc [coef.]	0.70	->	1.10	0.60	
Prof. raíces [metro]	0.25	->	1.00	1.00	
Niv. de agotamiento [fracc.]	0.30	->	0.4	0.5	
Respuesta en el rendimiento Ky [coef.]	0.50	0.60	1.10	0.80	1.05

#### 2. Evapotranspiración y necesidades de agua del cultivo de tomate - segundo semestre

Archivo de clima: Ibarpro

Estación meteorológica: Ibarra

Cultivo: Tomate

Fecha de siembra: primero de septiembre

Mes	Dec.	Etapa	Coef. (Kc)	ETc (mm/día)	ETc (mm/déc)	Pef (mm/día)	NER (mm/día)	NER (mm/día)
sep	1	init	0.70	2.13	21.3	7.2	1.41	14.1
sep	2	init	0.70	2.11	21.1	8.4	1.27	12.7
sep	3	init	0.70	2.07	20.7	12.2	0.85	8.5
oct	1	deve	0.75	2.18	21.8	16.1	0.50	5.8
oct	2	deve	0.85	2.43	24.3	19.9	0.44	4.4
oct	3	deve	0.95	2.87	26.7	20.9	0.58	5.8
nov	1	deve	1.05	2.90	29.0	22.6	0.64	6.4
nov	2	mid	1.10	2.99	29.9	24.0	0.59	5.9
nov	3	mid	1.10	2.98	29.8	21.7	0.81	8.1
dic	1	mid	1.10	2.96	29.6	19.4	1.03	10.3
dic	2	mid	1.10	2.95	29.5	17.0	1.24	12.4
dic	3	mid	1.06	2.88	28.8	13.7	1.52	15.2
ene	1	late	0.93	2.58	25.8	9.6	1.62	16.2
ene	2	late	0.77	2.15	21.5	5.9	1.56	15.6
ene	3	late	0.60	1.69	16.9	4.1	0.87	4.3
<b>Total</b>				<b>368.4</b>		<b>222.7</b>		<b>145.7</b>

### 3.2 Resultado del balance hídrico en el segundo semestre con precipitación y riego para el tomate

La simulación del riego se hace con base en los caudales disponibles por los usuarios y en la forma como ellos riegan en cuanto a la frecuencia de aplicación (100% cada 15 días) y forma (93% en surco). La cantidad a aplicar resulta de tomar el caudal disponible para riego y multiplicarlo con una eficiencia de riego del 30% (valor aceptable debido a que los productores riegan en surco 93%). Para el caso de un año normal el valor de la dosis de aplicación es igual a  $78\text{mm} * 0.3 = 23.4$  mm.

#### Programación del riego -Tomate: primero de septiembre

Estación meteorológica : Ibarra

Archivo de clima: Ibarpro

Cultivo: Tomate

Fecha de siembra: septiembre 1

Suelo: Franco arena roja

Humedad disponible en el suelo: 100 mm/m.

Humedad inicial suelo: 80 mm/m.

Opciones de riego seleccionadas:

Frecuencias: Días definidos por el usuario después de la siembra: 1, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135.

Aplicaciones: Dosis fija de riego de 23.4 mm

Eficiencia de aplicación en el campo: 100 %

No. reg.	Int. día	Fecha	Etap	Agot. (%)	TX (%)	Eta (%)	Dos (Net)	Déficit (mm)	Pérd. (mm)	Dos (brut)	Caudal (l/s/ha)
1	1	1 sep	A	28	100	100	23.4	0.0	1.3	23.4	2.71
2	14	15 sep	A	39	94	98	23.4	0.0	7.3	23.4	0.19
3	15	1 oct	A	22	100	100	23.4	0.0	11.0	23.4	0.18
4	15	15 oct	B	8	100	100	23.4	0.0	17.6	23.4	0.18
5	15	1 nov	B	9	100	100	23.4	0.0	15.4	23.4	0.18
6	15	15 nov	C	9	100	100	23.4	0.0	14.6	23.4	0.18
7	15	1 dic	C	12	100	100	23.4	0.0	11.6	23.4	0.18
8	15	15 dic	C	13	100	100	23.4	0.0	10.4	23.4	0.18
9	15	1 ene	D	21	100	100	23.4	0.0	2.8	23.4	0.18
10	15	15 ene	D	22	100	100	23.4	0.0	1.7	23.4	0.18
Fin	11	26 ene	D	11	100	100					

Riego total bruto: 234.0 mm

Riego total neto: 234.0 mm

Pérdidas totales de riego: 93.6 mm

Déficit de humedad a la cosecha: 11.0 mm

Uso real de agua del cultivo: 367.9 mm

Uso potencial de agua del cultivo 368.4 mm

Eficiencia precipitación: 85.6 %

Total precipitaciones: 276.2 mm

Precipitación efectiva: 236.5 mm

Pérdida total de precipitación: 9.7 mm

Abastecimiento neto + retención del suelo 245.0 mm

Necesidades reales de riego: 31.4 mm

Eficiencia prog. de riego: 60.0 %

Deficiencia prog. de riego: 0.1 %

Reducción rendimiento	Etap				Ciclo
	A	B	C	D	
Red. de la ET	0.8	0.0	0.0	0.0	0.1%
Coef. resp. rendimiento	0.5	0.6	1.1	0.8	1.05%
Red. del rendimiento	0.4	0.0	0.0	0.0	0.1%
Red. acumul. rendimiento	0.4	0.4	0.4	0.4	%

## Anexo 6.3 Diferentes Parámetros en el Modelo LADERA

El objetivo de este Anexo es suministrar al lector información de varios trabajos realizados en zonas de ladera donde se han medido científicamente algunos de los parámetros técnicos utilizados en el modelo LADERA. Esto le permitirá tener una base de referencia sobre los parámetros de su región y los cálculos necesario para cuantificarlos.

### 1. Pérdidas de suelo sin prácticas de conservación de suelos

Un valor promedio sería 75 t/ha para cultivos limpios como frijol, maíz y yuca. Los trabajos de Howeler (1981) reportaron pérdidas entre 150 y 9 t/ha, dependiendo de la práctica de conservación utilizada. En el Cuadro 1 se presentan varios estimados de pérdida de suelo en países Centroamericanos y en el Cuadro 2 estimados en la Provincia de Coclé en Panamá.

Para el cultivo de café, en Costa Rica, Jeffery et al. (1989) calcularon pérdidas de 8.5 t/ha en pendientes que estaban entre 3% y 15%. Wouters (1980) en la serie Ojojona, con pendientes de 42%, encontró pérdidas medias de 42 t/ha/año en rotaciones de frijol con maíz. Oster (1981) midió pérdidas de 35 t/ha/año en pastos, y 77 toneladas en café durante 1979 y 1980.

A pesar que la cifra de 75 t/ha puede parecer alta, ésta equivale a 3 mm de suelo, lo que implica que un suelo de 60 cm de profundidad requeriría 100 años de cultivo permanente para perder 30 cm. Creemos que ésta puede ser una buena aproximación para lo que pasa en las laderas de Colombia o al menos, es una aproximación conservadora.

Este valor solo es vigente mientras existe el cultivo limpio y se reduce a 8 t/ha cuando pasa a rastrojo. Para un suelo de 2 años de cultivo por 4 años de rastrojo se tendría una pérdida, promedio anual, para el mismo lote, de 30 t/ha, lo que implica que un terreno necesitaría 100 años para perder 10 cm de suelo.

Cuadro 1. Evidencias de pérdidas de suelo por erosión en América Central y el Caribe.

PAIS / Región	Fuente	Lluvia (mm)	Pendiente	Sistema de producción	Erosión promedio	
					mt/ha/año	mm/ha/año
EL SALVADOR						
Metapan	Zelaya, 1979	1895	-	Maíz	137.0	8.9
	CHA, 1956	1724	30	Maíz - frijol	230.0	15.3
HAITI						
Camp-Perrin	Cunard, 1990	2000	30	Hedges	4 - 45	-
Papaye	Grosjean, 1987	1214	25	Grasshedge	8.3	-
HONDURAS						
Tatumbla, Morazan	Helchez, 1991	2000	45	Maíz—frijol	42.0	2.7
Tatumbla, Morazan	Sánchez, 1991	900-1500	15-40	----	18 - * 30	
NICARAGUA						
Cristo Rey	P.Peceo, 1981	1700	30-40	Algodón	40	-
PANAMA						
Cuenca del Canal	Soto, 1981	1200	35	Arroz	153.0	-
Cuenca del Canal	Soto, 1981	1200	35	Maíz	136.6	-
Cuenca del Canal	Soto, 1981	1200	35	Arroz	118.0	-
Coclé	Vásquez, 1991	1937		Arroz - Maíz, yuca - frijol	340.0	17.0
Chiriquí	Oster, 1981	1500-2800		Pastos	35.0	5.0
Chiriquí	Oster, 1981	1500-2800		Café	77.0	11.0
Ciliriquí	Oster, 1981	1500-2800		No tiene	183.2	27.0
REPUBLICA DOMINICANA						
Taveras	Hartahom, 1981,		36	Varios	24-69	275.0
North Central	Altieri 1990, Veloz,		36	Varios	2-254	-
South West	1988					-

Fuente: Lutz et al., 1991

**Cuadro 2. Promedios de pérdidas anuales en suelos, bajo diversas condiciones de cobertura y manejo en las sierras en la Provincia de Coclé, Panamá.**

Cultivo y Práctica	Pérdidas promedio	
	Suelo (mt/ha/año)	Profundidad (mm)
Cultivo limpio permanente <sup>a</sup> excepto durante la época de verano	1147	55.4
Yuca	352	17.0
Arroz	176	8.5
Maíz	529	25.6
Cultivo limpio con prácticas intensivas <sup>b</sup>	1286	5.5
Cultivo perenne sin prácticas de conservación	25	1.2
Cultivo perenne con prácticas de conservación	7	0.3
Pasturas plantadas, sin prácticas de conservación	185	8.9
Pasturas bien manejadas sin sobrepastoreo	60	2.9

a/ Excepto rastrojo durante la estación seca

b/ Incluye rotación de cultivos y cobertura verde

Fuente: Obando, 1991

## 2. Pérdidas de suelo con prácticas de conservación

Varios experimentos han mostrado que esta se puede reducir de 150 t/ha a 10 t/ha. Los trabajos de Howeler se hicieron en pendientes de 30% a 40%, lo que implica la existencia de un potencial para lograr este nivel con las practicas adecuadas. En los rastrojos, este valor se podría reducir a 3 t/año, ya que no existe preparación del suelo ni desyerbas.

Debido a la poca disponibilidad de información en cobertura con rastrojos se ha tomado este valor de los estudios realizados en la cuenca del río Combeima, en la cual se muestran pérdidas de 0.5 a 3 t/ha. Estos valores no corresponden a la etapa de rastrojo y fueron obtenidos después de la preparación del terreno en forma manual, lo cual permite la sobrevivencia de las raíces que amarran el terreno, evitando la erosión. Por eso, es posible que el valor pueda ser muy similar al obtenido con los rastrojos.

## 3. Productividad de cultivos

La productividad de los cultivos puede ser muy variable ya que está muy relacionada con la presencia de agua en el suelo, que es un efecto de la precipitación, el tipo y la profundidad del suelo. Los datos que se incluyen a continuación fueron obtenidos de

los resultados de pruebas de validación efectuadas por el programa PROCAM en la cuenca del río Combeima y adoptadas por el autor a lo que pasaría con diferentes profundidades de suelo.

En un terreno de 60 cm de profundidad se pueden obtener producciones de 0.9, 2 y 15 t/ha de frijol, maíz y yuca, respectivamente. Se acepta que con este nivel de profundidad los riesgos por falta de lluvia son menores y los productores se estimulan a utilizar fertilizantes, lo cual permite alcanzar los rendimientos señalados. En este tipo de suelo se puede sembrar a través del año.

En un terreno de 40 cm de profundidad se pueden obtener producciones de 0.9, 1 y 8 t/ha de frijol, maíz y yuca. Con esta profundidad los productores no utilizan fertilizantes químicos y los rastrojos son utilizados como único medio para recuperar la fertilidad y aumentar el contenido de materia orgánica, lo que permite más retención de agua en el suelo. Por cada año de cultivo se tienen 2 años de descanso con rastrojo.

En un terreno de 20 cm de profundidad se pueden obtener producciones de 0.4, 0.8 y 6 t/ha de frijol, maíz y yuca respectivamente. Como en el caso anterior, no se utilizan fertilizantes químicos y los rastrojos juegan el mismo papel. Por ser un suelo más pobre y con menos profundidad de perfil se requieren 3 años de rastrojo por cada año de cultivo.

Como se puede ver la productividad de los cultivos es muy variable y no solo depende de las condiciones del terreno y del uso de insumos, sino especialmente de la decisión de los productores de utilizar insumos cuando la profundidad del perfil es muy baja. En el caso del río Combeima más del 95 % de los pequeños productores que estaban en zonas de pendiente, con profundidad de suelo limitada, no utilizaron fertilizantes.

#### **4. Tratamiento de agua por tonelada de sedimento**

Para determinar la magnitud de los sedimentos se tomaron las concentraciones de los mismos en varios ríos de Colombia (Marie, 1992) que desembocan al río Magdalena, principal cuenca que alimenta las represas y acueductos de Colombia. Como promedio se utiliza una concentración de 1000 mg/litro. Para la remoción de sedimentos en las represas se estimó un valor de US\$1 tonelada y US\$0.8/m<sup>3</sup> de USD/m<sup>3</sup> para el tratamiento del agua en los acueductos.

#### **5. Forraje producido en la etapa de rastrojos**

Después de mantenimiento, la vaca necesita 46 g de proteína y 1.200 kcal/litro de leche. Esto implica que con una leguminosa de 10% de proteína y una digestibilidad de 60% estaría cubriendo los requerimientos de proteína para producir un litro de leche por kilo de materia seca consumida. Para la energía necesitaría un forraje de 2000 kcal/kg con una digestibilidad del 60%. En todo estos cálculos se asume que el productor actual ya sostiene la vaca y que el forraje adicional se destina para



producción y no para aumentar el tamaño del hato. No obstante Lascano(1993) no ha logrado incrementos de producción de leche utilizando 4 kg. de leguminosas como complemento en vacas pastoreando *Brachiana decumbens*. Esto muestra que puede ser un problema de energía y que la leguminosa no produce más energía que la gramínea. En el caso de los pequeños productores es diferente, porque sostienen la vaca con residuos de cultivos, especialmente de maíz, que tiene energía y poca proteína. En este caso la leguminosa podría actuar mucho más eficientemente al aumentar el consumo y un mejor balance.

## 6. Precio de los productos

Estrada, (1992) considera que, para la región de laderas (donde se encuentra la población), el precio nunca se reducirá, sin importar la producción; y la leche producida en los demás sitios tendrá que reducir el precio, si el aumento en productividad es muy grande.

Este precio es razonable debido a la elasticidad ingreso y precio de los estratos pobres en las ciudades (1.2-1.5), al incremento del ingreso de los estratos pobres en los próximos años, y el potencial de aumentar la oferta localmente.

### • Fertilizantes

#### Nitrógeno

El precio de la urea se ha tomado como representativo. esta es la fuente más barata de nitrógeno, US\$140/t; US\$120 precio internacional (FMI, 1993) y US\$20 de transporte y manipuleo (asumido). Con un 46% de nitrógeno, el precio de este elemento sería US\$304 /t.

#### Fósforo

El cálculo se hace en base al superfosfato. Este vale US\$160 /t; US\$140/t de precio internacional (FMI, 1993) más 20 USD de transporte y manejo. Con 46% de  $P_2O_5$  sale a 347 dólares/t de  $P_2O_5$  y a 796 la tonelada de fósforo puro (el cálculo se hizo teniendo en cuenta los pesos atómicos de los componentes [31 y 16] y el balance de los mismos en el  $P_2O_5$ . Esto implica que el fósforo representa el 43% del  $P_2O_5$ .

#### Potasio

La potasa como cloruro de potasio vale US\$130/t; US\$110/t de precio internacional (FMI, 1993) y US\$20 de transporte y manejo. De este producto, el 60% es  $K_2O$ ; la tonelada de  $K_2O$  costaría US\$200/t y la tonelada métrica de potasio costaría US\$240.

## 7. Nutrientes perdidos en el suelo que se eroda

Para hacer los cálculos se consideraron las pérdidas de los principales nutrientes: nitrógeno, fósforo y potasio. Las concentraciones de estos en los diferentes tipos de suelo y las pérdidas respectivas se presentan a continuación:

Profundidad	Fertilidad	N (%)	P (ppm)	K (meq/l)	N	P	K
					(g/t)		
60	Alta	0.3	15	5	3000	15	1950
40	Media	0.2	9	3	2000	9	1170
20	Baja	0.1	4	1	1000	4	390

## 8. Sistema de rotación entre cultivos y rastrojos

Se asume que en los terrenos más fértiles se cultiva permanentemente y no se utilizan rastrojos. A medida que la profundidad se reduce los rastrojos comienzan a ser importantes por los factores explicados anteriormente. Los valores utilizados para la 'corrida base' son de 2 años de cultivo por 4 y 6 años de rastrojo para profundidades de suelo de 40 y 20 cm, respectivamente. Este valor es muy consistente con los valores encontrados a nivel de campo en varios estudios de caso (Estrada, 1993).

Cuando se cambia el tipo de especie en el rastrojo se puede obtener el mismo grado de producción de biomasa y de fertilidad en menos años. Esto cambia la producción promedio anual de los cultivos limpios. Si además hay un incremento de la materia orgánica en el suelo se podría reducir el riesgo de cultivar en suelos de poca profundidad. Es razonable asumir que con la investigación en laderas es posible reducir en 1 año los rastrojos y aumentar el contenido de materia orgánica lo que reduce el riesgo. Esta reducción de riesgo representa el 2% y 3% del valor de la producción para suelos de 40 y 20 cm de profundidad, respectivamente.

Es de esperarse que si se reduce el riego por mejor retención de agua en el perfil del suelo, los productores estarán dispuestos a utilizar fertilizantes, lo que actualmente no están haciendo, aumentando la productividad. Este beneficio no se considera.

## 9. Impacto en la retención de agua en los rastrojos

En la mayoría de las zonas de ladera existe un régimen bimodal de precipitación anual. En los periodos secos los caudales se reducen y varios acueductos se quedan sin agua o reducen sustancialmente sus servicios.

Las zonas de ladera tienen entre 1000 mm y 2000 mm de precipitación anual lo cual conduce a que en los meses de lluvia se puede tener una precipitación mínima de 100 mm. Si los rastrojos son capaces de retener esta agua por 1 mes se almacenarían 1000 m<sup>3</sup>/ha de agua que tendría un precio 'sombra' superior al precio del agua en la época de lluvias.

Con investigación sería posible encontrar alternativas para retener más agua en el suelo o más largo tiempo para que pueda ser utilizada por los acueductos de las zonas de ladera donde se localizan muchas de las ciudades. Para cuantificar los

beneficios por este concepto se estima que podría mejorar la retención en un 30% y que estos rastrojos están localizados en zonas que afectan el 20% de los acueductos.

Se considera que el agua cada vez va a ser más importante y que el precio se va incrementar a un ritmo mayor que el precio de los alimentos. En el caso de Colombia, este crecimiento será muy importante en los próximos años, porque el esquema administrativo descentralizado favorece acciones locales de acueductos que tienen poca cobertura y el 4% del precio final de la energía garantizará la inversión en los municipios en las cuencas.

## 10. Producción de leña

Uno de los principales usos de los árboles en la región de laderas es la leña. Se estima que el 70% de los árboles donde están los pequeños productores se utiliza para este fin y se ha estimado un consumo diario de leña que varía entre 1.8 y 3.1 kg/persona por día. Este consumo está creciendo al 6% anual en los países de Centroamérica (CATIE, 1936).

Para los cálculos económicos se asume que la madera verde tiene un contenido calórico de  $9 \cdot 10^6$  BTU y el petróleo  $36 \cdot 10^6$  BTU/t. Con esta relación de precios la madera debería costar la cuarta parte del petróleo pero por manejo más complicado, solo vale una sexta parte.

Para los cálculos del presente trabajo se utiliza 1/4 del precio del petróleo porque es para consumo en las fincas y el petróleo debe convertirse en gasolina y transportarse hasta la finca. Para los cálculos se estima que un barril de petróleo vale US\$18 y pesa 200 kg con lo cual sale el kilo de leña US\$0.2.5. Cada persona gastaría entre US\$0.05 y 0.07 por día. Se hacen análisis de sensibilidad con crecimiento del 2% del precio real del combustible.

En las áreas que están en cultivo limpio se asume que la investigación es capaz de aumentar la producción en 100 kg/ha por año. Este aumento es pequeño porque los árboles se utilizarán más como rompevientos, barreras vivas y cercas. En el caso de los rastrojos el incremento es de 500 kg/ha por año porque se refiere a toda el área.



