Un manual metodológico de evaluación económica

La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos

C I M M Y T

PROGRAMA DE ECONOMIA

El Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) es una organización internacional sin fines de lucro que se dedica a la investigación y la capacitación. El CIMMYT, cuya sede se encuentra en México, lleva a cabo un programa de investigaciones a nivel mundial sobre el maíz, el trigo y el triticale, con especial atención a la producción de alimentos en los países en desarrollo. El CIMMYT es uno de 13 centros internacionales, sin fines de lucro, dedicados a la investigación agrícola y la capacitación, que están financiados por el Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional (CGIAR, Consultative Group on International Agricultural Research). El CGIAR a su vez goza del apoyo de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO), el Banco Internacional para la Reconstrucción y el Desarrollo (Banco Mundial) y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). El CGIAR además cuenta con el patrocinio de aproximadamente 40 países donadores, organizaciones internacionales y regionales, y fundaciones privadas.

Como parte de su presupuesto básico, el CIMMYT recibe fondos de varias fuentes, incluidas las instituciones de ayuda internacional de Australia, Austria, Brasil, Canadá, China, Dinamarca, España, Estados Unidos, Filipinas, Finlandia, Francia, India, Irlanda, Italia, Japón, México, Noruega, los Países Bajos, Reino Unido, República Federal de Alemania y Suiza, así como del Banco Interamericano de Desarrollo, el Banco Mundial, la Comisión Económica Europea, la Fundación Ford, la Fundación OPEP para el Desarrollo Internacional y el PNUD. Asimismo, fuera del CGIAR el CIMMYT recibe apoyo económico para proyectos especiales de Bélgica, el Centro de Investigación para el Desarrollo Internacional, la Fundación Rockefeller y muchos de los donadores que contribuyen al presupuesto básico y que se mencionan arriba.

El CIMMYT es el único responsable de esta publicación.

Cita correcta: CIMMYT 1988. *La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: Un manual metodológico de evaluación económica*. Edición completamente revisada. México D.F., México: CIMMYT.

ISBN 968-6127-24-0

Prefacio

Este documento es una versión totalmente revisada del manual del Programa de Economía del CIMMYT, titulado *Formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: Un manual metodológico de evaluación económica*, escrito por Richard Perrin, Donald Winkelmann, Edgardo Moscardi y Jock Anderson. Desde su publicación inicial en 1976, se han hecho seis reimpresiones de esta obra que se ha traducido a seis idiomas. Asimismo, un sinnúmero de estudiantes e investigadores la han utilizado para aprender un método directo de analizar los resultados de los ensayos agronómicos en fincas y formular recomendaciones para el agricultor.

Fue con considerable cautela que emprendimos la revisión de una obra que ha tenido tanto éxito. Nuestra labor a lo largo de la última década nos ha brindado la oportunidad de exponer este material, tanto en el aula como en el campo, a investigadores agrícolas en ambientes muy variados en todo el mundo. Esta experiencia nos indujo a proponer y ensayar nuevas formas de presentar y explicar los conceptos. Gradualmente empezamos a considerar la posibilidad de incorporar algunas de esas ideas en una versión revisada del manual.

Una de las primeras etapas del proceso de revisión fue un conjunto de ejercicios para la instrucción en el aula, desarrollado por Larry Harrington. Más tarde, Robert Tripp y Gustavo Sain idearon otros ejercicios y métodos de exposición que ensayaron en los cursos de capacitación. Además, redactaron el primer borrador del presente documento y luego dirigieron la revisión en la que participó todo el personal del Programa de Economía del CIMMYT.

Del mismo modo que esta revisión se basa en la experiencia de cientos de investigadores con el manual original, esperamos que las personas que utilicen la nueva versión nos sugieran maneras de mejorarla. Creemos que esta obra será útil en el salón de clase, en el estudio individual y como referencia. Hemos elaborado también un libro de ejercicios que acompaña este manual y puede obtenerse en el CIMMYT. Esperamos que la nueva versión encuentre la amplia aceptación que tuvo el manual original.

Derek Byerlee
Director del
Programa de Economía del CIMMYT

Agradecimientos

Muchas personas han colaborado en la producción de esta obra. Jock Anderson y Richard Perrin, dos de los autores del manual original, accedieron gentilmente a leer el último borrador de esta versión revisada, y aportaron sugerencias y comentarios detallados. Asimismo, Miguel Avedillo, Carlos González, Peter Hildebrand, Roger Kirkby, Stephen Waddington y Patrick Wall leyeron el borrador y agregaron sus valiosas ideas. Por otra parte, los participantes en los cursos y talleres que el Programa de Economía del CIMMYT ha presentado en los últimos diez años han hecho contribuciones significativas a la evolución de este manual.

Se hicieron varios borradores del documento, lo cual no hubiese sido posible sin la estupenda organización y mecanografía de María Luisa Rodríguez. Kelly Cassaday estuvo a cargo de la edición en inglés, Alma McNab de la traducción al español y Anita Albert dirigió el diseño. Silvia Bistrain, Maricela A. de Ramos, Miguel Mellado E., Rafael de la Colina F., José Manuel Fouilloux B. y Bertha Regalado M. realizaron la tipografía, composición y producción.

Indice

Primera parte: Introducción	**Capítulo uno** Panorama general del análisis económico	**1**
Segunda parte: El presupuesto parcial	**Capítulo dos** Los costos que varían	**13**
	Capítulo tres Beneficios brutos de campo, beneficios netos y el presupuesto parcial	**20**
Tercera parte: El análisis marginal	**Capítulo cuatro** La curva de beneficios netos y la tasa de retorno marginal	**30**
	Capítulo cinco La tasa de retorno mínima aceptable	**34**
	Capítulo seis El análisis marginal en la formulación de recomendaciones	**38**
Cuarta parte: La variabilidad	**Capítulo siete** Preparación de los resultados experimentales para el análisis económico: Los dominios de recomendación y el análisis estadístico	**55**
	Capítulo ocho Variabilidad en los rendimientos: El análisis de los retornos mínimos	**63**
	Capítulo nueve Variabilidad en los precios: El análisis de sensibilidad	**71**
Quinta parte: Resumen	**Capítulo diez** Informe de los resultados del análisis económico	**76**
	Indice alfabético de materias	**79**

Capítulo uno
Panorama general del análisis económico

En este manual se presenta una serie de procedimientos para realizar el análisis económico de los resultados obtenidos en los ensayos en fincas, que los científicos agrícolas podrán utilizar al formular recomendaciones para los agricultores a partir de datos agronómicos. La elaboración de recomendaciones que se ajusten a los objetivos y las circunstancias del agricultor no es necesariamente difícil, pero cuando se hacen a un lado factores que son importantes para el agricultor, es muy fácil formular recomendaciones inadecuadas. Cabe señalar que algunos de estos factores a veces no resultan muy evidentes.

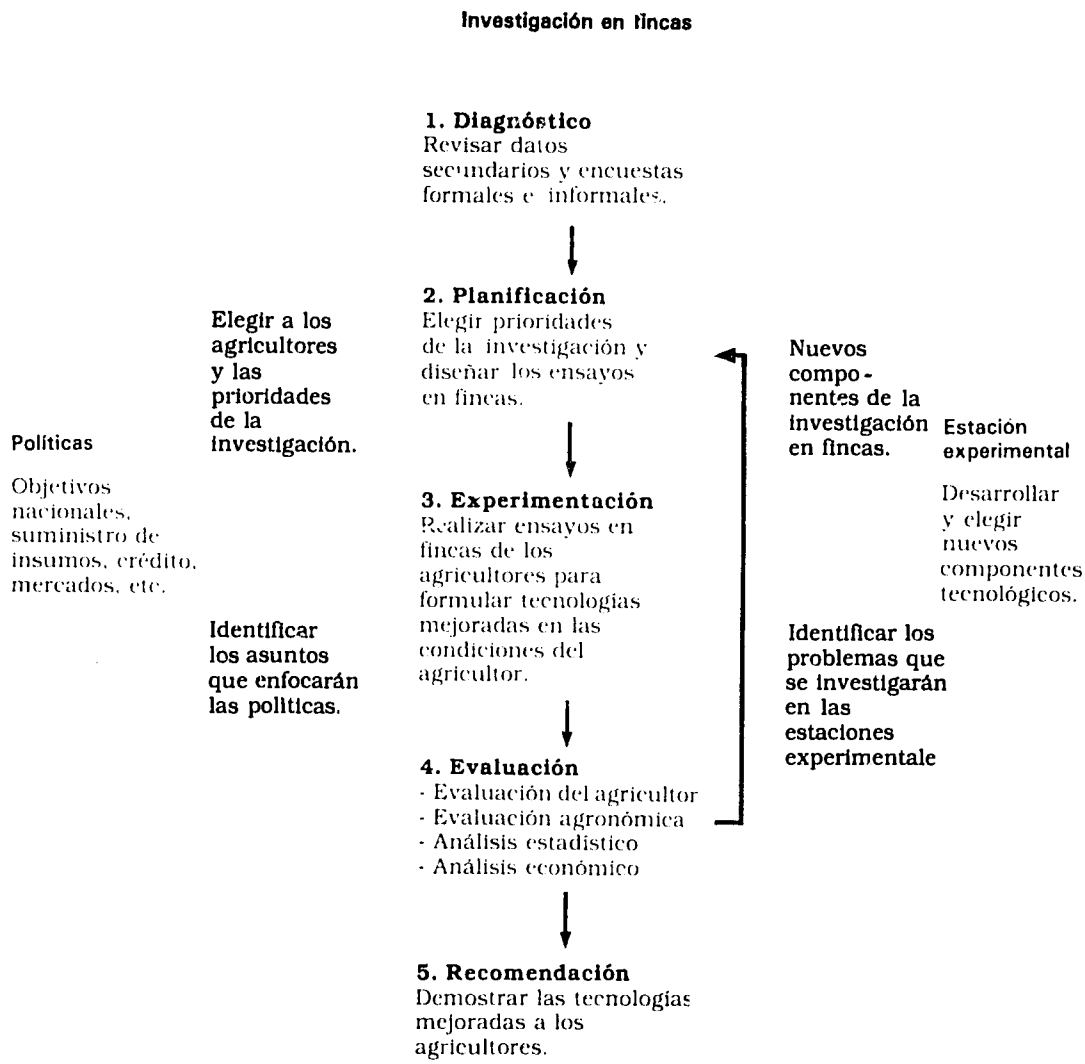
Una recomendación es información que el agricultor puede utilizar para mejorar la productividad de sus recursos. Puede considerarse que una buena recomendación es aquella acción que el agricultor, con sus recursos actuales, escogería si contara con toda la información que los investigadores tienen. El agricultor puede utilizar una recomendación directamente, como en el caso de una variedad determinada, o quizá tenga que ajustarla a sus condiciones y necesidades, como en el caso del nivel de fertilizantes o de una técnica de almacenamiento. Los datos agronómicos en los que se fundamentan las recomendaciones deben corresponder a las condiciones agroecológicas del agricultor, y la evaluación de tales datos debe ser coherente con sus objetivos y circunstancias socioeconómicas.

La investigación en fincas

Las etapas de un programa de investigación en fincas aparecen en la figura 1.1. El primer paso es el diagnóstico. Para que las recomendaciones se orienten al agricultor, la investigación debe comenzar con el conocimiento de las condiciones de éste. Dicho conocimiento se logra realizando cierto trabajo de diagnóstico sobre el terreno, incluidas las observaciones en las parcelas de los agricultores y entrevistas con los mismos. El diagnóstico se utiliza para ayudar a identificar los principales factores que limitan la productividad agrícola y especificar las posibles mejoras.

Los datos que arroja el diagnóstico se emplean para planificar un programa de investigación experimental que abarque ensayos en los campos de los agricultores. Este tipo de ensayo deberá sembrarse en las parcelas de agricultores representativos. Después del primer año, los resultados de los ensayos forman parte importante de la información que se usará para planear la investigación en los ciclos de cultivo subsecuentes. Durante el manejo del programa experimental se siguen llevando a cabo otros trabajos de diagnóstico, pues los investigadores continúan buscando información acerca de las condiciones y problemas de los agricultores que podría ser útil en la planificación de ensayos futuros.

Figura 1.1. Etapas de la investigación en fincas.



Una vez obtenidos los resultados de los ensayos en fincas, se lleva a cabo una evaluación que incluye varios elementos. En primer lugar, los investigadores deben examinar los resultados con el agricultor a fin de obtener sus opiniones de los tratamientos que ha observado en sus campos. La evaluación del agricultor es fundamental. Además, habrá que hacer la interpretación agronómica y el análisis estadístico de los resultados de los ensayos. Por último, es esencial el análisis económico de los resultados, pues ayuda a los investigadores a considerarlos desde el punto de vista del agricultor, a decidir cuáles tratamientos merecen mayor investigación y cuáles recomendaciones deben proponer a los agricultores. Los procedimientos que se siguen en la realización de un análisis económico son el tema de este manual.

Los resultados de la evaluación de los ensayos en fincas pueden utilizarse para varios fines. Primero, pueden emplearse para planificar investigaciones subsecuentes. Algunos experimentos tienen como meta esclarecer los problemas de la producción: por ejemplo, determinar si ésta se ve limitada por la escasez de fósforo o si un mejor control de las malezas resultará en un aumento significativo de los rendimientos. Las respuestas a tales preguntas dan a los investigadores información que podrán utilizar en trabajos posteriores. Como se muestra en la figura 1.1, además de ser útil en la planificación de ensayos, dicha información puede ayudar a orientar la labor de la estación experimental.

Segundo, los resultados pueden usarse para formular recomendaciones a los agricultores. Algunos ensayos comparan las distintas formas de mejorar las prácticas actuales del agricultor: por ejemplo, qué nivel de fósforo debe aplicarse o cuál método de control de malezas da el mejor resultado. Las respuestas a estas preguntas proporcionan información que ayuda al agricultor a tomar las decisiones respecto al manejo de su parcela.

Por último, los resultados de los ensayos en fincas pueden utilizarse en ocasiones para suministrar a los responsables de formular las políticas agrícolas información del efecto que tienen las políticas actuales sobre el suministro de insumos o los reglamentos de crédito. Asimismo, los resultados pueden usarse para analizar cómo se ejecutan las políticas: por ejemplo, determinar, en vista de una respuesta significativa al fósforo, si es posible obtener el fertilizante correspondiente, o si los programas de crédito locales permiten al agricultor aprovechar los nuevos métodos para combatir las malezas. Aunque el enfoque principal de este manual es el análisis económico de los ensayos en fincas para orientar las investigaciones posteriores y/o formular recomendaciones para el agricultor, en ciertos puntos se señalarán los vínculos entre la investigación en fincas y la puesta en práctica de las políticas.

Los objetivos del agricultor

Si desean formular recomendaciones que los agricultores adopten, los investigadores deben estar conscientes no sólo del elemento biológico en la agricultura, sino también del elemento humano. Con este fin, deben considerar los objetivos del agricultor y su familia, así como los factores que obstaculizan el logro de dichos objetivos.

En primer lugar, el interés primordial de muchos agricultores es asegurar un suministro adecuado de alimentos para sus familias. Esto lo logran produciendo la mayor parte de lo que consumen o vendiendo cierta porción de su producción y utilizando el dinero para adquirir alimentos. La explotación agrícola satisface también otras necesidades de la familia del agricultor, ya sea directamente o porque produce utilidades en efectivo. Además, la familia del agricultor generalmente forma parte de una comunidad más extensa, hacia la que tiene ciertas obligaciones. Para satisfacer todos estos requerimientos, el agricultor a menudo maneja un sistema muy complejo de actividades, que puede abarcar varios cultivos, animales y trabajo fuera de la finca. Aunque los procedimientos presentados en este manual se centran en la evaluación de las mejoras efectuadas a determinados cultivos, es esencial que las nuevas prácticas evaluadas sean compatibles con el resto del sistema de la finca.

En segundo lugar, el agricultor está interesado en el retorno económico. Ya sea que venda poco o mucho de lo que produce, considera los costos de cambiar de una práctica a otra y los beneficios económicos que resultan de dicho cambio. Por ejemplo, reconoce que si elimina las malezas de sus campos es posible que coseche una mayor cantidad de grano, pero también se da cuenta de que tiene dos alternativas para hacerlo: dedicar mucho tiempo y esfuerzo al deshierbe manual, o invertir dinero en adquirir herbicidas, junto con el tiempo y esfuerzo necesarios para aplicarlos. El agricultor compara los beneficios en forma de grano (u otros productos útiles) contra lo que sacrifica (costos) en forma de mano de obra y dinero. Lo que hace en realidad es evaluar la diferencia entre los *beneficios netos* obtenidos con las dos prácticas —es decir, el valor de los beneficios menos el valor de lo que sacrificó.

Al evaluar los costos y beneficios de los diferentes tratamientos, el agricultor toma en cuenta los factores de riesgo. En el ejemplo del control de las malezas mencionado anteriormente, el agricultor sabe que si hay sequía o heladas tempranas, quizá no logre una cosecha, no importa el tipo de control de malezas que haya utilizado. Por consiguiente, trata de protegerse contra el

riesgo de perder beneficios, evitando aquellas opciones que, aunque en promedio sean más redituables, incrementen su dependencia de los factores de riesgo. Cuando el agricultor prefiere retornos menores, pero estables, a posibles retornos más altos, se dice que tiene aversión al riesgo.

Otro factor relacionado con la aversión al riesgo que hay que considerar en la toma de decisiones del agricultor es que tiende a cambiar sus prácticas de manera gradual, paso a paso. Compara sus prácticas actuales con las alternativas propuestas y cautelosamente busca la forma de probar las nuevas tecnologías. Por tanto, es más probable que adopte elementos individuales o pequeñas combinaciones de éstos que un paquete tecnológico completo. Esto no significa que a la larga no vaya a usar todos los elementos de un paquete tecnológico, sino sencillamente que al formular las recomendaciones es preferible idear una estrategia que le permita realizar los cambios poco a poco.

Características de la experimentación en fincas

¿Cuáles son las características de los experimentos agronómicos que permiten evaluar las alternativas tecnológicas en forma semejante a como el agricultor toma sus decisiones? Enseguida aparecen cinco requerimientos o características de la experimentación en fincas que hay que satisfacer para que los procedimientos descritos en este manual sean útiles:

1 Los ensayos deben abordar problemas que son fundamentales para el agricultor. Es posible que al principio el agricultor mismo no esté consciente de un problema determinado (por ejemplo, una carencia de nutrimentos o una enfermedad), pero si la investigación no mejora la productividad en forma significativa, no le interesará y no valdrá la pena evaluarla. Así pues, los ensayos exigen un conocimiento adecuado de las condiciones agronómicas y socioeconómicas del agricultor.

2 Los experimentos deben examinar relativamente pocos factores a la vez. Un ensayo en fincas con más de cuatro variables será difícil de manejar y quizá no sea congruente con el proceso de adopción gradual del agricultor.

3 Para comparar la práctica del agricultor con las distintas alternativas a fin de formular una recomendación, dicha práctica deberá incluirse en los tratamientos del ensayo. De todas formas, el agricultor querrá ver esta comparación.

4 Las variables no experimentales de un ensayo deben reflejar las prácticas del agricultor representativo. A veces resulta muy tentador usar las variables no experimentales a niveles más altos de manejo con el fin de aumentar la probabilidad de obtener respuestas observables a los tratamientos. Este tipo de ensayo ciertamente se justifica en algunos casos, pero los resultados por lo general no se pueden usar para formular recomendaciones a los agricultores.

El siguiente ejemplo ilustra el caso. Supongamos que los investigadores proyectan un ensayo sobre la fertilización en una zona donde los insectos causan pérdidas de rendimientos, pero los agricultores no los combaten. Existen cuatro posibilidades:

- Efectuar el ensayo de la fertilización con un buen control de insectos. Dicho experimento arrojará datos interesantes sobre la respuesta al fertilizante, pero probablemente no produzca una recomendación pertinente en cuanto al uso de fertilizantes para los agricultores que no combaten a los insectos. Un análisis de este experimento con los procedimientos descritos en este manual dará resultados equívocos.

- Realizar el experimento sobre la fertilización sin combatir a los insectos (la práctica del agricultor). Es posible analizar los resultados con los procedimientos contenidos en este manual y establecer el nivel adecuado de fertilizante en vista de las prácticas actuales que el

- Si los insectos en realidad constituyen un problema grave, quizá sea mejor realizar un ensayo sobre los diferentes métodos de combatir a los insectos, antes de experimentar con la fertilización. Las etapas de diagnóstico y planificación de la investigación en fincas ayudan a establecer estas prioridades. Los métodos de este manual podrían utilizarse en ese caso para identificar un buen método de combatir a los insectos que se pueda recomendar a los agricultores.1/

- Cuando los insectos y la fertilidad constituyen problemas serios, se puede diseñar un ensayo con el control de insectos y el fertilizante como variables experimentales. El ensayo puede ser evaluado con los procedimientos contenidos en este manual, siempre y cuando un tratamiento represente la práctica del agricultor respecto al control de insectos y la fertilidad.

5 Finalmente, el manejo de las variables no experimentales no sólo debe ser semejante a la práctica del agricultor, sino que los ensayos deben sembrarse en localidades que representen sus condiciones.

1/ Una vez realizada esta labor, y si existe suficiente evidencia de que los agricultores adoptarán el nuevo método de combatir a los insectos, éste podría utilizarse como una variable no experimental en los ensayos sobre la fertilización, siempre y cuando quede claro que la validez de la recomendación respecto al fertilizante que surja de estos ensayos dependerá de que el agricultor adopte en primer lugar el método de combatir a los insectos.

Por ejemplo, si la mayoría de las parcelas se localizan en laderas empinadas, los resultados de ensayos sembrados en un llano de suelo aluvial no serán pertinentes. De manera parecida, si la mayoría de los agricultores siembran un cultivo en rotación con otro, los ensayos en campos que han estado en descanso por varios años proporcionarán muy poca información útil. En la siguiente sección se dan algunas pautas sobre cómo seleccionar sitios adecuados para la experimentación en fincas.

Los sitios experimentales y los dominios de recomendación

La formulación de las recomendaciones para los agricultores debe ser tan eficiente como sea posible. Las condiciones en que viven y trabajan los agricultores difieren en casi todos los aspectos imaginables, pues poseen distintas cantidades y clases de tierras, diferentes recursos económicos, diversas actitudes frente al riesgo, acceso variable a la mano de obra, distintas oportunidades de comercializar sus productos, etc. Aun cuando muchas de estas diferencias pueden influir en la respuesta del agricultor a las recomendaciones, resulta imposible formular una recomendación distinta para cada agricultor.

El dominio de recomendación

Desde un punto de vista práctico, los investigadores deben identificar grupos de agricultores cuyas circunstancias son lo suficientemente semejantes como para que una sola recomendación resulte adecuada. En este manual, estos grupos de agricultores se denominan *dominios de recomendación*. La definición de los dominios de recomendación puede llevarse a cabo según las circunstancias agroclimáticas y/o socioeconómicas, dependiendo de la recomendación que se vaya a hacer. Por ejemplo, una nueva variedad puede ser adecuada para todos los agricultores de una región dada, en tanto que cierta recomendación sobre la fertilización quizá resulte apropiada sólo para aquellos agricultores que practican cierta rotación o cuyos campos tienen cierto tipo de suelo. Así pues, el dominio de recomendación para la variedad sería diferente del establecido para la fertilización.

Los dominios de recomendación se identifican, definen y redefinen a lo largo del proceso de la investigación en fincas. A veces es posible describirlos tentativamente durante el primer diagnóstico. Con la experimentación, la definición de los dominios se vuelve más precisa. La definición final quizá no se establezca hasta que la recomendación esté lista para ser entregada a los agricultores.

Al interpretar los datos agronómicos para formular las recomendaciones, los investigadores deben tener una idea clara del grupo de agricultores que podría beneficiarse con la información. Deben considerar no sólo las zonas agroclimáticas en las que los resultados serán útiles, sino también si factores como las distintas prácticas de manejo o el acceso a los recursos serán importantes en hacer que algunos agricultores interpreten los resultados de manera distinta a otros.

Para los fines de este manual, es importante que los ensayos en fincas se siembren en sitios que son representativos del dominio de recomendación. El análisis económico se lleva a cabo con los *datos combinados* de un grupo de localidades en un mismo dominio. El análisis económico de los resultados de un solo sitio no es muy útil porque, en primer lugar, los investigadores no pueden hacer recomendaciones para un solo agricultor y, segundo, es muy raro que un solo sitio proporcione suficientes datos agronómicos para ser extrapolados a un grupo de agricultores. Por tanto, todos los ejemplos en este manual representan datos de varios sitios en un solo dominio de recomendación.

Introducción a los conceptos básicos

Para poder formular recomendaciones adecuadas para los agricultores, los investigadores deben ser capaces de evaluar las alternativas tecnológicas desde el punto de vista del agricultor. Las premisas de este manual son:

1. Los agricultores se interesan en los costos y beneficios de determinadas tecnologías;

2. Generalmente adoptan las innovaciones paso a paso, y

3. Consideran el riesgo de adoptar las nuevas prácticas.

Los temas anotados se tratarán en las otras partes de este manual; por ejemplo, en la segunda parte se describe la elaboración del presupuesto parcial que se utiliza para calcular los beneficios netos. En la tercera parte se exponen las técnicas del análisis marginal, que constituye una manera de evaluar la sustitución de una alternativa tecnológica por otra, comparando los cambios de costos y beneficios netos asociados con cada una de ellas. En la cuarta parte se explican las formas de manejar la variabilidad inherente a los ambientes en los que se desenvuelven los agricultores. Tanto la variación en los resultados de un sitio a otro y/o de un año a otro, como la variación en los costos de los insumos y los precios de los

cultivos son aspectos que el agricultor tiene en cuenta cuando toma decisiones. En la quinta parte de esta obra se presenta un resumen de las cuatro partes anteriores y algunas normas generales para comunicar los resultados de la investigación.

Las secciones que siguen inmediatamente constituyen una breve introducción a estos temas.

El presupuesto parcial

Este es un método que se utiliza para organizar los datos experimentales con el fin de obtener los costos y beneficios de los tratamientos alternativos. Como ejemplo consideremos al agricultor que trata de decidir entre su práctica de deshierbe manual y la alternativa de aplicar un herbicida. Supongamos que se han sembrado algunos ensayos en campos de agricultores y que los resultados indican que con el deshierbe manual se logran rendimientos medios de 2,000 kg/ha, en tanto que con el herbicida el rendimiento medio es de 2,400 kg/ha.

Cuadro 1.1. Ejemplo de un presupuesto parcial.

	Deshierbe manual	Herbicida
Rendimiento medio (kg/ha)	2,000	2,400
Rendimiento ajustado (kg/ha)	1,800	2,160
Beneficios brutos de campo ($/ha)	3,600	4,320
Costo del herbicida ($/ha)	0	500
Costo de mano de obra para aplicar herbicida ($/ha)	0	100
Costo de mano de obra para deshierbe ($/ha)	400	0
Total de costos que varian ($/ha)	400	600
Beneficios netos ($/ha)	3,200	3,720

En el cuadro 1.1 aparece un presupuesto parcial para este ensayo sobre el control de malezas. Dos columnas representan los dos tratamientos alternativos (deshierbe manual y herbicida). La primera línea del presupuesto presenta los rendimientos medios obtenidos *en todos los sitios del dominio de recomendación* para cada tratamiento. La segunda línea es el *rendimiento ajustado*. Aunque los

ensayos se sembraron en parcelas de agricultores representativos, los investigadores calculan que los rendimientos que los agricultores hubieran logrado con las mismas tecnologías habrían sido un 10% inferiores. Por tanto, los ajustaron reduciéndolos un 10% (el ajuste de los rendimientos se tratará en el capítulo 3).

La siguiente línea presenta el *beneficio bruto de campo* que valora el rendimiento ajustado para cada tratamiento. Para calcular el beneficio bruto de campo, es necesario conocer el precio de campo del producto. El *precio de campo* es el valor de un kilogramo del producto para el agricultor, después de deducir los costos de la cosecha que son proporcionales al rendimiento. En este ejemplo, el precio de campo es $2/kg (es decir, 1,800 kg/ha x $2/kg = $3,600/ha).[2/]

El agricultor podrá ahora comparar los beneficios brutos de cada tratamiento, pero también querrá tomar en cuenta los diferentes costos. Al considerar los costos relacionados con cada tratamiento, el agricultor sólo debe preocuparse por aquellos que difieren entre los tratamientos, es decir, los *costos que varían*. El agricultor incurrirá en costos que no difieren en los tratamientos (como los costos de la preparación del suelo y de la siembra), no importa el tratamiento que utilice. Estos costos no afectan sus opciones en cuanto al control de malezas y por tanto pueden hacerse a un lado al tomar esta decisión. El término "presupuesto parcial" indica que éste no incluye todos los costos de la producción —sólo los que son afectados por los tratamientos alternativos considerados.

En este caso, los costos que varían son aquellos que se relacionan con el control de malezas. En el cuadro 1.2, se demuestra la forma de calcular estos costos. Nótese que

Cuadro 1.2. Cálculo de los costos que varían.

Precio del herbicida	$250/l
Cantidad usada	2 l/ha
Costo del herbicida	**$500/ha**
Precio de mano de obra	$50/día
Mano de obra para aplicar herbicida	2 días/ha
Costo de mano de obra para aplicar herbicida	**$100/ha**
Precio de mano de obra	$50/día
Mano de obra para deshierbar	8 días/ha
Costo de mano de obra para deshierbar	**$400/ha**

El signo de $ en este manual no representa una moneda en particular y en los ejemplos que siguen se supone que se trata de distintas monedas. Otras abreviaturas que aparecen en esta obra son: hectárea (ha), kilogramo (kg) y litro (l).

todos se calculan por hectárea. El total de los *costos que varían* para cada tratamiento representa la suma de los costos que varían individuales. En este ejemplo, el total de los costos que varían para la práctica actual del deshierbe manual es de $400/ha, y el total de los costos que varían para la alternativa del herbicida es de $600/ha.

La última línea del presupuesto parcial enumera los *beneficios netos*. Estos se calculan restando el total de los costos que varían de los beneficios brutos de campo. En el ejemplo del control de malezas, los beneficios netos logrados con el uso del herbicida son $3,720/ha, y los de la práctica del agricultor son $3,200/ha. Los beneficios netos no son lo mismo que las utilidades, porque el presupuesto parcial no incluye los otros costos de producción que no tienen que ver con esta decisión en particular. Si bien el calcular los costos totales de la producción a veces resulta útil para otros fines, el tema no se tratará en esta obra.

Así pues, el presupuesto parcial es una manera de calcular el total de los costos que varían y los beneficios netos de cada tratamiento de un experimento en fincas. El presupuesto parcial incluye los rendimientos medios para cada tratamiento, los rendimientos ajustados y el beneficio bruto de campo (en base al precio de campo del cultivo). Asimismo, toma en cuenta todos los costos que varían para cada tratamiento. Las dos últimas líneas son el total de los costos que varían y los beneficios netos.

El análisis marginal

En el ejemplo del control de malezas, los beneficios netos obtenidos con el herbicida son mayores que los logrados con el deshierbe manual. Según parece, el agricultor debería optar por usar el herbicida; sin embargo, esta opción no resulta tan clara, pues el agricultor deberá tomar en cuenta también el aumento de los costos. Aunque al calcular los beneficios netos se incluyan los costos que varían, es necesario comparar los costos adicionales (o marginales) con los beneficios netos adicionales (o marginales). Es posible que los beneficios netos no sean tan atractivos si para obtenerlos se incurre en costos mucho más elevados.

En el ejemplo, si el agricultor adoptara el herbicida, se requeriría una inversión adicional de $200/ha, es decir, la diferencia entre los costos del uso del herbicida ($600) y el costo de su práctica actual ($400). Esta diferencia se puede comparar con el aumento de los beneficios netos, o sea $520/ha ($3,720-$3,200).

Si cambia su práctica actual por el herbicida, el agricultor hará una inversión suplementaria de $200/ha para obtener beneficios adicionales de $520/ha. Una forma de evaluar este cambio es dividir la diferencia en beneficios netos por la diferencia en costos que varían ($520/$200 = 2.6). O sea que por cada $1/ha que en promedio invierte en el herbicida, el agricultor recupera su $1 más $2.6/ha. Esta proporción generalmente se expresa como un porcentaje (es decir, 260%) y se denomina *tasa de retorno marginal.*

El *análisis marginal* es la operación de calcular las tasas de retorno marginales para los tratamientos alternativos, paso a paso, empezando con el tratamiento de menor costo, avanzando hasta el de mayor costo, y decidir si resultan aceptables para el agricultor.

La variabilidad

Además de preocuparse por los beneficios netos de las alternativas tecnológicas y las tasas de retorno marginales de cambiar de una a otra, el agricultor también considera la posible variabilidad de los resultados. Dicha variabilidad puede tener muchas causas que los investigadores deben tomar en cuenta al formular las recomendaciones.

Los resultados de los ensayos siempre presentan cierta variabilidad de un sitio a otro y de un año a otro. Una evaluación agronómica de los resultados ayudará a los investigadores a decidir si los sitios experimentales en realidad son representativos de un solo dominio de recomendación y por tanto deberán analizarse juntos, o si representan dominios diferentes. Este tipo de evaluación agronómica ayuda a hacer más precisa la definición de los dominios y resulta en recomendaciones que se ajustan más a las circunstancias del agricultor.

Otra posible fuente de variabilidad en los resultados son los factores imposibles de predecir o controlar, como las sequías, inundaciones o heladas. Estos son riesgos que el agricultor tiene que encarar y, si los datos experimentales los reflejan, deberán incluirse en el análisis.

Finalmente, el agricultor está consciente de que el medio económico en el que se desenvuelve no es perfectamente estable. Los precios de los cultivos cambian de un año a otro así como también varían la mano de obra disponible, el costo de la misma y los precios de los insumos. Si bien estos cambios son difíciles de predecir con exactitud, los investigadores cuentan con técnicas que les permiten juzgar sus recomendaciones de acuerdo con los posibles cambios en las circunstancias económicas del agricultor.

Capítulo dos
Los costos que varían

Los costos que varían

El paso inicial al efectuar un análisis económico de los ensayos en fincas es calcular los costos que varían con cada tratamiento. ***Los costos que varían*** **son los costos (por hectárea) relacionados con los insumos comprados, la mano de obra y la maquinaria, que varían de un tratamiento a otro.** El agricultor querrá evaluar todos los cambios que debe hacer al adoptar una práctica nueva. Por lo tanto, es fundamental tomar en consideración todos los costos relacionados con los insumos afectados por el cambio de tratamiento. Estos son los elementos relacionados con las variables experimentales; entre ellos figuran los insumos comprados, como productos químicos o semilla, la cantidad y/o tipo de mano de obra y la cantidad y/o tipo de maquinaria. Los costos que varían deberían calcularse antes de sembrar el ensayo, como parte del proceso de planificación y con el fin de tener una idea de los costos de los diferentes tratamientos que se consideran en el programa experimental.

Cuando se elabora un presupuesto parcial, es necesario encontrar una medida común, ya que no es posible sumar horas de trabajo y litros de herbicida para compararlos con kilogramos de grano. La solución es usar el valor de estos factores, calculado en unidades monetarias, como denominador común, y así poder estimar los costos de la inversión de manera uniforme. Esto no implica que el agricultor necesariamente invierta dinero en la mano de obra o que reciba dinero por el grano, ni tampoco que se preocupe sólo por el dinero, sino que constituye una manera sencilla de representar lo que hace cuando compara el valor de lo que gana y de lo que sacrifica.

El costo de oportunidad

En el cálculo de los costos que varían, el ***costo de oportunidad*** es un concepto esencial. No todos los costos incluidos en el presupuesto parcial representan el intercambio de dinero. En el caso de la mano de obra, por ejemplo, es posible que el agricultor prefiera hacer el trabajo él mismo, en vez de contratar a otra persona para realizar la tarea. **El costo de oportunidad se define como el valor del recurso en su mejor uso alternativo.** Por lo tanto, si el agricultor puede ganar dinero trabajando fuera del predio en vez de trabajar en su propia parcela, el costo de oportunidad del deshierbe es el salario neto que percibiría de no haber elegido hacer él mismo el deshierbe en su finca. El concepto del costo de oportunidad se tratará en varios puntos de las secciones siguientes.

El precio de campo (de un insumo)

El *precio de campo* de un insumo variable es el valor que se sacrifica para usar una unidad adicional del insumo en la parcela. El precio de campo se expresa en términos de unidades físicas de venta (por ejemplo, $ por kilogramo de semilla, por litro de herbicida, por día de trabajo u hora de trabajo con tractor).

El costo de campo

El *costo de campo* es el precio de campo multiplicado por la cantidad de unidades físicas de un insumo que se necesitan en un área determinada. Los costos de campo por lo general se expresan en $/ha. Si el precio de campo del herbicida es de $10/l y se requieren 3 l/ha, entonces el costo de campo del herbicida es $30/ha. En ambos casos, se hace hincapié en la palabra *campo*, porque se trata de lo que el agricultor pagaría por el insumo y su transporte al campo. Estos precios de campo pueden ser muy diferentes de los precios oficiales.

Identificación de los insumos variables

Para identificar los insumos que son afectados por los tratamientos alternativos incluidos en un ensayo, los investigadores deben familiarizarse con las prácticas del agricultor y con las que se usarán en el experimento. Luego deben determinar y enumerar las operaciones que varían con el tratamiento.

Por ejemplo, un ensayo en el que se prueban dos fungicidas (A y B), junto con la práctica del agricultor que consiste en no aplicar ninguno, incluye tres tratamientos; la lista de insumos variables es la que sigue:

- Fungicida A
- Fungicida B
- Mano de obra para aplicar cada fungicida
- Mano de obra para acarrear el agua que se mezclará con el fungicida
- Alquiler de la bomba para aplicar el fungicida

En esta lista se incluyen los insumos comprados (fungicidas), la mano de obra y el equipo (la bomba). En las siguientes secciones se explica cómo se calculan los costos de todas estas variables.

Los insumos comprados

Entre los insumos comprados figuran componentes como la semilla, los insecticidas, los fertilizantes y el agua de riego. La mejor manera de calcular el precio de campo de un insumo comprado es obtener el precio al menudeo de un paquete de tamaño adecuado en el lugar donde la mayoría de los agricultores compran sus insumos. Por ejemplo, si el agricultor suele comprar el insecticida en paquetes de 1 kg en un mercado rural, ése es el precio que debe utilizarse, no el precio de un saco de 25 kg de insecticida en la capital.

En algunas situaciones, el agricultor sembrará semilla de su cosecha anterior en lugar de comprarla. Esta semilla también tiene un precio, y el mejor modo de calcular su precio de campo de oportunidad es utilizar el precio que el agricultor paga cuando compra la semilla localmente, ya sea en el mercado o a otro agricultor.

El siguiente paso es averiguar cómo el agricultor transporta el insumo hasta su finca. Los costos del transporte en realidad son insignificantes si se trata de insumos no voluminosos, como los insecticidas y los herbicidas, que el agricultor puede llevar consigo. No obstante, cuando se trata de los fertilizantes y la semilla, el agricultor tiene que utilizar un camión o un animal de carga para transportar el insumo hasta la finca. En este caso, un cargo por transporte debe agregarse al precio de menudeo. Dado que muchos agricultores contratan a otras personas para que les transporten estos insumos, no es difícil averiguar lo que normalmente se cobra por este servicio. En general, es preferible dejarse guiar por las prácticas que sigue la mayoría de los agricultores del dominio de recomendación.

Por ejemplo, si un saco de 50 kg de urea cuesta $375 en el mercado, y el costo de transportarlo a la granja es de $25, el precio de campo de la urea se calcula como sigue:

$375	costo de 50 kg de urea en el mercado
+$ 25	costo del transporte a la finca
$400	precio de campo de los 50 kg de urea

$$\text{ó } \frac{\$400}{50 \text{ kg}} = \$8/\text{kg, precio de campo de la urea}$$

A menudo en los ensayos de fertilización, sobre todo en las primeras etapas de la investigación, se utilizan fertilizantes que contienen un solo nutrimento y los tratamientos suelen expresarse en términos de las cantidades del nutrimento (por ejemplo, 50 kg N/ha o 40 kg P_2O_5/ha) que se utilizan. En estos casos, es conveniente avanzar un paso más y calcular el precio de campo del nutrimento, dividiendo el precio de campo del fertilizante por la proporción de nutrimento en el mismo. En el caso de la urea, que contiene un 46% de nitrógeno,

$$\frac{\$8/\text{kg de urea}}{0.46 \text{ kg N/kg urea}} = \$17.4/\text{kg N, precio de campo de N}$$

El costo de campo de 50 kg de N en un tratamiento determinado sería 50 x $17.4, o sea $870/ha.

Esta operación se efectúa únicamente cuando se trabaja con fertilizantes que contienen un solo nutrimento y se da por hecho que el precio de campo del nutrimento (nitrógeno, por ejemplo) contenido en cualquiera de los fertilizantes que se consiguen en el mercado es aproximadamente el mismo. Si no fuera así, los investigadores deben tomar en cuenta las diferencias al determinar el fertilizante que probarán y quizá recomienden.

Una última indicación acerca de los insumos comprados. En esta sección se ha dado por hecho que los insumos usados en los ensayos se pueden adquirir en los mercados locales o se pueden obtener de alguna forma. Si éste no fuera el caso, el análisis económico de los ensayos que incluyen estos insumos sería muy poco útil para el agricultor. No obstante, los resultados se pueden utilizar para comunicarles a los responsables de formular las políticas agrícolas los posibles beneficios de asegurar la disponibilidad de un insumo determinado.

El equipo y la maquinaria

Es posible que en algunos tratamientos experimentales se requiera el uso de equipo que no se necesita en otros tratamientos. En estos casos hay que calcular el costo de campo por hectárea del uso del equipo.

La manera más expedita de calcular el costo de campo por hectárea del uso del equipo es utilizar el promedio de los costos del alquiler en la región. Por ejemplo, si el agricultor alquila a $20 diarios una bomba con la que puede asperjar 2 ha en un día, su costo de campo es de $10/ha. Al calcular el costo de campo de los implementos de tracción mecanizada o animal, o de pequeños implementos motorizados, se puede utilizar también el promedio de los costos del alquiler en la región. Esto resulta muy conveniente, sobre todo si la mayoría de los agricultores alquilan maquinaria, pero aun en el caso de los que tienen su propio equipo, el promedio de los costos del alquiler es una buena estimación del costo de campo de oportunidad. En ciertos casos, es posible calcular un costo prorrateado por hectárea usando el precio al menudeo del equipo y su vida útil, pero este cálculo toma en cuenta factores como los costos de reparación y combustible, así como la posibilidad de que el equipo tenga otros usos en la parcela. Para calcular un costo de campo prorrateado, lo mejor es consultar con un economista agrícola que esté familiarizado con el equipo y las técnicas usadas para calcular los costos.

La mano de obra

Es indispensable tomar en cuenta todos los cambios en la mano de obra que causan los distintos tratamientos de un ensayo. Los cálculos del tiempo de mano de obra deben ser

el resultado de las conversaciones con los agricultores y, quizá, las observaciones directas en sus parcelas. Cabe señalar que los datos sobre el uso de la mano de obra recolectados en las parcelas experimentales no son muy útiles si las parcelas son pequeñas en comparación con las de los agricultores. La mejor manera de obtener estos datos es visitar a varios agricultores. Cada uno tendrá una opinión distinta sobre el tiempo requerido para realizar una actividad determinada, pero un promedio aproximado de estas opiniones será adecuado. No todos los agricultores necesitan la misma cantidad de tiempo para efectuar una tarea dada, así que los cálculos serán sólo una aproximación. En cuanto a las actividades nuevas que el agricultor desconoce, será necesario utilizar una conjetura verosímil en tanto no se disponga de bases más sólidas para realizar el cálculo.

Si el agricultor contrata mano de obra para las tareas en cuestión, el precio de campo de la misma es el salario que se les paga a los jornaleros en el dominio de recomendación, más el valor de los pagos no monetarios usuales, como comidas o bebidas; este salario puede estimarse mediante el diálogo con varios agricultores. El costo de campo de la mano de obra para un tratamiento determinado es el precio de campo de la mano de obra multiplicado por el número de días que se requieren por hectárea.

Cuando los miembros de la familia del agricultor realizan el trabajo, es necesario calcular el costo de oportunidad de la mano de obra familiar. Este es el valor que se sacrifica al efectuar el trabajo y por tanto representa un costo real. Por ejemplo, si el agricultor debe ausentarse un día de su trabajo en la ciudad para deshierbar, sacrificará el salario correspondiente a ese día; este costo de oportunidad es tan real como pagar a un jornalero para que haga el trabajo. Aun cuando el agricultor no hiciera más que sentarse bajo la sombra de un árbol, el costo de oportunidad no sería cero porque la mayoría de la gente asigna cierto valor a poder sentarse en la sombra en vez de tener que trabajar en el sol.

El mejor punto de partida para estimar el precio de campo de oportunidad de la mano de obra familiar es el salario local (más los pagos no monetarios). No es raro que el salario sea más elevado en ciertas épocas del año, hecho que debe tomarse en cuenta.

A veces es difícil estimar el costo de oportunidad de la mano de obra familiar, sobre todo si los mercados de trabajo locales no están bien desarrollados. La mano de obra disponible puede variar según la temporada o los diferentes tipos de familia. La disponibilidad y escasez de la mano de obra son dos tipos de información fundamentales para el diagnóstico, pues ayudan a seleccionar los

tratamientos apropiados para los ensayos y a definir los dominios de recomendación. Si la mano de obra escasea en cierta época, hay que proceder con extrema cautela al experimentar con alternativas que aumentarían aún más la demanda de trabajo en ese momento. En estos casos, es razonable situar el costo de oportunidad de la mano de obra por encima del salario actual. Por otra parte, si una alternativa utiliza mano de obra adicional durante una época de poca actividad, un costo de oportunidad por debajo del salario actual sería adecuado, pero en ningún caso deberá fijarse en cero.

Es preciso tener mucho cuidado al estimar los costos de la mano de obra en situaciones donde la familia proporciona la mayor parte de ésta o donde las nuevas tecnologías bajo consideración podrían cambiar el equilibrio entre los gastos en efectivo (por ejemplo, insumos) y la mano de obra. Si cierto tratamiento implica un gran cambio en la cantidad de mano de obra requerida, diferencias relativamente pequeñas en el costo de oportunidad de la misma tendrán un efecto significativo en la estimación del costo del tratamiento.

Total de los costos que varían

Una vez que se identifican los insumos que varían de un tratamiento a otro, se determinan sus precios de campo y se calculan los costos de campo, es posible estimar el total de los costos que varían para cada tratamiento. **El *total de los costos que varían* es la suma de todos los costos que varían para un determinado tratamiento.** Por

Total de los costos que varían

Cuadro 2.1. Ensayo sobre el control de maleza y la densidad de siembra (trigo).

Tratamiento	Control de maleza	Densidad de siembra
1[a/]	Sin control de maleza	120 kg/ha
2	Herbicida (2 l/ha)	120 kg/ha
3	Sin control de maleza	160 kg/ha
4	Herbicida (2 l/ha)	160 kg/ha

a/ Práctica del agricultor.

Datos

Precio de campo de la semilla	$20/kg
Precio de campo del herbicida	$350/l
Precio de campo de la mano de obra	$250/día (salario local)
Precio de campo de la bomba	$75/día (alquiler)
Mano de obra para aplicar el herbicida	2 días/ha
Mano de obra para acarrear agua	Un obrero puede acarrear 400 l/día (se requieren 200 l agua/ha para el herbicida)

Cuadro 2.2. Cálculo de los costos que varían.

Costo de la semilla	Tratamientos 1 y 2: 120 kg/ha x $20/kg = $2,400/ha
	Tratamientos 3 y 4: 160 kg/ha x $20/kg = $3,200/ha
Costo del herbicida	Tratamientos 2 y 4: 2 l/ha x $350/l = $700/ha
Costo de mano de obra para aplicarlo	Tratamientos 2 y 4: 2 días/ha x $250/día = $500/ha
Costo de mano de obra para acarrear agua	Tratamientos 2 y 4: $\frac{200 \text{ l requeridos}}{400 \text{ l/día}}$ x $250/día = $125/ha
Costo de la bomba	Tratamientos 2 y 4: 2 días/ha x $75/día = $150/ha

Cuadro 2.3. Totales de costos que varían para un ensayo sobre el control de maleza y la densidad de siembra.

	Tratamiento			
	1	**2**	**3**	**4**
Semilla ($/ha)	2,400	2,400	3,200	3,200
Herbicida ($/ha)	0	700	0	700
Mano de obra para aplicarlo ($/ha)	0	500	0	500
Mano de obra para acarrear agua ($/ha)	0	125	0	125
Bomba ($/ha)	0	150	0	150
Total de costos que varían ($/ha)	2,400	3,875	3,200	4,675

ejemplo, en el cuadro 2.1 se describe un ensayo sobre el control de malezas y la densidad de siembra; en el cuadro 2.2 se presenta el cálculo de los costos que varían, y en el 2.3 se muestra el cálculo del total de los costos que varían.

El lector perspicaz habrá notado que no todos los costos que varían se contemplan en este capítulo. Dos excepciones notables, los costos relacionados con la cosecha y los relacionados con la comercialización, se tratan en el próximo capítulo, donde se incluyen en el precio de campo del cultivo. Los costos relacionados con la obtención del capital de trabajo (por ejemplo, el interés) se examinan en el capítulo 5.

Capítulo tres
Beneficios brutos de campo, beneficios netos y el presupuesto parcial

La operación de calcular los beneficios de los tratamientos en un ensayo en fincas implica varios pasos:

Primer paso. Identificar todos los sitios que pertenecen al dominio de recomendación para el experimento en cuestión, ya que el análisis económico se efectúa con los resultados combinados de un experimento sembrado en varios sitios de un dominio de recomendación.

Segundo paso. Calcular los rendimientos medios de todos los sitios para cada tratamiento. Si los resultados de estos ensayos son coherentes y comprensibles desde un punto de vista agronómico, se realiza un análisis estadístico de los resultados combinados. Si no hay suficiente evidencia de que existan diferencias entre los rendimientos atribuibles a los tratamientos, los investigadores sólo deberán considerar las diferencias de costos entre los tratamientos. Sin embargo, si la evidencia indica que existen diferencias reales entre los rendimientos, los investigadores deberán desarrollar el presupuesto parcial completo.

Tercer paso. Si se cree que existen diferencias entre los resultados experimentales y los rendimientos que el agricultor lograría con el mismo tratamiento, el promedio de los rendimientos se debe ajustar hacia abajo.

Cuarto paso. Calcular el precio de campo del cultivo y multiplicarlo por los rendimientos ajustados para obtener los beneficios brutos de campo de cada tratamiento.

Quinto paso. Por último, restar el total de los costos que varían de los beneficios brutos de campo para obtener los beneficios netos. Con este cálculo se completa el presupuesto parcial.

Combinación de los resultados obtenidos en un mismo dominio de recomendación

La primera línea de un presupuesto parcial son los rendimientos medios de cada tratamiento, considerando todos los sitios de un dominio de recomendación. Cabe recordar que un dominio de recomendación se compone de un grupo de agricultores cuyas circunstancias son lo suficientemente semejantes como para que se pueda hacer la misma recomendación a todos. La identificación

tentativa del dominio comienza durante las etapas de diagnóstico y planificación de la investigación en fincas, y sirve para seleccionar los sitios donde se sembrarán los ensayos. Por ejemplo, el dominio para un ensayo sobre la fertilización podría definirse según los agricultores que siembran el cultivo en cuestión, cuyos campos tienen ciertos tipos de suelo y que practican una rotación de cultivos determinada. Se escogen sitios experimentales que representen las circunstancias de estos agricultores. Al analizar los resultados a veces se descubre que un factor que no fue considerado, como la pendiente de una parcela, causa resultados dispares en los sitios. En ese caso, no todos los ensayos del dominio tentativo se combinarían en el análisis económico, sino que se dividirían en dos dominios (definidos además por la pendiente del terreno, en este caso) y se harían dos análisis distintos. En el capítulo 7 se ilustra con mayor detalle cómo y cuándo hay que combinar los resultados experimentales.

Cabe señalar aquí que, aunque es correcto excluir un sitio del análisis cuando se demuestra que no corresponde en realidad al dominio de recomendación en cuestión, esto no se aplica a sitios donde los ensayos fueron gravemente dañados por la sequía, la inundación u otros factores ambientales no predecibles. Estos sitios deberán considerarse en el análisis económico porque el agricultor se ve afectado por los mismos factores. Un examen más a fondo del análisis de riesgo aparece en el capítulo 8.

Evaluación de los resultados experimentales antes del análisis económico

Antes de llevar a cabo el análisis económico de los resultados combinados de un ensayo en un determinado dominio de recomendación, los investigadores deberán evaluar los datos experimentales con el fin de asegurar que las respuestas observadas tengan sentido desde un punto de vista agronómico. De igual manera, los investigadores deberán revisar el análisis estadístico de los datos experimentales. Si los investigadores practican un análisis económico con datos experimentales que no comprenden o de los que desconfían, harán un uso inapropiado de las técnicas expuestas en este manual.

Cuando el análisis estadístico de los resultados de un ensayo indica que no hay diferencias relevantes entre dos tratamientos, hay que optar por el tratamiento de menor costo. Si los investigadores tienen evidencia suficiente de que los rendimientos obtenidos con los tratamientos son

semejantes, entonces los beneficios brutos también serán similares y, por tanto, se debe escoger el método menos costoso de lograr dichos beneficios. Por ejemplo, si se obtienen resultados parecidos con dos métodos de combatir las malezas, lo correcto es elegir el método con los costos que varían más bajos (ya sea para recomendarlo a los agricultores o para llevar a cabo ensayos adicionales) y no es necesario continuar el análisis económico.

En el capítulo 7 se expone con mayor detalle la relación entre el análisis estadístico y el económico.

Los rendimientos medios

Cuando se ha identificado el dominio de recomendación para un ensayo en particular y las evaluaciones estadística y agronómica han indicado que vale la pena proseguir con un presupuesto parcial, los rendimientos medios obtenidos con cada tratamiento se anotan en la primera línea del presupuesto parcial.

En el cuadro 3.1 aparecen los resultados de cinco sitios en un dominio de recomendación que se utilizaron en el ensayo sobre el control de malezas y la densidad de siembra ilustrado en los cuadros 2.1 a 2.3. Se efectuaron dos repeticiones en cada sitio. Nótese que los resultados del sitio 5, donde hubo sequía, se incluyen en el promedio.[3/]

Los rendimientos medios logrados con los cuatro tratamientos se registran en la primera línea del presupuesto parcial (cuadro 3.2, página 27).

Cuadro 3.1. Rendimientos (kg/ha) obtenidos en un ensayo sobre el

Sitio	Tratamiento 1 Sin control de maleza 120 kg sem/ha (Práctica del agricultor) Repetición 1	2	Prom.
1	2,180	2,220	2,200
2	2,800	2,640	2,720
3	1,720	1,880	1,800
4	2,680	2,620	2,650
5a/	530	670	600
Rendimiento medio			**1,994**

a/ Afectado por la sequía.

3/ Cabe señalar que los rendimientos de cada tratamiento se redondean a los 10 kg/ha más próximos con el fin de reflejar la confiabilidad de los datos. Hay que recordar que no es posible que los rendimientos medios y los resultados de los cálculos efectuados con ellos sean más exactos que los datos originales en los que se fundamentan. Por tanto, el último dígito de los rendimientos medios *no es significativo* y se incluye en el presupuesto parcial sólo porque resulta conveniente hacerlo así.

Rendimientos ajustados

Rendimientos ajustados

El siguiente paso es considerar si hay que ajustar los rendimientos medios. **El *rendimiento ajustado* de cada tratamiento es el rendimiento medio reducido en un cierto porcentaje con el fin de reflejar la diferencia entre el rendimiento experimental y el que el agricultor podría lograr con ese tratamiento.** Los rendimientos experimentales, incluso los obtenidos en ensayos en fincas en condiciones representativas, a menudo son mayores que los que el agricultor puede lograr con los mismos tratamientos. Existen varias razones:

1 **Manejo.** Los investigadores con frecuencia son más precisos al manejar las variables experimentales y, en ocasiones, más oportunos que el agricultor al realizar actividades tales como espaciar las plantas, aplicar el fertilizante o combatir las malezas. Por otra parte, se introduce un sesgo adicional cuando los investigadores manejan algunas de las variables no experimentales.

2 **Tamaño de la parcela.** Los rendimientos calculados con base en parcelas pequeñas a menudo sobreestiman el rendimiento de un campo entero debido a errores cometidos al medir la superficie cosechada y porque las parcelas pequeñas tienden a ser más uniformes que las grandes.

control de maleza y la densidad de siembra en un dominio de recomendación.

Tratamiento 2 Herbicida (2 l/ha) 120 kg sem/ha			Tratamiento 3 Sin control de maleza 160 kg sem/ha			Tratamiento 4 Herbicida (2 l/ha) 160 kg sem/ha		
Repetición			Repetición			Repetición		
1	2	Prom.	1	2	Prom.	1	2	Prom.
3,030	2,570	2,800	2,440	2,180	2,310	3,200	3,060	3,130
3,090	3,410	3,250	2,790	3,010	2,900	3,410	3,510	3,460
2,200	2,180	2,190	1,820	1,680	1,750	2,410	2,230	2,320
3,270	3,090	3,180	2,950	2,770	2,860	3,400	3,480	3,440
860	740	800	700	500	600	620	680	650
		2,444			2,084			2,600

3 **Fecha de la cosecha.** Los investigadores suelen cosechar el cultivo cuando éste alcanza la madurez fisiológica, en tanto que el agricultor quizá no realice la cosecha en el momento óptimo. Por consiguiente, aun cuando los rendimientos tanto de los investigadores como del agricultor son ajustados hasta presentar un contenido de humedad constante, el rendimiento de los investigadores puede ser mayor debido a pérdidas menores provocadas por insectos, pájaros, roedores, pudriciones de la mazorca o granos destrozados.

4 **Método de cosecha.** En algunos casos, los métodos de cosecha del agricultor pueden ocasionar pérdidas mayores que los de los investigadores. Esto puede suceder si, por ejemplo, el agricultor hace la cosecha mecánicamente y los investigadores realizan una cosecha manual más cuidadosa.

A menos que se haga un ajuste para compensar estos factores, los rendimientos experimentales sobreestimarán los rendimientos que el agricultor probablemente obtenga con un tratamiento dado. Una forma de estimar el ajuste requerido es comparar los rendimientos obtenidos con el tratamiento experimental representativo de la práctica del agricultor con los rendimientos de parcelas testigo cuidadosamente muestreadas en el campo del agricultor. Cuando esto no es posible, es necesario revisar cada uno de los cuatro factores anteriormente expuestos y establecer un porcentaje de ajuste. En general, se considera adecuado un ajuste total que va del 5 al 30%. Un ajuste del rendimiento mayor que el 30% indicaría que las condiciones experimentales son muy distintas a las del agricultor y que tal vez haya que hacer algunos cambios en el diseño o manejo del ensayo. Muchos de los problemas del ajuste del rendimiento se eliminan si el agricultor es el que maneja el ensayo. Las decisiones sobre el manejo del ensayo dependerán de varios factores, pero cuando sea factible, el agricultor deberá manejar las variables no experimentales. Al llegar a las etapas más avanzadas de la experimentación, el agricultor también deberá encargarse de las variables experimentales.

En el ensayo sobre el control de malezas y la densidad de siembra en el trigo, los investigadores juzgaron que sus métodos de sembrar y de aplicar herbicidas eran más precisos que los de los agricultores y, por tanto, estimaron un ajuste del rendimiento del 10% para compensar las diferencias. Además juzgaron que el tamaño de la parcela constituía también un factor importante y por consiguiente sugirieron un ajuste adicional del 5%. En vista de que las parcelas experimentales se cosecharon al mismo tiempo que las de los agricultores, no fue necesario un ajuste por

la diferencia en la fecha de la cosecha. Por otra parte, las parcelas experimentales se cosecharon con una pequeña cosechadora combinada, en tanto que los agricultores utilizaron máquinas más grandes; la diferencia en las pérdidas ocurridas durante la cosecha se estimó en un 5%. Así pues, el ajuste total del rendimiento en este ensayo fue aproximadamente del 20%. Por tanto, la segunda línea del presupuesto parcial (cuadro 3.2) presenta los rendimientos medios disminuidos en un 20%. Por ejemplo, el rendimiento medio con el tratamiento número uno es de 1,994 kg/ha y el rendimiento ajustado equivale a 80% de 1,994, o sea 1,595 kg/ha.

Es evidente que este tipo de ajuste no es exacto, ni se pretende que lo sea. Lo fundamental es que es mucho mejor estimar el efecto de un factor que hacerlo a un lado. A medida que los investigadores vayan acumulando experiencia en una región, harán estimaciones más precisas de las diferencias entre las parcelas de los agricultores y sus propios ensayos; en consecuencia, los ajustes del rendimiento serán más exactos. El ajuste del rendimiento, si bien es aproximado, no es un factor que se aplique en forma automática. Todos los años, cada tipo de ensayo deberá revisarse para determinar el ajuste apropiado. Si los investigadores efectúan esta revisión, podrán tomar decisiones respecto a las nuevas tecnologías con una apreciación realista de las condiciones de los agricultores.

Precio de campo del producto

Precio de campo (del producto)

El *precio de campo del producto* se define como el valor que tiene para el agricultor una unidad adicional de producción en el campo, antes de la cosecha. Para calcularlo se toma el precio que el agricultor recibe (o podría recibir) por el producto cuando lo vende y se le restan todos los costos relacionados con la cosecha y venta que son proporcionales al rendimiento, es decir, los costos que se pueden expresar por kilogramo del producto.

El punto de partida es el precio de venta del producto. Para estimarlo, hay que averiguar la forma en que la mayoría de los agricultores venden sus cosechas, a quién y en qué condiciones (tales como descuentos por calidad). Dado que los precios del producto varían a menudo durante el año, lo mejor es basarse en el precio de la época de cosecha. Lo que interesa es el precio que el agricultor en realidad percibe, no el precio oficial o del mercado.

El siguiente paso consiste en restar los costos de la cosecha y comercialización que son proporcionales al rendimiento (como por ejemplo, los costos de cosechar, desgranar,

trillar, aventar, embolsar y transportar el grano al lugar de venta) y que se calculan por kilogramo. En el caso de la cosecha o el desgrane, este procedimiento puede requerir datos sobre la cantidad de mano de obra que en promedio se necesita para cosechar una parcela de tamaño y rendimiento definidos, o para desgranar una cantidad determinada de grano. Aquí también, los costos pueden ser monetarios o de oportunidad.

- Si el agricultor vende maíz a los comerciantes a $6.00/kg,
- y los costos de la cosecha fueron de $0.30/kg,
- los del desgrane, $0.20/kg,
- y los del transporte, $0.20/kg,
- entonces el precio de campo de una unidad adicional de maíz es de: $6.00—($0.30 + 0.20 + 0.20) = $5.30/kg.

Es indispensable considerar estos costos porque son proporcionales al rendimiento; cuanto mayor sea el rendimiento obtenido con un tratamiento, mayor es el costo (por hectárea) de la recolección, el desgrane y el transporte; es decir que los costos de cosechar, desgranar y transportar 200 kg de grano son casi exactamente el doble de los costos en el caso de 100 kg. Como estos costos son diferentes para cada tratamiento (debido a que los rendimientos de cada tratamiento difieren entre sí), hay que incluirlos en el análisis. Además, resulta conveniente separarlos de los costos que varían (descritos en el capítulo 2) porque, aunque fluctúan según el tratamiento, ocurren en el momento de la cosecha y, por tanto, no deben considerarse en el análisis marginal de los retornos sobre los recursos invertidos. Es decir, el agricultor quizá tenga que esperar cinco meses para recuperar lo que invirtió en insumos, pero sólo unos cuantos días para recobrar los costos relacionados con la cosecha.

Cuando existen costos relacionados con la cosecha o venta que no varían con el rendimiento, éstos no deberán incluirse ni en el precio de campo ni en el presupuesto parcial. En el ejemplo del ensayo sobre el control de malezas y la densidad de siembra, el agricultor vende su trigo en el pueblo a $9/kg. Como la recolección se efectúa con una cosechadora combinada y los operadores cobran por hectárea (sin considerar el rendimiento), el costo de la cosecha no se toma en cuenta al calcular el precio de campo.

- El costo del embolsado es de $0.10/kg;

- el del transporte, $0.50/kg,
- y hay un impuesto de venta de $0.40/kg,
- por tanto, el precio de campo del trigo es de: $9—($0.10 + 0.50 + 0.40) = $8/kg.

Beneficio bruto de campo

El *beneficio bruto de campo* de cada tratamiento se calcula multiplicando el precio de campo por el rendimiento ajustado. Por consiguiente, el beneficio bruto de campo del tratamiento 1 es 1,595 kg/ha x $8/kg = $12,760/ha.

Si bien el precio de campo se basa en el precio de venta del cultivo, el concepto normalmente puede utilizarse aunque el agricultor no produzca lo suficiente para satisfacer sus propias necesidades. Una alternativa sería estimar un *precio de campo de oportunidad* para el cultivo, con base en el precio monetario que la familia del agricultor tendría que pagar por una unidad adicional del producto para su consumo, pero esto requiere suposiciones diferentes acerca de la tasa de retorno mínima (ver el pie 5 en la p. 35). En la mayoría de las condiciones, es correcto usar el precio de campo para estimar el valor que el producto tiene para el agricultor, aun cuando el producto no se venda, y éste es el método que se seguirá en este manual.

Cuadro 3.2. Presupuesto parcial de un ensayo sobre el control de maleza y la densidad de siembra.

	Tratamiento			
	1	2	3	
Rendimiento medio (kg/ha)	1,994	2,444	2,084	2,600
Rendimiento ajustado (kg/ha)	1,595	1,955	1,667	2,080
Beneficios brutos de campo ($/ha)	12,760	15,640	13,336	16,640
Costo de la semilla ($/ha)	2,400	2,400	3,200	3,200
Costo del herbicida ($/ha)	0	700	0	700
Costo de mano de obra para aplicarlo ($/ha)	0	500	0	500
Costo de mano de obra para acarrear agua ($/ha)	0	125	0	125
Costo de alquilar la bomba ($/ha)	0	150	0	150
Totales de costos que varían ($/ha)	2,400	3,875	3,200	4,675
Beneficios netos ($/ha)	10,360	11,765	0,136	11,965

Beneficios netos

Beneficios netos

En el cuadro 3.2 aparece un presupuesto parcial del ensayo sobre el control de malezas y la densidad de siembra. **La última línea del presupuesto parcial es el *beneficio neto* que se calcula restando el total de los costos que varían del beneficio bruto de campo, para cada tratamiento.**[4/]

Incluir todos los beneficios brutos en el presupuesto parcial

En los ejemplos anteriormente anotados se da por hecho que en la parcela sólo hay un producto que tiene valor para el agricultor, pero generalmente ése no es el caso. Por ejemplo, en muchas regiones los residuos de la cosecha tienen un valor considerable como forraje. El procedimiento para estimar el beneficio bruto de campo del forraje es el mismo que se usa para calcular el valor del grano. Primero se estima la producción (con cada tratamiento) y se ajustan los rendimientos medios; luego se calcula el precio de campo. (Cabe señalar que las actividades son distintas: por ejemplo, en lugar del desgrane se realiza el embalaje, etc.) Es esencial considerar todas las actividades que se llevan a cabo (por ejemplo, si se pica el rastrojo de maíz). Para calcular el beneficio bruto de campo, el precio de campo del forraje se multiplica por el rendimiento ajustado de forraje; dicho beneficio deberá agregarse al beneficio bruto de campo del grano.

El cultivo intercalado es otro ejemplo muy importante. Si la mayoría de los agricultores del dominio de recomendación realizan un cultivo intercalado, los ensayos deben reflejar esa práctica. (Los ensayos de cultivos intercalados también pueden incluir tratamientos individuales de un solo cultivo, si éstos constituyen una alternativa factible.) Puede ser que las variables experimentales sólo afecten un cultivo, pero si el agricultor intercala maíz con frijol, por ejemplo, un ensayo sobre la fertilización del maíz deberá incluir el frijol, o uno sobre el control de enfermedades del frijol deberá sembrarse con maíz. Dado que los tratamientos pueden tener un efecto directo o indirecto en el cultivo asociado, habrá que medir los rendimientos de ambos cultivos. En consecuencia, el presupuesto parcial incluirá, para cada tratamiento, dos promedios de los rendimientos, dos rendimientos ajustados y dos beneficios brutos de campo.

El total de los costos que varían se restará de la suma de los dos beneficios brutos de campo para obtener los beneficios netos, como se muestra en el cuadro 3.3.

4/ Es importante recordar que los beneficios netos no son más precisos que los datos originales sobre el rendimiento (que en este caso se redondearon a tres dígitos significativos en el cuadro 3.1). Si se usara una calculadora para efectuar operaciones subsecuentes (como calcular las tasas de retorno marginales), sería conveniente tomar las cifras en el orden en que aparecen en el presupuesto parcial; no obstante, en el informe final los investigadores quizá prefieran redondear los beneficios netos (por ejemplo, $11,800 en vez de $11,765 en el tratamiento 2).

Cuadro 3.3. Presupuesto parcial de un ensayo sobre la densidad de siembra del frijol y la aplicación de fósforo en un cultivo intercalado de maíz-frijol.

	Tratamiento			
	1	2	3	4
Densidad de siembra (plantas/ha)	40,000	60,000	80,000	80,000
Fósforo (kg P_2O_5/ha)	30	30	30	60
Rendimiento medio de frijol (kg/ha)	650	830	890	980
Rendimiento medio de maíz (kg/ha)	2,300	2,020	1,700	1,790
Rendimiento ajustado de frijol (kg/ha)	553	706	757	833
Rendimiento ajustado de maíz (kg/ha)	1,955	1,717	1,445	1,522
Beneficios brutos de campo (frijol) ($/ha)	17,143	21,886	23,467	25,823
Beneficios brutos de campo (maíz) ($/ha)	14,663	12,878	10,838	11,415
Beneficios brutos de campo totales ($/ha)	31,806	34,764	34,305	37,238
Costo de la semilla de frijol ($/ha)	900	1,350	1,800	1,800
Costo de mano de obra para sembrar el frijol ($/ha)	450	675	900	900
Costo del fertilizante ($/ha)	1,050	1,050	1,050	2,100
Total de costos que varían ($/ha	2,400	3,075	3,750	4,800
Beneficios netos ($/ha)	29,406	31,689	30,555	32,438

Capítulo cuatro
La curva de beneficios netos y la tasa de retorno marginal

En el capítulo anterior se elaboró un presupuesto parcial donde se calcularon, para cada tratamiento de un ensayo, el total de los costos que varían y los beneficios netos. En el presente capítulo se describe un método para comparar los costos que varían con los beneficios netos. Dicha comparación es importante para el agricultor puesto que le interesa saber el aumento de costos que se requiere para obtener un determinado incremento de los beneficios netos. La mejor manera de ilustrar esta comparación es hacer una gráfica donde cada tratamiento es representado por un punto de acuerdo con sus beneficios netos y el total de los costos que varían. Al unir los puntos se forma la curva (en realidad es una serie de líneas) de los beneficios netos que resulta útil para visualizar los cambios de costos y de beneficios que suceden al pasar de un tratamiento al que le sigue, en una escala de costos ascendentes. La curva de los beneficios netos también esclarece el razonamiento en que se basa el cálculo de las tasas de retorno marginales, que comparan los incrementos de costos y beneficios entre los tratamientos. Antes de continuar con la curva de beneficios netos y el cálculo de las tasas de retorno marginales, un examen inicial de los costos y beneficios de cada tratamiento, denominado análisis de dominancia, puede servir para excluir algunos de los tratamientos y, como consecuencia, simplificar el análisis.

El análisis de dominancia

En el cuadro 4.1 se enumeran el total de los costos que varían y los beneficios netos de cada uno de los tratamientos del ensayo sobre el control de malezas y la densidad de siembra expuesto en el capítulo anterior.

Nótese que los tratamientos se ordenaron en una escala ascendente de los totales de los costos que varían. Los beneficios netos también aumentan, con la excepción del tratamiento 3, cuyos beneficios netos son menores que los del tratamiento 1. Ningún agricultor preferirá el tratamiento 3 al 1 debido a que el 3 tiene costos que varían más altos y beneficios netos más bajos. Este tipo de tratamiento es un *tratamiento dominado* (se marca con una "D" en el cuadro 4.1) y puede excluirse de la consideración. **Por tanto, un *análisis de dominancia* se efectúa, primero, ordenando los tratamientos de menores a mayores totales de costos que varían. Se dice entonces que un tratamiento es dominado cuando tiene beneficios netos menores o iguales a los de un tratamiento de costos que varían más bajos.**

El análisis de dominancia

Este ejemplo ilustra que, para aumentar los ingresos del agricultor, es importante centrarse en los beneficios netos, no en los rendimientos. Nótese (en el cuadro 3.2) que los rendimientos obtenidos con el tratamiento 3 son mayores que los del tratamiento 1, pero el análisis de dominancia

muestra que el valor del aumento de rendimiento no es suficiente para compensar el incremento de costos. Es decir que si el agricultor no utiliza herbicidas, le resulta mejor una densidad de siembra más baja.

Cuadro 4.1. Análisis de dominancia de un ensayo sobre el control de maleza y la densidad de siembra.

Tratamiento	Control de maleza	Densidad de siembra (kg/ha)	Total de costos que varían ($/ha)	Beneficios netos ($/ha)
1	Ninguno	120	2,400	10,360
3	Ninguno	160	3,200	10,136 D
2	Herbicida	120	3,875	11,765
4	Herbicida	160	4,675	11,965

La curva de beneficios netos

El análisis de dominancia ha eliminado un tratamiento debido a sus bajos beneficios netos, mas no ha producido una recomendación definida. Es posible afirmar que el tratamiento 1 es superior al tratamiento 3, pero si se desea comparar los tratamientos 1, 2 y 4, será necesario efectuar un análisis adicional, para el cual resulta útil la curva de beneficios netos.

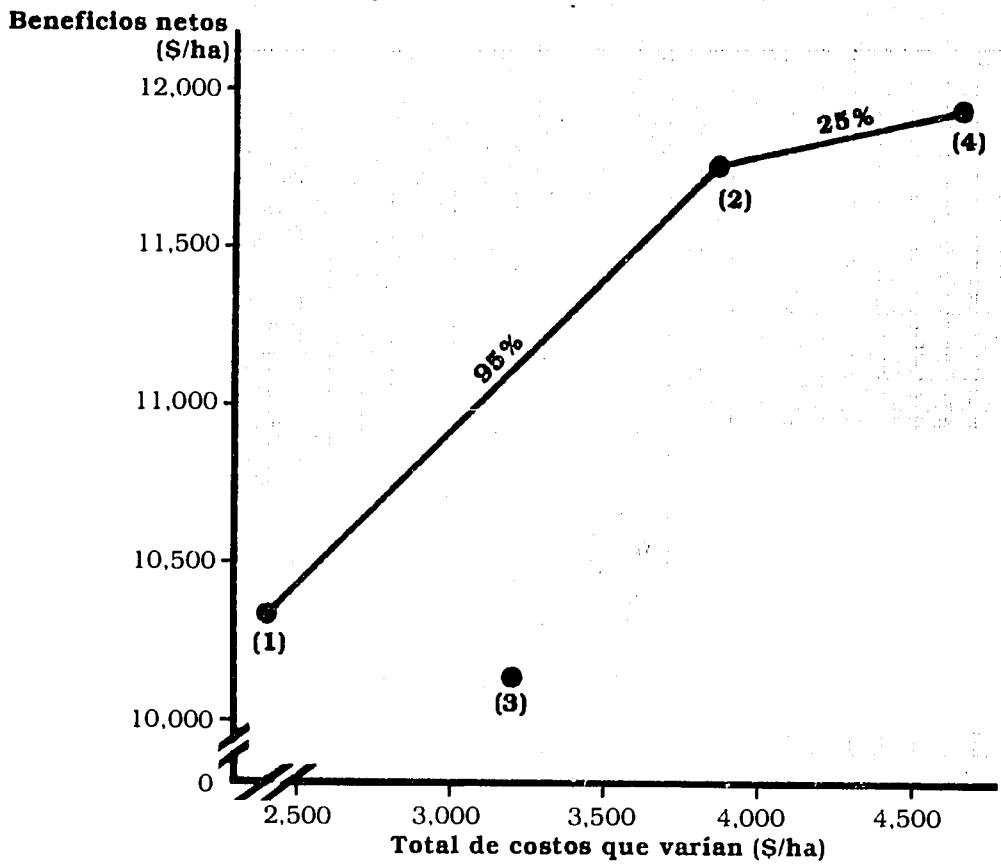
La curva de beneficios netos

En la figura 4.1 aparece la curva de beneficios netos para el ensayo sobre el control de malezas y la densidad de siembra. **En una *curva de beneficios netos*, cada tratamiento se identifica con un punto, según sus beneficios netos y el total de los costos que varían. Las alternativas que no son dominadas se unen con una línea.** La alternativa dominada (tratamiento 3) también ha sido indicada para demostrar que se sitúa por debajo de la curva de beneficios netos. Debido a que sólo los tratamientos no dominados se incluyen en la curva, su pendiente siempre será positiva.

La tasa de retorno marginal

La curva de beneficios netos en la figura 4.1 ilustra la relación entre los costos que varían y los beneficios netos de los tres tratamientos no dominados. Nótese que la pendiente de la línea que une el tratamiento 1 al 2 es más pronunciada que la de la línea que conecta el tratamiento 2 al 4.

Figura 4.1. La curva de beneficios netos, ensayo sobre el control de maleza y la densidad de siembra.



El objeto del análisis marginal es revelar exactamente cómo los beneficios netos de una inversión aumentan al incrementar la cantidad invertida. Es decir que si al pasar al tratamiento 2, el agricultor invierte $1,475 en adquirir y aplicar herbicida, recuperará los $1,475 (hay que recordar que los costos ya se restaron de los beneficios brutos de campo), más $1,405.

La tasa de retorno marginal

Un manera más sencilla de expresar esta relación es calcular la *tasa de retorno marginal*, que es el beneficio neto marginal (es decir, el aumento en beneficios netos) dividido por el costo marginal (aumento en los costos que varían), expresada en un porcentaje. En este caso, la tasa de retorno marginal de haber cambiado del tratamiento 1 al 2 es:

$$\frac{\$11,765-\$10,360}{\$\ 3,875-\$\ 2,400}=\frac{\$1,405}{\$1,475}=0.95=95\%$$

Esto significa que por cada $1 invertido en adquirir y aplicar herbicida, el agricultor puede esperar recobrar el $1 y obtener $0.95 adicionales.

El siguiente paso es calcular la tasa de retorno marginal de haber cambiado del tratamiento 2 (no el 1) al 4.

$$\frac{\$11,965 - \$11,765}{\$\ 4,675 - \$\ 3,875} = \frac{\$200}{\$800} = 0.25 = 25\%$$

Así pues, al agricultor que usa herbicida y siembra a una densidad de 120 kg de semilla/ha, la inversión en una mayor densidad de siembra le producirá una tasa de retorno marginal del 25%; es decir, por cada $1.00 invertido en la mayor densidad, recuperará su $1.00 más $0.25.

Las dos tasas de retorno marginales confirman la evidencia visual de la curva de los beneficios netos; la segunda tasa de retorno es más baja que la primera. Es posible efectuar un análisis marginal sin referirse a la curva de beneficios en sí (cuadro 4.2). Nótese que las tasas de retorno marginales aparecen *entre* los dos tratamientos. No tiene sentido hablar de la tasa de retorno marginal de un tratamiento en particular, pues ésta es más bien una característica de *cambiar de un tratamiento a otro.* Debido a que los tratamientos dominados no se incluyen en el análisis marginal, la tasa de retorno marginal siempre será positiva.

Cuadro 4.2. Análisis marginal de un ensayo sobre el control de maleza y la densidad de siembra.

Tratamiento	Costos que varían ($/ha)	Costos marginales ($/ha)	Beneficios netos ($/ha)	Beneficios netos marginales ($/ha)	Tasa de retorno marginal
1	2,400		10,360		
		1,475		1,405	95%
2	3,875		11,765		
		800		200	25%
4	4,675		11,965		

La tasa de retorno marginal indica lo que el agricultor puede esperar ganar, en promedio, con su inversión cuando decide cambiar una práctica (o conjunto de prácticas) por otra. En el presente ejemplo, la adopción de herbicidas implica una tasa de retorno del 95% y el aumento de la densidad de siembra representa un 25% adicional. Como el análisis de este ejemplo se basa en sólo cinco ensayos de un año, es probable que las conclusiones se utilicen para seleccionar los tratamientos prometedores con los que se efectuarán experimentos adicionales, y no para hacer una recomendación a los agricultores. Sin embargo, no se puede tomar una decisión respecto a los tratamientos sin saber la tasa de retorno que sería aceptable para los agricultores (determinar si es suficiente una tasa del 95%, o quizá baste el 25%). En el siguiente capítulo se explica cómo estimar una tasa de retorno mínima que sea aceptable para los agricultores del dominio de recomendación.

Capítulo cinco
La tasa de retorno mínima aceptable

El capital de trabajo

Costo del capital

Para formular recomendaciones a partir de un análisis marginal, es necesario estimar la tasa de retorno mínima aceptable para los agricultores del dominio de recomendación. Si se le pide que haga una inversión adicional en sus actividades, el agricultor considerará el costo del dinero que invertirá. Este costo no se ha considerado en los capítulos anteriores, pues debido a la crítica importancia de la disponibilidad del capital, el tema se trata por separado. **Se entiende como *capital de trabajo* el valor de los insumos y servicios (adquiridos o propios) asignados a una actividad con el fin de obtener posteriormente una ganancia. El costo del capital de trabajo (que en este manual se denominará sencillamente *costo del capital*) es la utilidad que el agricultor deja de percibir al invertir el capital de trabajo durante cierto período en la actividad.** Este costo puede ser directo, como en el caso de la persona que pide un préstamo para comprar fertilizante y tiene que pagar intereses, o puede ser un costo de oportunidad, ya que el agricultor sacrifica la utilidad al retirar el dinero o un insumo propio de un uso óptimo alternativo durante cierto tiempo.

Asimismo, es necesario estimar el nivel de retornos adicionales, además del costo del capital, que convencerá al agricultor de que vale la pena su inversión. No es lógico que el agricultor pida un préstamo con un 20% de interés para invertir en una tecnología que sólo reditúa el 20% y que, por tanto, no le produce ningún beneficio. Al estimar la tasa de retorno mínima aceptable, hay que agregar una cantidad al costo del capital para remunerar al agricultor por el tiempo y el esfuerzo que dedica a aprender una nueva tecnología.

Existen varias formas de estimar la tasa de retorno mínima aceptable (o, más sencillamente, la tasa de retorno mínima).

Primera aproximación de la tasa de retorno mínima

Tanto la experiencia como la evidencia empírica han demostrado que, en la mayoría de las situaciones, la tasa de retorno mínima aceptable para el agricultor se sitúa entre el 50 y el 100%. Si la tecnología es nueva para el agricultor (por ejemplo, el control químico de malezas en un lugar donde hasta ahora los agricultores han practicado el deshierbe manual) y además requiere que éste adquiera nuevas habilidades, una tasa de retorno mínima del 100% constituye una estimación razonable. Cuando un cambio de tecnología brinda una tasa de retorno superior al 100% (el equivalente de un retorno del "2 x 1", que los agricultores

a menudo mencionan), es sensato considerarlo apropiado en la mayoría de los casos.

Si la tecnología representa sencillamente un ajuste de la práctica actual del agricultor (por ejemplo, un nivel diferente de fertilizante para agricultores que ya utilizan este insumo), una tasa de retorno mínima hasta del 50% podría resultar aceptable. A menos que sea fácil obtener capital y los costos del manejo sean muy bajos, no es muy probable que las tasas de retorno inferiores al 50% se consideren aceptables.

Este rango del 50 a 100% no es muy preciso, pero hay que recordar que los datos agronómicos y económicos utilizados en el análisis son también aproximaciones. En la mayoría de los casos, dicho rango será de utilidad al calcular la tasa de retorno mínima aceptable para el agricultor. Es esencial notar que este rango es una estimación que servirá para cultivos con ciclos de cuatro o cinco meses. Si el ciclo se prolonga, la tasa de retorno mínima también será mayor.[5/] Asimismo, en las zonas donde la tasa de inflación es muy elevada, este rango deberá ajustarse hacia arriba de acuerdo con la tasa de inflación vigente durante el ciclo de cultivo. (Para mayores datos sobre la inflación, ver las pp. 71 y 72.)

El mercado informal de capital

Una forma alternativa de estimar la tasa de retorno mínima es estudiando el mercado informal de capital. En muchas regiones, el agricultor no tiene acceso a las instituciones de crédito y se ve obligado a usar su propio capital o aprovechar el mercado informal de capital, por ejemplo, los prestamistas locales. Los intereses que se cobran en este sector informal brindan el punto de partida para estimar una tasa de retorno mínima. Los investigadores pueden hacerse una buena idea de las tasas de intereses locales mediante charlas con agricultores del dominio de recomendación en las que les preguntan, por ejemplo, a quién acuden cuando necesitan dinero para comprar algo para la parcela y cuánto interés cobra esa persona por el dinero prestado.

Si resulta que los prestamistas locales cobran el 10% de interés al mes, entonces el costo del capital por cinco meses es del 50%. Para estimar la tasa de retorno mínima en este caso, se tiene que agregar una cantidad adicional que represente lo que el agricultor espera recibir en remuneración por su esfuerzo de aprender y usar la nueva tecnología. La cantidad adicional puede calcularse duplicando el costo del capital (a menos que la tecnología represente un ajuste muy sencillo en las prácticas). Así

5/ Cuando los beneficios brutos de campo se calculan con base en el precio de campo de oportunidad, la estimación de la tasa de retorno mínima debe fundarse en el periodo que abarca desde la siembra hasta el momento en que la familia adquiere la mayor cantidad del producto. Esto por lo general sucede mucho después de la cosecha y, por tanto, la tasa de retorno mínima en ese caso es más elevada que cuando el cálculo de los beneficios brutos de campo se efectúa con base en el precio de campo.

pues, en este ejemplo, se estima que la tasa de retorno mínima será del 100%. Una vez más, cabe subrayar que ésta es una manera sencilla de estimar el retorno que el agricultor requiere para realizar una inversión.

El mercado formal de capital

Asimismo, es posible estimar una tasa de retorno mínima con información proveniente del mercado formal de capital. Si el agricultor tiene acceso a préstamos de la banca privada o del gobierno, cooperativas u otros organismos de servicio al sector agrícola, las tasas de intereses que éstos cobran se pueden usar para estimar el costo del capital. No obstante, este procedimiento viene al caso sólo si la mayoría de los agricultores tienen acceso al crédito en estas instituciones. Si no fuera así, tendrán un costo de capital distinto del que ofrecen las instituciones de crédito y que es relativamente barato. A veces puede ser que agricultores cuyas circunstancias son semejantes en todo lo demás deban separarse en dos grupos, según el acceso que tengan a estos tipos de crédito. Estos grupos encaran diferentes tasas de retorno mínimas y quizá representen dos dominios de recomendación distintos.

Por otra parte, es posible que el agricultor tenga acceso al crédito institucional, pero sólo para ciertos cultivos o en forma de paquetes de crédito rígidamente definidos. Si no es posible obtener crédito de una institución para las recomendaciones propuestas, el costo del capital en esos programas de crédito no debe usarse para estimar de la tasa de retorno mínima. Este es un ejemplo más de cómo la investigación en fincas puede suministrar información a los responsables de establecer las políticas, en este caso, mediante la interacción con las instituciones de crédito, para asegurar que sus servicios se orienten al agricultor en una forma más eficaz.

Si el agricultor tiene efectivamente acceso al crédito institucional, el costo del capital puede estimarse utilizando la tasa de interés que se cobra a lo largo del ciclo de cultivo. Es decir, la tasa de interés deberá abarcar desde el momento en que el agricultor recibe el crédito (dinero en efectivo o insumos) hasta que vende su cosecha y paga la deuda. Además habrá que tomar en cuenta todos los cargos relacionados con el préstamo, por ejemplo, los cargos de servicio, primas de seguro e incluso el desembolso del agricultor al trasladarse al pueblo para obtener el préstamo.

Una vez que se calcula el costo del capital en el mercado formal, es posible estimar la tasa de retorno mínima duplicándola. Esto dará una idea de la tasa de retorno que el agricultor considera aceptable cuando solicita un préstamo para invertir en una nueva tecnología.

Resumen

Es necesario estimar una tasa de retorno mínima que sea aceptable para los agricultores de un dominio de recomendación. En la mayoría de los casos, no será posible dar una cifra exacta, pero la experiencia ha demostrado que muy raras veces será menor del 50%, incluso para las tecnologías que representan ajustes sencillos en las prácticas del agricultor. Dicha tasa a menudo se sitúa cerca del 100%, sobre todo cuando la práctica recomendada es nueva para los agricultores. Si el ciclo de cultivo se prolonga más de cuatro o cinco meses, las tasas mínimas serán más elevadas. Cuando el agricultor tiene acceso al crédito, ya sea en los mercados formales de capital o en los informales, es posible estimar el costo (o el costo de oportunidad) del capital que se usará para estimar la tasa de retorno mínima. Sin embargo, aun en esos casos hay que recordar que la cifra es una aproximación. En el capítulo siguiente se expone cómo se usan las estimaciones de la tasa de retorno mínima para determinar los cambios de tecnología que resultarán aceptables para el agricultor.

Capítulo seis
El análisis marginal en la formulación de recomendaciones

El análisis marginal

En el capítulo 4 se explicó la elaboración de una curva de los beneficios netos y el cálculo de la tasa de retorno marginal entre dos tratamientos adyacentes. En el capítulo 5 se examinaron los métodos de estimar la tasa de retorno mínima aceptable para el agricultor. El objeto del presente capítulo es describir el ***análisis marginal*, o sea el procedimiento por el cual se calculan las tasas de retorno marginales entre los tratamientos no dominados (comenzando con el tratamiento de menor costo y procediendo paso a paso al que le sigue en escala ascendente) y se comparan esas tasas de retorno con la tasa de retorno mínima aceptable para el agricultor.** Aquí también, cabe subrayar que este tipo de análisis es útil tanto para formular recomendaciones para el agricultor cuando existe suficiente evidencia experimental, como para seleccionar los tratamientos de ensayos posteriores. A continuación se exponen tres ejemplos de un análisis marginal.

Ensayo sobre el control de malezas y la densidad de siembra

Lo mejor será comenzar con el ejemplo del ensayo de control de malezas y densidad de siembra que se resume en la figura 4.1. Después del análisis de dominancia sólo quedaron bajo consideración tres tratamientos, para los que se calcularon las tasas de retorno marginales. El tratamiento 1 representa la práctica del agricultor, pero es necesario determinar si éste estaría dispuesto a adoptar el tratamiento 2 o el 4.

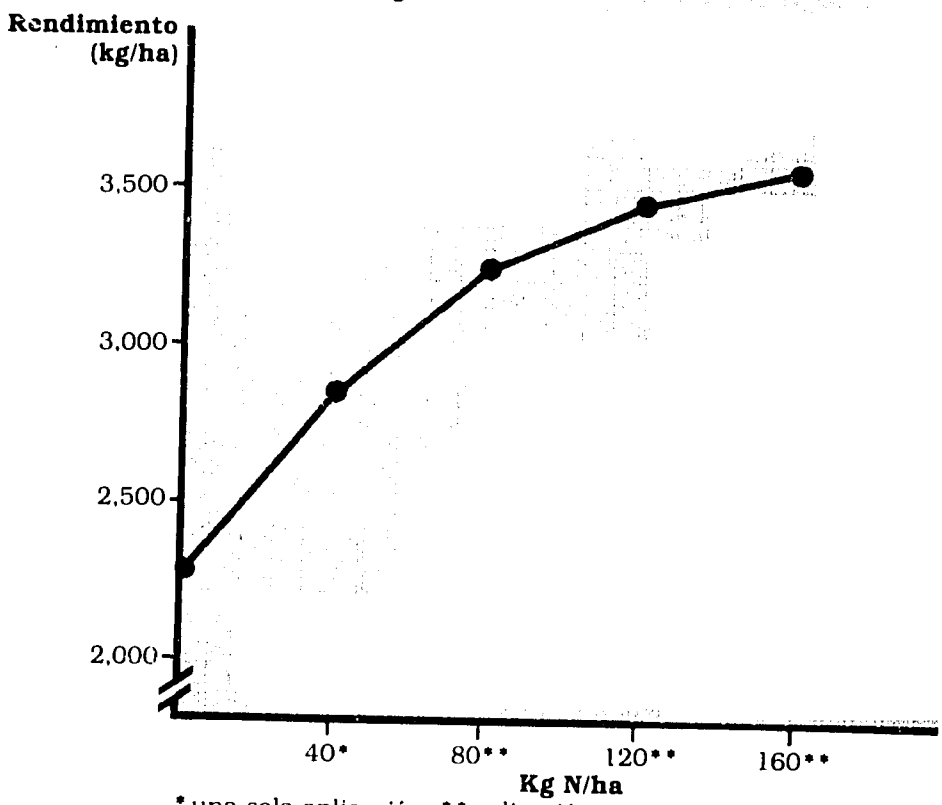
El agricultor cambiará un tratamiento por otro si la tasa de retorno marginal de dicho cambio es mayor que la tasa de retorno mínima. En ese caso, si la tasa de retorno mínima fuera del 100%, el agricultor probablemente no estaría dispuesto a cambiar su práctica de no combatir la maleza, representada por el tratamiento 1, por el uso de herbicida, representado por el tratamiento 2, dado que la tasa de retorno marginal (95%) es menor que la mínima. Si la tasa de retorno mínima fuera del 50%, entonces el agricultor optaría por cambiar al tratamiento 2. Por otra parte, el agricultor estaría dispuesto a cambiar del tratamiento 2 al 4 sólo si la tasa mínima aceptable fuera menor del 25% (lo cual es muy improbable). Siempre que la tasa de retorno marginal entre dos tratamientos exceda la tasa de retorno mínima aceptable, el cambiar uno por otro será atractivo para el agricultor. Por el contrario, si la tasa de retorno marginal se sitúa por debajo de la tasa mínima, este cambio no será aceptable.

Ensayo sobre la fertilización

Aparecen en la figura 6.1 los resultados de un ensayo sobre la fertilización nitrogenada del maíz; en el cuadro 6.1 se presentan los detalles del diseño y los costos que varían correspondientes. Los datos de rendimiento son el promedio de 20 sitios durante tres años de experimentación. El presupuesto parcial del ensayo se muestra en el cuadro 6.2, la curva de los beneficios netos en la figura 6.2, y el análisis marginal (uno de los tratamientos es dominado) en el cuadro 6.3.

Los investigadores estimaron que la tasa de retorno mínima para el ciclo de cultivo era del 100% para el dominio de recomendación donde se sembraron estos ensayos. Después de realizar 20 ensayos en tres años, pensaron que estaban preparados para hacer una recomendación respecto al uso del nitrógeno a los agricultores que actualmente no fertilizaban el maíz. ¿Cuál sería la recomendación indicada? Dicho de otra manera, cuando los agricultores consideran una inversión en un fertilizante nitrogenado, incluida la mano de obra para aplicarlo, ¿cuál es el nivel de inversión que se les debe recomendar?

Figura 6.1. Rendimientos obtenidos en el ensayo sobre la fertilización nitrogenada.



* una sola aplicación. ** aplicación en dos partes.

Cuadro 6.1. Datos del ensayo sobre el nitrógeno.

Tratamiento	Nitrógeno (kg/ha)	Aplicaciones de N (No.)	Rendimiento medio (kg/ha) en 20 sitios y 3 años
1[a/]	0	0	2,222
2	40	1	2,867
3	80	2	3,256
4	120	2	3,444
5	160	2	3,544

a/ Práctica del agricultor.

Datos

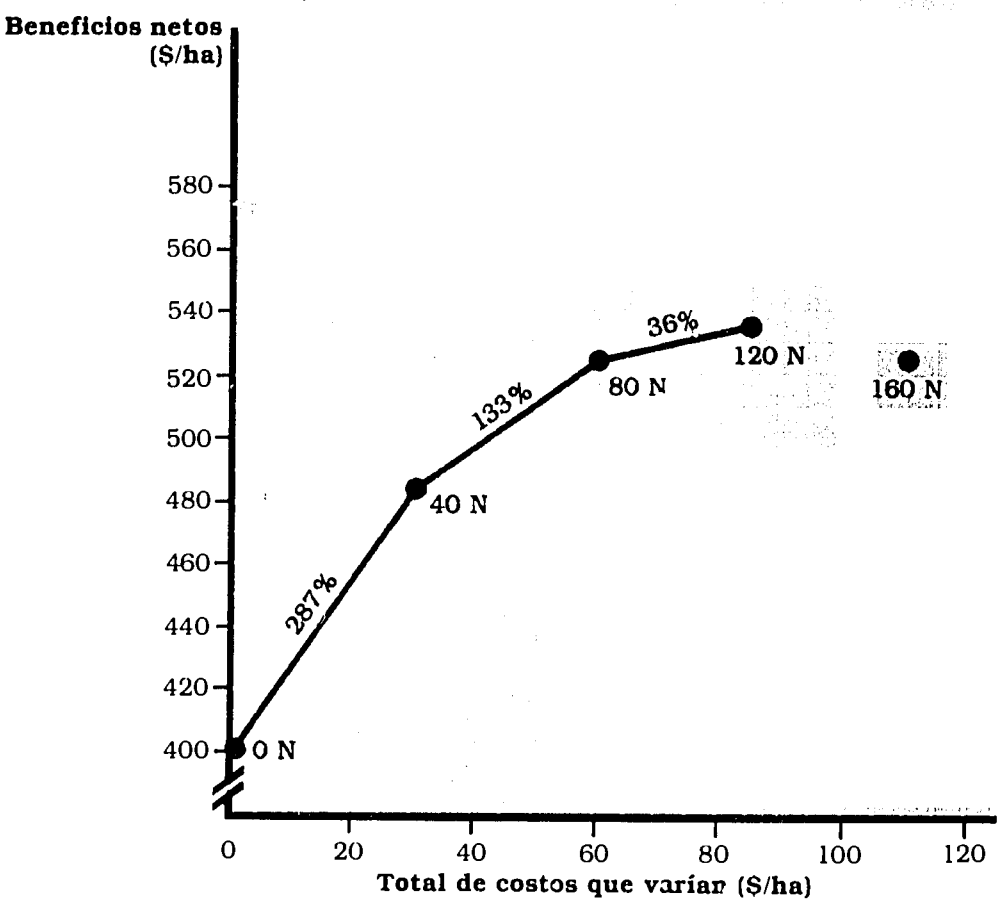
Precio de campo de N = $0.625/kg
Precio de campo de maíz = $0.20/kg
Costo de una aplicación de fertilizante = $5.00/ha
Ajuste al rendimiento = 10%
Tasa de retorno mínima = 100%

Cuadro 6.2. Presupuesto parcial del ensayo sobre el nitrógeno.

	Tratamiento				
	1 0 kg N/ha	2 40 kg N/ha	3 80 kg N/ha	4 120 kg N/ha	5 160 kg N/ha
Rendimiento medio (kg/ha)	2,222	2,867	3,256	3,444	3,544
Rendimiento ajustado (kg/ha)	2,000	2,580	2,930	3,100	3,190
Beneficios brutos de campo ($/ha)	400	516	586	620	638
Costo del nitrógeno ($/ha)	0	25	50	75	100
Costo de mano de obra ($/ha)	0	5	10	10	10
Total de costos que varían ($/ha)	0	30	60	85	110
Beneficios netos ($/ha)	400	486	526	535	528

Este análisis siempre debe hacerse paso a paso, del tratamiento de menor costo al que le sigue en una escala ascendente. Si la tasa de retorno marginal de cambiar del primer tratamiento al segundo es igual o mayor que la tasa de retorno mínima, se prosigue a la comparación entre el segundo y el tercer tratamiento (no entre el primero y el tercero). Estas comparaciones continúan (es decir, mientras la inversión aumenta) hasta que la tasa de retorno marginal se sitúa por debajo de la tasa de retorno mínima. Si la pendiente de la curva de los beneficios netos sigue decayendo a lo largo de la misma, el análisis se puede

Figura 6.2. La curva de los beneficios netos, ensayo sobre el nitrógeno.



Cuadro 6.3. Análisis marginal del ensayo sobre el nitrógeno.

	Tratamiento	Total de costo que varían ($/ha)	Beneficios netos ($/ha)	Tasa de retorno marginal
1	0 kg N/ha	0	$400	
2	40 kg N/ha	$ 30	$486	287%
2	80 kg N/ha	$ 60	$526	133%
4	120 kg N/ha	$ 85	$535	36%
5	160 kg N/ha	$110	$528 D[a/]	X

[a/] El tratamiento 5 es dominado.

suspender después del último tratamiento que, al ser comparado con el tratamiento que le precede en una escala de costos descendentes, tiene una tasa de retorno aceptable. Si, por el contrario, la curva de los beneficios

netos presenta una forma irregular, se hace necesario efectuar un análisis más a fondo. (Ver el ejemplo en la p. 43.)

En el ensayo sobre el nitrógeno, la tasa de retorno marginal de cambiar de 0 kg N/ha a 40 kg N/ha es del 287%, muy por encima del 100%, que es la mínima. La tasa de retorno marginal de cambiar de 40 a 80 kg N/ha es del 133%, también por encima de la tasa mínima estimada en 100%. Pero la tasa de retorno marginal de pasar de 80 a 120 kg N/ha es sólo del 36%; por consiguiente, de los tratamientos incluidos en el ensayo, 80 kg N/ha sería la recomendación más indicada para el agricultor.

Cabe señalar dos cosas respecto a esta conclusión. En primer lugar, la recomendación no se basa (necesariamente) en la tasa de retorno marginal más elevada. Para el agricultor que no utiliza nitrógeno, una inversión en 40 kg N/ha produce una tasa de retorno muy alta, pero si se limitara a ese nivel desaprovecharía la oportunidad de obtener mayores ganancias, a una tasa de retorno atractiva, al invertir en 40 kg adicionales de nitrógeno. El agricultor seguirá invirtiendo siempre y cuando las ganancias sobre cada unidad adicional invertida (medidas según la tasa de retorno marginal) sean mayores que el costo de la unidad adicional invertida (medido según la tasa de retorno mínima aceptable).

En segundo lugar, la recomendación no es necesariamente el tratamiento con los mayores beneficios netos (120 kg N/ha). Si en vez de un análisis marginal paso a paso se efectúa un análisis medio, al comparar 0 kg N/ha con 120 kg N/ha, la tasa de retorno parece atractiva (es decir, (535-400)/(85-0) = 159%), pero en realidad es equívoca. La tasa de retorno media del 159% oculta el hecho de que la mayoría de las ganancias ya se habían producido a menores niveles de inversión, y además junta los segmentos rentables de la curva de beneficios netos con aquellos que no lo son. El análisis marginal indica tasas de retorno aceptables de hasta 80 kg N/ha. Si el agricultor aplica 120 kg N/ha, el análisis muestra que sólo obtendría una tasa de retorno marginal del 36% sobre los últimos $25 que invirtió. Es probable que invierta en 80 kg/ha de nitrógeno, y luego se pregunte si no existe una forma alternativa de invertir los últimos $25 (un poco más de deshierbe, bardas para contener a los animales, etc.) que redituе más que el 36%.

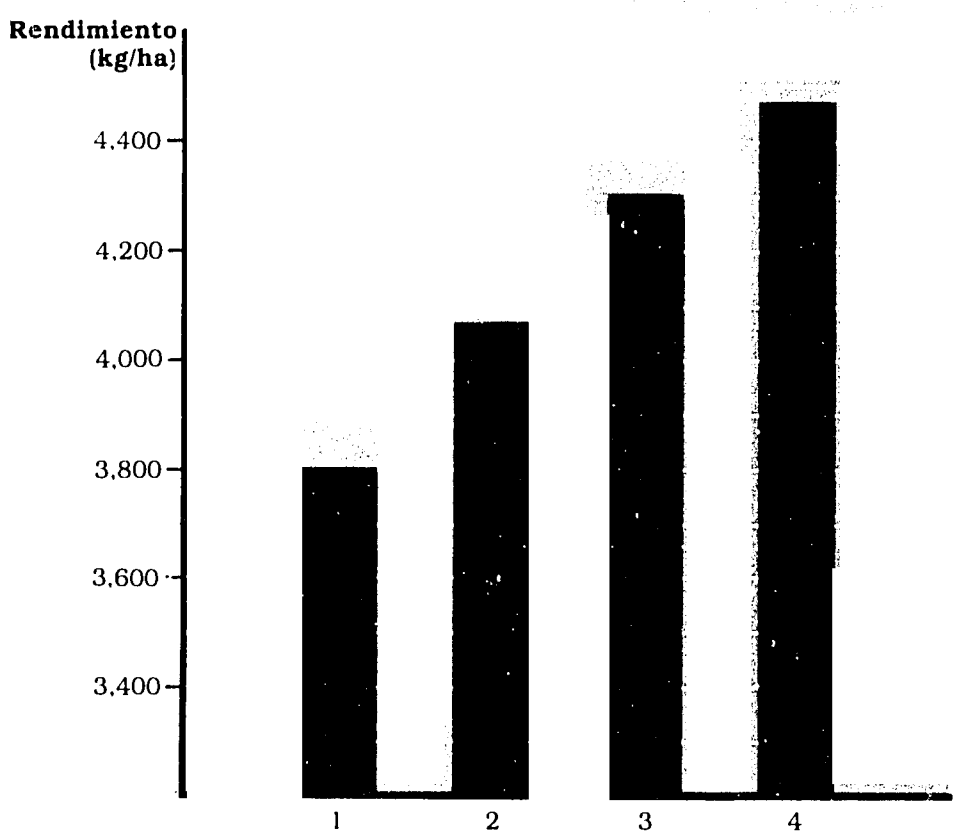
Para resumir, la recomendación no es necesariamente el tratamiento con la mayor tasa de retorno marginal, ni el tratamiento con el mayor beneficio neto, mucho menos el

tratamiento con el mayor rendimiento. Para identificar una recomendación, hay que efectuar un análisis marginal meticuloso utilizando una tasa de retorno mínima apropiada.

Ensayo sobre la labranza

Un segundo ejemplo ilustrará algunos aspectos adicionales del análisis marginal y la selección de las recomendaciones. En la figura 6.3 se presentan los datos de rendimiento de un ensayo sobre la labranza en el cultivo del trigo. En el cuadro 6.4 se detallan el diseño y los costos que varían. Los datos de rendimiento son el promedio de los resultados obtenidos en seis sitios durante un año de experimentación. El presupuesto parcial aparece en el cuadro 6.5, la curva de los beneficios netos en la figura 6.4 y el análisis marginal en el cuadro 6.6.

Figura 6.3. Rendimientos obtenidos en un ensayo sobre la labranza.



Cuadro 6.4. Datos del ensayo sobre la labranza.

Tratamiento	Tipo de arado	No. de labores	Método de siembra	Rendimiento medio (kg/ha) de 6 sitios
1[a/]	Ninguno	2	Manual	3,800
2	Ninguno	0	Sembradora de cero labranza	4,080
3	Arado de cincel	2	Manual	4,300
4	Arado de volteo	2	Manual	4,470

[a/] Práctica del agricultor.

Datos

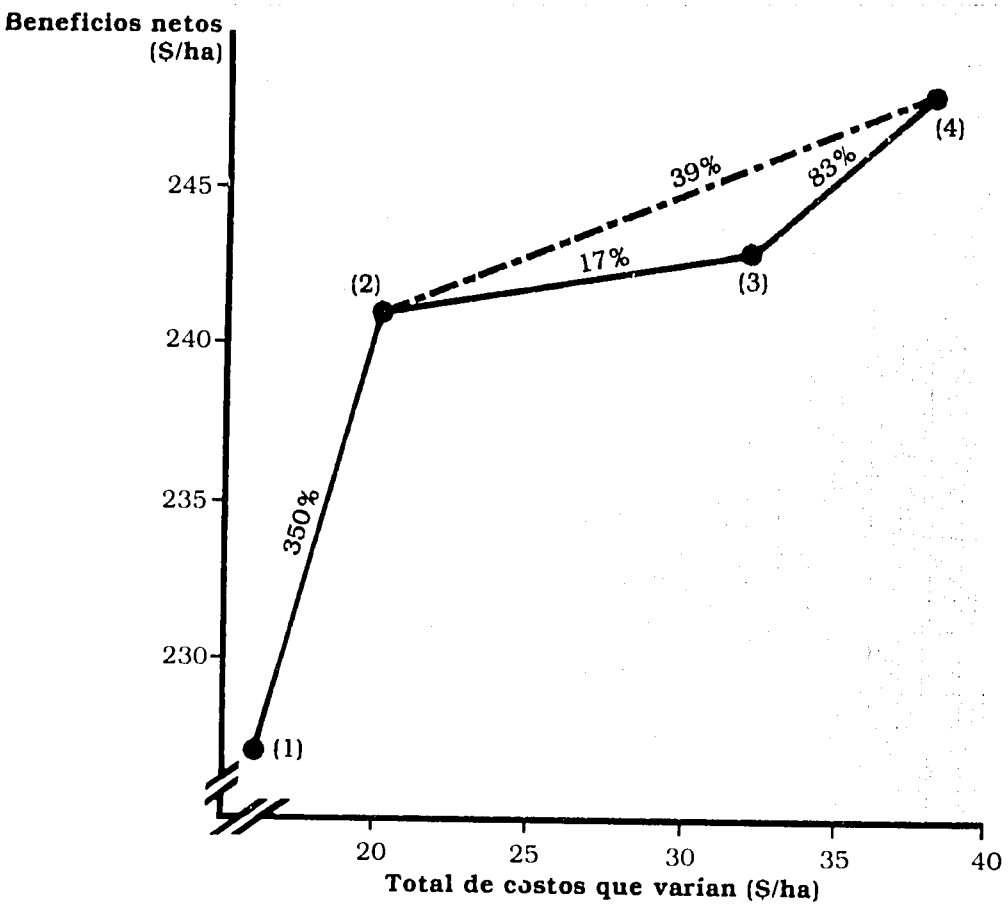
Costos de la labranza:

Cultivador	$7/ha	Costo de siembra manual	$2/ha
Arado de cincel	$16/ha	Precio de campo del trigo	$0.08/kg
Arado de volteo	$22/ha	Ajuste al rendimiento	20%
Sembradora de cero labranza	$20/ha	Tasa de retorno mínima	80%

Cuadro 6.5. Presupuesto parcial de un ensayo sobre la labranza.

	Tratamiento			
	1	2	3	4
Rendimiento medio (kg/ha)	3,800	4,080	4,300	4,470
Rendimiento ajustado (kg/ha)	3,040	3,264	3,440	3,576
Beneficios brutos de campo ($/ha)	243	261	275	286
Costo de arar ($/ha)	0	0	16	22
Costo de cultivar ($/ha)	14	0	14	14
Costo de sembrar ($/ha)	2	0	2	2
Costo de sembrar con cero labranza ($/ha)	0	20	0	0
Total de costos que varían ($/ha)	16	20	32	38
Beneficios netos ($/ha)	227	241	243	248

Figura 6.4. La curva de los beneficios netos de un ensayo sobre la labranza.



Cuadro 6.6. Análisis marginal de un ensayo sobre la labranza.

Tratamiento	Total de costos que varían ($/ha)	Beneficios netos ($/ha)	Tasa de retorno marginal
1	16	227	
2	20	241	350%
3	32	243	17%
4	38	248	83% (39%)

Primero, cabe señalar que este ensayo sobre la labranza es diferente del ensayo sobre la fertilización con nitrógeno, pues en vez de centrarse en el aumento continuo de un solo factor, pone a prueba cuatro tratamientos distintos. Si bien es imposible usar 80 kg de nitrógeno sin utilizar 40 kg, el emplear un método de labranza no presupone haber usado otro de menor costo. Existen cuatro opciones distintas, ordenadas en una escala de costos ascendentes

en la curva de los beneficios netos, y el análisis marginal es sencillamente una forma de examinar varias alternativas de labranza (en este caso). Como siempre, las comparaciones se hacen paso a paso, entre una alternativa y la que le sigue, en una escala de costos ascendentes, hasta identificar una recomendación aceptable.

Segundo, la situación es un poco distinta del ejemplo anterior ya que sólo se analizan seis sitios usados en un año. Por consiguiente, el análisis se utilizará para planificar ensayos adicionales, más que para formular recomendaciones para el agricultor.

Por último, la forma de la curva de los beneficios netos es diferente de la del ejemplo anterior. La tasa de retorno marginal de cambiar el tratamiento 1 por el 2 es del 350%, bastante mayor que la mínima. Por consiguiente, el tratamiento 2 es una alternativa que vale la pena para el agricultor. La tasa de retorno marginal de cambiar del tratamiento 2 al 3 es del 17%, más baja que la tasa mínima; por tanto, el tratamiento 3 puede eliminarse. La tasa de retorno marginal entre el tratamiento 3 y el 4 es del 83%, es decir, excede a la tasa de retorno mínima del 80%. En casos como éste, en que la tasa de retorno marginal entre dos tratamientos es menor que la mínima, pero donde la siguiente tasa de retorno marginal es mayor que la mínima, es necesario eliminar el(los) tratamiento(s) que resulten inaceptables y volver a calcular la tasa de retorno marginal. En este ejemplo es necesario calcular una tasa de retorno marginal entre el tratamiento 2 y el 4. El resultado es el 39% $\left(\frac{248-241}{38-20} = 39\%\right)$, menor que la tasa de retorno mínima. Así pues, el tratamiento 4 también se rechaza. No obstante, si la última tasa de retorno hubiera sido mayor que el 80%, el tratamiento 4 hubiera sido el mejor.

En este caso, los investigadores deben seguir experimentando con el tratamiento 2 (la sembradora de cero labranza) que al parecer es una alternativa prometedora a la práctica del agricultor de arar dos veces antes de sembrar. Los tratamientos 3 y 4 producen mayores rendimientos, pero sus elevados costos no ofrecen una tasa de retorno aceptable. Los investigadores deben decidir si existe suficiente evidencia para eliminar estos tratamientos de los ensayos futuros, o si vale la pena prolongar su inclusión en la experimentación otro año.

El análisis usando residuos

Las conclusiones de un análisis marginal se pueden verificar usando el concepto de "residuos",6/ que (según el uso que se le da al término en este documento) se calculan restando el retorno que requiere el agricultor (la tasa de retorno mínima multiplicada por el total de los costos que varían) de los beneficios netos. En el cuadro 6.7 se ilustra este método utilizando los datos del ensayo sobre la fertilización (cuadro 6.3).

Cuadro 6.7. Análisis de un ensayo sobre el nitrógeno, usando residuos.

Tratamiento	(1) Total de costos que varían ($/ha)	(2) Beneficios netos ($/ha)	(3) Retorno requerido [100% x (1)] ($/ha)	(4) Residuo [(2) - (3)] ($/ha)
1 0 kg N/ha	0	400	0	400
2 40 kg N/ha	30	486	30	456
3 80 kg N/ha	60	526	60	466a/
4 120 kg N/ha	85	535	85	450

a/ Residuo máximo.

Los tratamientos se enumeran, como siempre, según el orden de los totales de los costos que varían. En la columna 1 se muestran los totales de los costos que varían y en la 2 se presentan los beneficios netos. La columna 3 se calcula multiplicando la tasa de retorno mínima aceptable por los costos que varían y representa el costo implícito en la inversión que el agricultor requiere para cambiar su práctica. Por ejemplo, si los costos que varían correspondientes a 40 kg N/ha son de $30/ha y la tasa de retorno mínima es del 100%, esto significa que el agricultor exigirá una ganancia de por lo menos $30/ha adicionales antes de invertir en 40 kg N/ha. Finalmente, el residuo (columna 4) es la diferencia entre los beneficios netos (columna 2) y el retorno que el agricultor requiere (columna 3). Por supuesto que este residuo no constituye la utilidad y la comparación entre los residuos, más que su valor absoluto, es la que importa aquí.

Al agricultor le interesará el tratamiento con el mayor residuo que, en este caso, es 80 kg N/ha, o sea que se llegó a la misma conclusión que en el análisis anterior. El limitarse a 40 kg N/ha le niega al agricultor la oportunidad de obtener mayores ganancias por hectárea; sin embargo, el utilizar 120 kg N/ha implica una pérdida, cuando se considera el retorno que el agricultor requiere.

6/ Para los propósitos de este manual, el término "residuo" se usa de una manera especial, para indicar la diferencia que resulta de sustraer de los beneficios netos el costo de la inversión. El lector debe tener en cuenta que el término tiene otros significados, tanto en el campo de la economía como en otras disciplinas.

Los residuos se pueden usar también para verificar las conclusiones del análisis marginal del ensayo sobre la labranza (cuadro 6.6). En el cuadro 6.8 se presentan los resultados; el tratamiento 2 es el de los residuos más altos.

Cuadro 6.8. Análisis de un ensayo sobre la labranza, usando residuos.

Tratamiento	(1) Total de costos que varían ($/ha)	(2) Beneficios netos ($/ha)	(3) Retorno requerido [80% x (1)] ($/ha)	(4) Residuo [(2) - (3)] ($/ha)
1	16	227	13	214
2	20	241	16	225[a/]
3	32	243	26	217
4	38	248	30	218

a/ Residuo máximo.

Con este método de calcular y comparar los residuos siempre se llegará a la misma conclusión que con el método gráfico de realizar el análisis marginal, que se expuso anteriormente. No obstante, el método de los residuos requiere una cifra exacta para la tasa de retorno mínima, en tanto que el método gráfico permite comparar las tasas de retorno marginales con distintas estimaciones de la tasa de retorno mínima. Por consiguiente, es aconsejable emplear el método gráfico primero y luego, si fuera necesario, verificar las conclusiones respecto a una tasa de retorno mínima en particular calculando los residuos.

ALGUNAS PREGUNTAS SOBRE EL ANALISIS MARGINAL

1 ¿Es el análisis marginal la "última palabra" en la formulación de recomendaciones?

El análisis marginal es un paso importante en la evaluación de los resultados de la experimentación en fincas que se realiza antes de formular las recomendaciones. No obstante, la interpretación agronómica y el análisis estadístico, así como la evaluación del agricultor, también forman parte de la evaluación. Al llevar a cabo los ensayos en fincas, los investigadores deben solicitar constantemente las opiniones del agricultor y observar sus reacciones, pues ciertas alternativas que al parecer son prometedoras, tanto de un punto de vista agronómico como económico, pueden presentar problemas que sólo el agricultor puede identificar. Hasta donde sea posible, la selección de tratamientos compatibles con el sistema de cultivo debe efectuarse antes de sembrar los ensayos. Sin embargo, es esencial que el agricultor evalúe los resultados experimentales, ya que él tiene la última palabra.

2 ¿Cuán precisa es la tasa de retorno marginal como criterio?

Es fundamental tener presente que el cálculo de la tasa de retorno marginal se basa en las estimaciones del rendimiento derivadas de los ensayos agronómicos y de distintos costos, a menudo los costos de oportunidad. Además, cabe recordar que la tasa de retorno marginal se compara con una tasa de retorno mínima que constituye sólo una aproximación de los objetivos que el agricultor persigue al hacer una inversión. La discreción y el buen juicio siempre serán de vital importancia en la interpretación de esas tasas y en la formulación de recomendaciones. Si la tasa de retorno marginal se sitúa a un nivel razonable por encima de la tasa mínima, lo más probable es que se acepte el cambio. Si, por el contrario, se aproxima demasiado a la mínima, hay que proceder con cautela. Por ningún motivo se aplicará una regla mecánica para recomendar o rechazar un cambio que esté un poco por encima o por debajo de la mínima. La formulación de recomendaciones al agricultor requiere conocer profundamente la zona donde se realiza la investigación y los problemas que encara el agricultor, así como dedicarse a efectuar una investigación agronómica de buen nivel y ser capaz de aprender de la experiencia. El análisis marginal es un poderoso instrumento en este procedimiento, pero debe verse sólo como una parte de la estrategia de la investigación.

3 Si el cambio en los costos que varían es pequeño, ¿es posible interpretar la tasa de retorno marginal?

Ciertos ensayos, como los que incluyen distintas variedades o cambios modestos en la densidad de siembra, implican

modificaciones en los costos que pueden ser muy pequeñas. Si las diferencias de rendimiento son sustanciales, la tasa de retorno marginal que resulta puede ser muy elevada, a veces hasta de miles por ciento. En estos casos, la tasa de retorno marginal no es de mucha utilidad para comparar los tratamientos; por tanto, no vale la pena calcular las tasas de retorno marginales para los ensayos de variedades, a menos que haya diferencias significativas en el valor del mercado (debido a las preferencias del consumidor, por ejemplo) o en el costo de las variedades (por ejemplo, una variedad de maíz local comparada con un híbrido).

4 ¿Es posible formular recomendaciones mediante el análisis marginal, sin considerar todos los costos de producción?

Hay que recordar que el punto de partida de la investigación en fincas es que es preferible considerar mejoras relativamente pequeñas en las prácticas del agricultor, que proponer cambios en gran escala. Se trata de preguntar cuáles modificaciones se pueden efectuar en el sistema actual y comparar el cambio en beneficios con el cambio en costos. Debido a que lo importante son las *diferencias* entre los dos tratamientos, más que sus valores absolutos, los costos que no varían entre tratamientos no afectarán el cálculo de la tasa de retorno marginal. En el cuadro 6.9 aparecen dos casos que tienen los mismos rendimientos y costos que varían. En el presupuesto parcial, la tasa de retorno marginal se calcula de la manera usual. El presupuesto total incluye todos los costos de producción, que desde luego son constantes ($300/ha) para cada tratamiento. Cuando la tasa de retorno marginal se

Cuadro 6.9. Análisis marginal que incluye un presupuesto parcial y un presupuesto total.

Presupuesto parcial	1	2
Beneficios brutos de campo ($/ha)	500	650
Total de costos que varían ($/ha)	100	200
Beneficios netos ($/ha)	400	450

Tasa de retorno marginal $= \frac{450 - 400}{200 - 100} = 50\%$

Presupuesto total	1	2
Beneficios brutos de campo ($/ha)	500	650
Total de costos que varían ($/ha)	100	200
Total de costos que no varían ($/ha)	300	300
Costos totales ($/ha)	400	500
Beneficios netos ($/ha)	100	150

Tasa de retorno marginal $= \frac{150 - 100}{500 - 400} = 50\%$

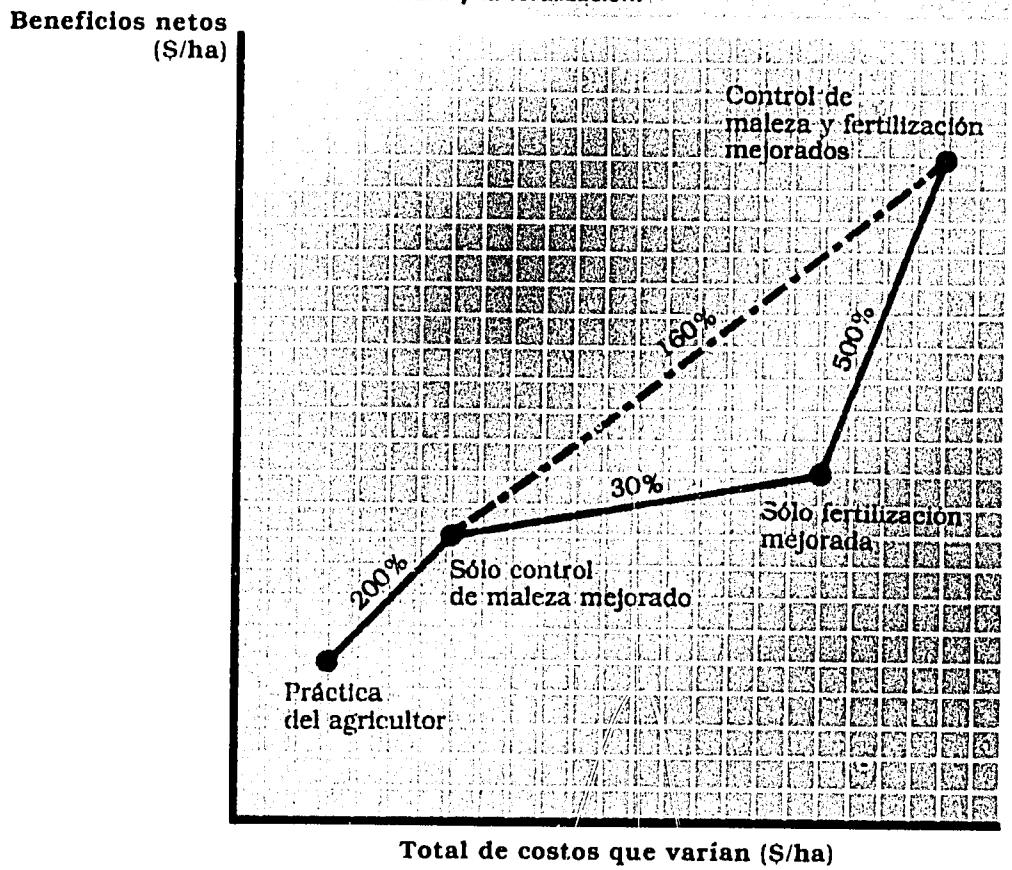
calcula con base en los beneficios y los costos totales, el resultado es el mismo.

5 ¿Es siempre correcta la estrategia de considerar cambios pequeños en las prácticas del agricultor?

La experiencia ha demostrado que es mucho más probable que el agricultor adopte las prácticas nuevas en pasos pequeños, que en paquetes completos. Pero al seguir esta estrategia hay que darse cuenta de que el agricultor puede y a veces llega a adoptar un conjunto nuevo de prácticas a lo largo de varios años de experimentación. La complejidad de los pasos individuales depende del tipo de interacciones agronómicas entre los elementos estudiados y los recursos a disposición del agricultor.

Con frecuencia es factible aprovechar esta secuencia de adopción al formular las recomendaciones. Los pasos iniciales pueden situarse entre las prácticas del agricultor y la recomendación que se seleccionaria mediante el análisis marginal. En la figura 6.5 se ilustra la curva de los beneficios netos para un ensayo sobre el control de malezas

Figura 6.5. La curva de los beneficios netos de un ensayo sobre el control de maleza y la fertilización.



y la fertilización. La curva indica que deberá recomendarse una combinación de control de malezas mejorado y fertilización.

No obstante, es posible promover en primer lugar una recomendación intermedia que aconseje sólo el control de malezas mejorado y, en una etapa posterior, agregar la fertilización. La curva de los beneficios netos permite a los investigadores identificar un conjunto de tecnologías eficaces para recomendárselas al agricultor a medida que éste aumenta el nivel de sus gastos. En ese caso, un análisis más profundo indicará que adoptar el fertilizante primero, sin el control de malezas mejorado, no sería una buena opción.

Por supuesto que también son factibles cambios más complejos como la introducción de cultivos o patrones de cultivo nuevos. Sin embargo, la planificación y el análisis de este tipo de cambio, que deben realizarse con sumo cuidado, quedan fuera del alcance de este manual.

6 ¿Cuál es la diferencia entre el análisis marginal y un análisis continuo de datos?

Si bien los agrónomos a menudo estiman las funciones de respuesta a factores tales como los nutrimentos, y los economistas emplean estas funciones continuas para seleccionar alternativas óptimas, la metodología expuesta en este manual utiliza el análisis marginal para analizar conjuntos de alternativas discretas. Existen tres razones por las cuales se hace hincapié en el segundo método. En primer lugar, el análisis marginal utilizando puntos discretos se puede emplear en cualquier tipo de ensayo, en tanto que el análisis continuo es aplicable sólo a factores que varían constantemente, como el nivel de fertilizante y la densidad de siembra. En segundo lugar, no siempre se cuenta con las instalaciones y capacidad de computación necesarias para estimar las funciones de respuesta. Por último, no se requiere que las recomendaciones al agricultor sean muy precisas (por ejemplo, los niveles de fertilización) porque el agricultor las adaptará a sus propias condiciones.

No obstante, un análisis económico continuo puede ser de gran utilidad en ciertas situaciones. Pero si se lleva a cabo, hay que tener el mismo cuidado al estimar los beneficios y costos que el agricultor encara, que al elaborar un presupuesto parcial y efectuar un análisis marginal. Los análisis complicados que a menudo se realizan con base en suposiciones poco realistas acerca de los rendimientos, precios de campos y tasa de retorno mínima no producen conclusiones válidas.

7 En el análisis marginal, ¿se supone que el capital es el único factor escaso para el agricultor?

En el análisis marginal, todos los factores se expresan en unidades monetarias. Esto no significa necesariamente que el agricultor piense en todos los costos y beneficios en términos monetarios, ni que el efectivo sea obligatoriamente el factor limitante. El análisis marginal podría usarse, por ejemplo, en un ensayo que compara tratamientos que difieren sólo en la cantidad de mano de obra familiar (no remunerada) que se emplea en un cultivo que no se vende. Para decidir si el uso de cantidades adicionales de mano de obra para producir cantidades adicionales del cultivo constituye una buena inversión, se pueden asignar costos y precios de oportunidad, y luego llevar a cabo la comparación.

Sin embargo, hay que tener cuidado al valorar la mano de obra cuando la familia es la fuente principal de la misma y los tratamientos experimentales implican cambios significativos en su uso. Si, por ejemplo, el cambiar un tratamiento por otro implica una reducción de la mano de obra familiar y un aumento del gasto de dinero en efectivo, entonces un incremento modesto del total de los costos que varían puede de hecho representar un aumento significativo del gasto de efectivo (compensado hasta cierto punto por la reducción de los "costos" de la mano de obra). En los casos donde la mano de obra familiar es un factor muy importante para el agricultor al tomar decisiones respecto a las nuevas tecnologías, es necesario realizar un análisis minucioso. La situación se complica por el hecho de que el costo de oportunidad de la mano de obra es en ocasiones difícil de estimar. Además de que la mano de obra de los distintos miembros de la familia (hombres, mujeres y niños) probablemente tenga diferentes costos de oportunidad, la época del año (temporada "floja", temporada de máxima actividad) también afectará la estimación.

Una posible solución sería un análisis de sensibilidad (capítulo 9), el cual implica realizar varios análisis marginales utilizando distintas estimaciones del costo de oportunidad de la mano de obra. Otra técnica sería estimar las utilidades de la mano de obra para los tratamientos y comparar los retornos marginales de la mano de obra entre dos tratamientos con varias estimaciones del costo de oportunidad de la mano de obra. Esto nos recuerda que existen con frecuencia técnicas analíticas alternativas que este manual no abarca, pero que pueden ser de utilidad al tomar decisiones respecto a la conveniencia de una tecnología en particular.

¿Es posible utilizar el concepto del análisis marginal en la planificación de ensayos?

Es común considerar un cambio en las prácticas del agricultor realizando un cálculo rápido del aumento de

rendimiento que sería necesario para pagar los costos adicionales de la nueva práctica. Si 100 kg adicionales de fertilizante cuestan $1,000 y el trigo se vende a $5/kg, usualmente se calcula que el agricultor necesita producir 200 kg más de grano ($1,000/$5) para pagar el fertilizante. No obstante, hay tres errores en este tipo de cálculo.

El primero es usar los precios del mercado del fertilizante y del trigo, en vez de los precios de campo. El segundo es no incluir los costos de la mano de obra o la maquinaria asociados al uso de fertilizante. El tercero es omitir la tasa de retorno mínima. La fórmula que aparece a continuación corrige esos errores y representa una manera útil de considerar las prácticas propuestas para la experimentación.

$$\Delta Y = \frac{\Delta TCV(1 + M)}{P}$$

donde
ΔY = cambio mínimo requerido de rendimiento
ΔTCV = cambio del total de los costos que varían
P = precio de campo del producto
M = tasa de retorno mínima (expresada con una fracción decimal)

En el ejemplo mencionado arriba, si el fertilizante adicional más la mano de obra para aplicarlo vale $1,200, el precio de campo del trigo es de $4/kg y la tasa de retorno mínima es del 50%, entonces:

$$\Delta Y = \frac{\$1,200\ (1\ +\ 0.5)}{\$4}$$
$$= \quad 450 \text{ kg de trigo}$$

Así pues, dados los precios actuales, el aumento mínimo de rendimiento que el agricultor requiere para agregar 100 kg de fertilizante es de 450 kg, y no los 200 kg del cálculo original. El efectuar este tipo de cálculo antes de diseñar un experimento ayuda a asegurar que los tratamientos incluyan un rango de niveles realista desde el punto de vista económico.

9 ¿Es posible utilizar el análisis marginal cuando los rendimientos varían o los precios cambian?

Los rendimientos de los ensayos agronómicos son por lo general muy variables y los precios cambian a menudo. Los métodos para incorporar esta clase de variabilidad en el análisis marginal se detallan en los capítulos 7, 8 y 9.

Capítulo siete
Preparación de los resultados experimentales para el análisis económico: Los dominios de recomendación y el análisis estadístico

El análisis marginal de un ensayo determinado debe realizarse con los resultados combinados de varios sitios durante dos años o más. La preparación de los resultados experimentales para este tipo de análisis se lleva a cabo en varios pasos. Primero, los investigadores deben verificar el objetivo del ensayo para poder decidir si los resultados del análisis se usarán para formular recomendaciones al agricultor o como guía para investigaciones posteriores. Segundo, una revisión de los resultados de los distintos sitios revelará si todos ellos pertenecen al mismo dominio de recomendación y por consiguiente pueden ser analizados en conjunto. Finalmente, el buen juicio agronómico y el análisis estadístico llevarán a una decisión respecto a las diferencias de rendimiento entre los tratamientos de un experimento. Sólo si los investigadores dudan que haya diferencias reales de rendimiento, se comparan los totales de los costos que varían de cada tratamiento; el tratamiento de menor costo es el que generalmente se prefiere. Si, por el contrario, los investigadores tienen confianza en que las diferencias observadas representan diferencias reales entre los tratamientos, deberán efectuar un análisis marginal completo.

Revisión de los objetivos del ensayo

Cada variable experimental tiene un propósito y los investigadores deberán revisar los objetivos del ensayo antes de considerar el análisis económico. Algunas variables experimentales son de tipo exploratorio; su objetivo es brindar información cualitativa acerca de la respuesta del cultivo (por ejemplo, establecer si hay respuesta al fósforo) o esclarecer ciertos limitantes de la producción que se han observado (por ejemplo, si el poco macollamiento de un cultivo de trigo se debe a una deficiencia de nutrimentos o a la variedad). Así pues, el objeto de estas variables es proporcionar información que se pueda utilizar para definir los problemas de producción e idear las soluciones. Los tratamientos de estos ensayos exploratorios se seleccionan para detectar la posibilidad de respuesta y por tanto no es necesario diseñarlos para que representen soluciones viables, desde un punto de vista económico, de un determinado problema. Los investigadores deben tener esto en cuenta al considerar el análisis económico de ensayos que incluyan este tipo de variables exploratorias. Si los resultados dan clara evidencia de que existe cierto problema de producción, el análisis económico ayuda a seleccionar las posibles soluciones que se probarán posteriormente. Si en un ensayo exploratorio un alto nivel de insecticida proporcionara evidencia de una respuesta, pero el análisis

marginal mostrara una tasa de retorno inaceptable, en ensayos subsecuentes los investigadores querrían examinar niveles de insecticida más bajos o métodos de combatir insectos menos costosos.

Otros tratamientos experimentales prueban posibles soluciones a problemas de producción bien definidos. Las soluciones se seleccionan no sólo porque prometen un retorno económicamente aceptable, sino porque son compatibles con el sistema de cultivo y no representan mayores riesgos para el agricultor. En estos casos, cuando existen diferencias de rendimiento entre los tratamientos, el análisis marginal debe ser más riguroso debido a que tal vez se haga alguna recomendación al agricultor.

El análisis marginal debe efectuarse con los resultados combinados que se obtuvieron en varios sitios, por lo general durante más de un año. No es posible dar normas estrictas aquí, pero el número de sitios deberá ser suficiente para infundir a los investigadores la confianza de que los resultados representan adecuadamente las condiciones que encaran los agricultores del dominio de recomendación. Como norma muy rudimentaria se aconseja incluir por lo menos 20 sitios experimentales (en ambientes relativamente homogéneos) durante dos años en cada dominio de recomendación. El número exacto de sitios que se requiere dependerá de la variabilidad (considerando todos los sitios y todos los años) del dominio de recomendación y de la tecnología ensayada. Por ejemplo, las recomendaciones en cuanto a la fertilización suelen requerir un número elevado de sitios para lograr una muestra adecuada del rango de respuestas según el tipo de suelo, rotación, etc. Cuando se formulan recomendaciones respecto al control de insectos, pueden ser necesarios varios años de evidencia para muestrear la variabilidad año con año de la población de insectos, sobre todo en el caso de tratamientos preventivos establecidos.

Una vez elaboradas las recomendaciones, es usual presentarlas al agricultor en demostraciones, lo cual implica disponer de una o más parcelas grandes donde se muestran las distintas alternativas junto a una parcela similar con la práctica del agricultor. Para dar seguimiento a la recomendación, los resultados de estas parcelas de demostración (incluida la del agricultor) deben someterse a un análisis económico, de preferencia como parte de la demostración.

Dominios de recomendación tentativos

Ya sea que los ensayos sean exploratorios o para probar las posibles soluciones, deberán sembrarse en sitios que representen la definición tentativa del dominio de recomendación. Cabe recordar que un dominio de recomendación es un grupo de agricultores cuyas circunstancias son lo suficientemente semejantes como para poder recibir la misma recomendación.

A continuación se presenta un ejemplo que puede ser útil. En cierta zona de investigación existe evidencia experimental de una respuesta en los rendimientos de maíz a la aplicación de nitrógeno. Los agricultores actualmente no usan fertilizante y se ha diseñado un ensayo para probar varios niveles de nitrógeno. La mayoría de los agricultores siembran el maíz en condiciones de secano, aunque algunos tienen acceso al riego. Debido a que la respuesta al nitrógeno puede variar en condiciones de secano y de riego, y dado el reducido número de agricultores que disponen de riego, se consideran sólo los agricultores en condiciones de secano. (Si hubiera un número mayor de agricultores con acceso al riego, los ensayos podrían sembrarse también en sus parcelas, pero es casi seguro que constituirían otro dominio de recomendación.) La mayor parte de los agricultores que siembran en condiciones de secano tienen tierras de suelos arenosos o limo-arenosos. Los sitios experimentales se seleccionan de manera que representen todos estos tipos de suelo y en el libro de campo se anota minuciosamente el tipo de suelo de cada sitio. La definición tentativa del dominio de recomendación incluye los distintos tipos de suelos, pero los resultados pueden indicar dominios diferentes. Las variables no experimentales como la variedad, la fecha de siembra y el control de malezas quedan en manos del agricultor. En vista de que hay cierta diversidad en las prácticas del dominio de recomendación, las que efectivamente se siguen en cada sitio se anotan en el libro de campo. Los investigadores tratan de eliminar los sitios que representen prácticas o condiciones muy poco usuales (como por ejemplo, unos cuantos agricultores que siembran una variedad especial de maíz para venderlo como maíz tierno).

Así pues, la definición tentativa del dominio de recomendación para el ensayo de fertilización es: todos los agricultores de la zona que siembran maíz en condiciones de secano en suelos arenosos o limo-arenosos. Esta definición admite cierta variabilidad en las condiciones y prácticas, por lo que al seleccionar los sitios experimentales hay que tratar de representar esta variabilidad, sin caer en extremos obvios.

Nótese que el dominio de recomendación se define específicamente para la variable experimental en cuestión. Una variable distinta (por ejemplo, una variedad resistente a las enfermedades) podría probarse en un dominio de recomendación diferente, tanto en parcelas irrigadas como de secano, siempre y cuando no se esperen diferencias en su capacidad de resistir a las enfermedades.

Revisión de los resultados experimentales

Los resultados de cada experimento en cada sitio del dominio de recomendación tentativo deben revisarse cuidadosamente. Las incongruencias en los resultados de los distintos sitios pueden deberse a una de tres causas:

1 **Redefinición del dominio de recomendación.** En el ejemplo antes mencionado, el tipo de suelo se consideró como un posible medio de subdividir el dominio de recomendación. Si las respuestas en sitios de suelos arenosos son muy distintas de las observadas en suelos limo-arenosos, es factible que se trate de dos dominios de recomendación diferentes (y dos análisis económicos diferentes). Por otro lado, quizá surja una característica inesperada que resulte ser importante. Siguiendo el ejemplo de la fertilización, supongamos que algunos agricultores siembran una rotación maíz-maíz, en tanto que otros rotan el maíz con períodos de descanso. Si las respuestas al nitrógeno son diferentes en estas dos rotaciones, el dominio original puede volver a definirse (eliminando la rotación que represente al menor número de agricultores) o dividirse (según la rotación, si ambas son importantes en la zona).

Lo importante aquí es que los investigadores establezcan una definición clara y congruente del dominio cuyos ensayos se someterán al análisis económico. Las definiciones de los dominios se revisan y ajustan durante el proceso experimental. Dado que el número de características que posiblemente definan a los dominios es mayor que el número de sitios donde se efectuará la siembra, resulta fundamental la selección cuidadosa de los sitios experimentales. La recolección habitual de información para describir cada sitio (por ejemplo, altura, tipo de suelo, antecedentes de cultivo, prácticas de manejo) es una actividad primordial, sin la cual resulta imposible efectuar una interpretación combinada de todos los sitios.

2 **Manejo incorrecto de los ensayos.** En ocasiones los resultados de un sitio pueden diferir de los otros debido a los problemas en el manejo de los ensayos. Entre éstos figuran los errores de los investigadores, como la aplicación de una dosis equivocada de un producto químico, y los factores que atañen al agricultor, como una vaca que destruye parte del ensayo o cuando el agricultor, por un mal entendido, no deshierba. En esos casos, el sitio se excluye del análisis; no obstante, los investigadores habrán adquirido un poco más de experiencia en manejar productos químicos y habrán aprendido a sembrar los ensayos donde hay poca probabilidad de que los animales los destrocen y a explicar al agricultor sus responsabilidades en el manejo del ensayo. Parte del manejo de los ensayos consiste en la selección de sitios, y el hecho de que haya que eliminar un sitio porque tiene características muy distintas de las del dominio de recomendación (como una fecha de siembra muy tardía) indica que es necesario mejorar dicho manejo.

3 **Causas de variación inexplicables o impredecibles.** Aún después de excluir del análisis los sitios que no representen el dominio de recomendación o donde el manejo del ensayo produjo resultados no representativos, es posible que haya una variación considerable en los resultados de los sitios analizados. Esto quizá se deba a factores que no se comprenden (y que pueden ser el tema de investigaciones agronómicas posteriores y/o discusiones con los agricultores) o a factores que se comprenden pero que no son predecibles (como la sequía o las heladas) y que, por tanto, no se pueden emplear para definir un dominio de recomendación. Estos sitios deben tomarse en cuenta en el análisis económico, a menos que los investigadores puedan identificar zonas donde es más probable que se dé el factor en cuestión. Es posible, por ejemplo, que la zona de investigación se pueda dividir en dominios que tengan mayor o menor tendencia a la sequía; no obstante, si la sequía (o las heladas o los insectos) no se asocia con ciertas zonas, entonces los resultados de los sitios afectados deben entrar en el análisis. Aunque en el capítulo 8 se tratarán más a fondo estos factores de riesgo, es esencial hacer hincapié en que los sitios que han sido afectados o incluso abandonados debido a ellos tienen que incluirse en el análisis.

El análisis estadístico

En el capítulo 3 se señaló que el análisis económico de un ensayo deberá efectuarse sólo después de haber realizado la evaluación agronómica y el análisis estadístico. Si al revisar este último los investigadores dudan que existan diferencias reales entre los tratamientos, habrá que volver a examinar el ensayo. Si el promedio de las diferencias entre los tratamientos es considerable en relación con los rendimientos obtenidos por los agricultores (por ejemplo, 5 a 10%, o más, del promedio de rendimiento de los agricultores), pero no hay suficiente evidencia de que estas diferencias sean reales, los investigadores quizá deseen revisar el diseño o manejo del ensayo y repetirlo en el siguiente ciclo. Si, por el contrario, las diferencias entre los tratamientos son pequeñas en comparación con los rendimientos de los agricultores, y los investigadores dudan que sean reales, entonces deberán considerar sólo las diferencias en los totales de los costos que varían de los tratamientos y escoger el de los costos más bajos.

No son necesariamente triviales los casos en los que no existen diferencias significativas de rendimiento ni se requiere un análisis marginal. Si la experimentación resulta en la recomendación de una práctica que reduce los costos de producción al mismo tiempo que mantiene los rendimientos, el aumento de la productividad de los recursos del agricultor es tan legítimo como el obtenido con un tratamiento de rendimientos (y costos) mayores. Un ejemplo usual es reemplazar la labranza mecanizada con alguna forma de labranza reducida, lo cual a menudo da por resultado un ahorro considerable en los costos sin afectar los rendimientos.

En los ensayos de diseño factorial, un examen de los análisis estadístico y agronómico ayudará a establecer el tipo más adecuado de análisis económico. Por ejemplo, en un ensayo de dos factores, uno de ellos puede causar diferencias de rendimiento aunque el otro no (y no hay interacción entre ellos). En ese caso, los rendimientos para los niveles del primer factor serán el promedio de cada nivel calculado sobre todos los niveles del segundo factor. Este puede ser el caso en un ensayo sobre fertilización con nitrógeno y labranza en el que se observa una respuesta al nitrógeno, pero no a la labranza (cuadro 7.1). El método de labranza con el cual se seguirá experimentando es el de menor costo. El presupuesto parcial para este ensayo

Cuadro 7.1. Datos del rendimiento de un ensayo sobre el nitrógeno y la labranza.

Tratamiento	Nitrógeno (kg/ha)	Método de labranza	Rendimiento medio (kg/ha)
1	50	"A"	2,560
2	50	"B"	2,300
3	100	"A"	3,120
4	100	"B"	3,200

Rendimiento medio:

50 kg N/ha	2,430 kg/ha
100 kg N/ha	3,160 kg/ha

Rendimiento medio:

Método de labranza "A"	2,840 kg/ha
Método de labranza "B"	2,750 kg/ha

constará de sólo dos columnas, correspondientes a los dos niveles de nitrógeno (50 y 100 kg/ha). Los rendimientos de los dos niveles de nitrógeno serán los promedios de los rendimientos calculados incluyendo todos los tratamientos de labranza (con el fin de aprovechar todos los datos disponibles, lo cual dará una mejor estimación de las diferencias reales de rendimiento entre los niveles de nitrógeno). Así pues, en la primera línea del presupuesto parcial ("Rendimiento medio") se presentarán 2,430 y 3,160 kg/ha. Los costos que varían incluirán los costos relacionados con el cambio del nivel de nitrógeno (fertilizante, costos de la aplicación), pero no los relacionados con la labranza. En el análisis marginal del presupuesto parcial se examinará la tasa de retorno marginal de cambiar de un nivel de nitrógeno a otro.

El análisis económico de los ensayos factoriales considera sólo los factores que tienen una respuesta o que participan en interacciones. Por lo tanto, la interpretación de experimentos que incluyen varios factores a menudo se simplifica porque algunos factores pueden excluirse del análisis. Por ejemplo, en el caso antes mencionado, la labranza no se incluyó en el análisis; sin embargo, si hubiera habido una interacción entre la labranza y el nitrógeno, el presupuesto parcial habría tenido cuatro columnas (con todas las posibles combinaciones de labranza y nitrógeno) y los costos que varían habrían reflejado ambos factores.

En las etapas iniciales de la experimentación en fincas a menudo hay ensayos con un gran número de tratamientos (12 a 15 o más) que examinan más de una variable. El análisis estadístico de estos ensayos a veces es muy complejo y su relación con el análisis económico puede no ser muy clara a primera vista. Lo que hay que recordar aquí es que el objetivo de estos ensayos es caracterizar lo más rápidamente posible las respuestas a varios factores, así como sus interacciones. Una vez realizada esta caracterización, puede probarse un reducido número de posibles soluciones. Si los resultados de un ensayo exploratorio son claros desde el punto de vista agronómico (y el análisis estadístico ayuda a tomar esta decisión), entonces los experimentos del año siguiente serán más sencillos y el análisis marginal ayudará a seleccionar una gama razonable de tratamientos para éstos. Si, por el contrario, los resultados no son claros desde el punto de vista agronómico, entonces se necesita una mayor labor exploratoria y la contribución del análisis marginal a la selección de tratamientos para ensayos futuros será menor.

Capítulo ocho
Variabilidad en los rendimientos: El análisis de los retornos mínimos

La asignación de sitios experimentales a los diferentes dominios de recomendación y la revisión del manejo de los ensayos (capítulo 7) ayudan a descubrir lo que provoca parte de la variabilidad observada en los rendimientos de los ensayos. No obstante, después de estos procedimientos aún quedará cierta variabilidad y tanto los agricultores como los investigadores la tomarán en cuenta al elegir entre las prácticas alternativas. Aunque no será posible explicar toda la variabilidad observada en el desempeño de algunos tratamientos, parte de ésta se debe a factores identificables como sequías, heladas o inundaciones. En cualquier caso, el agricultor querrá saber cómo la variabilidad afectará su bienestar y también los posibles resultados negativos de adoptar una recomendación. Un método que se emplea para analizar los datos experimentales desde este punto de vista es el análisis de los retornos mínimos.

El riesgo en la investigación en fincas

Hay que recordar que el objetivo de un programa de investigación en fincas es mejorar la productividad de los recursos del agricultor. Además de elevar la producción del cultivo o animal en cuestión, el programa puede incluir también, como objetivo, la reducción de los costos de producción o la reducción de la inestabilidad de la misma. Este último es un factor importante para muchos agricultores y las prácticas que siguen con frecuencia reflejan su deseo de disminuir los riesgos. Las fechas de siembra escalonadas para reducir el riesgo de perder un cultivo entero a causa de la sequía, o la inversión en mano de obra adicional para doblar las plantas antes de la cosecha en regiones de vientos fuertes son ejemplos comunes de estas prácticas.

El riesgo tiene tres implicaciones esenciales para un programa de investigación en fincas. En primer lugar, las nuevas tecnologías que se ensayarán deben ser compatibles con las prácticas que disminuyen el riesgo. Antes de proponer una tecnología que exige una fecha de siembra uniforme, por ejemplo, los investigadores deben considerar las razones que impulsan al agricultor a usar fechas de siembra escalonadas. Lo más probable es que no adopte las tecnologías que no tomen en cuenta las prácticas que emplea para reducir sus riesgos.

La segunda implicación es que los riesgos que el agricultor encara brindan la oportunidad de formular recomendaciones que ayuden a estabilizar la producción agrícola. Es factible disminuir los riesgos de la sequía mediante técnicas para conservar el agua y reducir las pérdidas por vientos fuertes sembrando variedades de altura más corta. Así pues, al establecer las prioridades de

un programa de experimentación, los investigadores deberán considerar la posibilidad de probar alternativas que quizá no incrementen los beneficios medios, pero que ayudan a reducir su variabilidad año con año.

La tercera implicación es que los investigadores deben proceder con cautela al evaluar las formas en que las nuevas recomendaciones modificarán los riesgos actuales de los agricultores de un dominio de recomendación. La cantidad que el agricultor está dispuesto a sacrificar (en términos de los beneficios netos medios) para reducir los efectos de un medio ambiente variable es la medida de su grado de aversión al riesgo. Este depende de varios factores, pero en general puede decirse que la mayoría de los agricultores de los países en desarrollo tienen una aversión moderada al riesgo. Aun cuando no es fácil de cuantificar, el grado de aversión es un factor que debe tomarse en cuenta al proponer nuevas recomendaciones.

El riesgo y los datos de los ensayos en fincas

A menudo resulta que la fuente de riesgo puede cuantificarse con cierto grado de precisión. Así, es posible afirmar que la probabilidad de que haya menos de 400 mm de lluvia durante el ciclo de cultivo es de 0.2 (es decir que sucede un año de cada cinco). Si los investigadores tienen información sobre la probabilidad de que ocurra cierto factor, pueden utilizar esos datos en la interpretación de los resultados de la experimentación. Por ejemplo, si saben que en promedio hay sequía una vez cada cinco años y que esto provoca cierto porcentaje de pérdidas, pueden incluir dicha información en el análisis de los resultados de los ensayos en fincas, aunque éstos no se hayan realizado en un año de sequía. Sin embargo, los investigadores no suelen contar con datos tan precisos y por lo tanto necesitan una manera más práctica de evaluar la variabilidad en sus propios datos experimentales. Aun cuando la causa de la variabilidad (por ejemplo, sequía a media temporada) esté bien establecida, es posible que los investigadores no sepan las probabilidades de que ésta ocurra. Por otra parte, a menudo la variabilidad observada en los resultados experimentales y en los campos de los agricultores tiene varias causas. Así pues, el análisis del retorno mínimo que se presenta aquí no es, estrictamente hablando, un método para analizar el riesgo, sino más bien una forma de evaluar la variabilidad debida a causas impredecibles y, a veces, inexplicables.

El punto de vista del agricultor

Antes de efectuar el análisis de los retornos mínimos para examinar la variabilidad desde el punto de vista del agricultor, es útil considerar la manera en que éste en realidad enfoca el problema.

Primero hay que recordar que el análisis marginal se basa en el *promedio* de los rendimientos en varios sitios. Si una recomendación produce un promedio de 3,000 kg/ha, es porque ha rendido una cantidad mayor en algunos sitios y menor en otros. Si con la práctica del agricultor se obtiene un promedio de 2,000 kg/ha, esto también implica que hay variación en los rendimientos. Y si el análisis marginal indica que la recomendación propuesta tiene una tasa de retorno marginal aceptable comparada con la práctica del agricultor, dicha tasa se basa en el promedio de los rendimientos. El análisis de los retornos mínimos no considera los promedios, sino más bien los resultados de los sitios por separado. Una forma de estimar los riesgos de los agricultores que recibirán la recomendación es examinar la variabilidad considerando todos los sitios y todos los años. Al realizar una definición cuidadosa de los dominios de recomendación se hace lo posible por eliminar la variabilidad a través de todos los sitios. Por otro lado, la variabilidad a través de los años se estima aquí con los resultados de sólo dos o tres años de experimentación y por consiguiente tiende a subestimar la verdadera variabilidad que el agricultor encara año tras año. Aun así, el análisis de los retornos mínimos es una manera útil de examinar la variabilidad asociada con las distintas alternativas tecnológicas.

Segundo, nótese que el agricultor se interesa más en la variabilidad de los beneficios que en la variabilidad de los rendimientos. Por ello, el análisis de los retornos mínimos considera la variabilidad de los beneficios netos.

Si los resultados de un conjunto de ensayos en fincas manifiestan que los dos tratamientos tienen el mismo promedio de beneficios netos, pero los resultados de un tratamiento son más variables que los del otro, es probable que el agricultor prefiera el tratamiento con menor variabilidad a aquel que a veces produce beneficios muy altos, pero en otras ocasiones rinde beneficios muy bajos.

Pero la variabilidad en sí no es el único factor que el agricultor considera al elegir un tratamiento. Si un tratamiento rinde siempre mayores beneficios netos que

otro, no importa que presente mayor variabilidad. Si el análisis marginal demuestra que el primer tratamiento rinde una tasa de retorno aceptable y el agricultor se siente seguro de que aun en el peor de los casos éste producirá mayores beneficios netos que el segundo, tendrá interés en adoptarlo.

Las decisiones más difíciles se toman cuando el promedio de los beneficios netos de un tratamiento es mayor que el de otro tratamiento, aunque en algunos sitios estos beneficios netos sean menores que los de la alternativa. El análisis marginal (del promedio de los resultados) indica que el tratamiento es aceptable, pero en algunos casos los beneficios son menores que los del tratamiento alternativo. En casos como éste habrá que preguntarse si los agricultores escogerían el tratamiento que en promedio es el mejor, o aquél que les ofrece un menor riesgo de producir beneficios netos bajos. Es aquí donde el análisis de los retornos mínimos resulta de mayor utilidad.

Requisitos del análisis de los retornos mínimos

El análisis de los retornos mínimos es una manera de evaluar los datos provenientes de los ensayos en fincas para dar al agricultor (y a los investigadores) información adicional sobre la variabilidad de los retornos implícita en una recomendación propuesta, si se le compara con la práctica del agricultor. **El *análisis de los retornos mínimos* compara el promedio de los beneficios netos más bajos de cada tratamiento no dominado.** Sin embargo, para que el análisis sea pertinente, primero hay que satisfacer varios requisitos:

1. Efectuar el análisis marginal tomando en cuenta todos los sitios de un ensayo determinado y todos los años. El análisis debe considerar todos los sitios que pertenecen al dominio de recomendación, incluidos los sitios con resultados deficientes o que fueron abandonados. Un análisis marginal que abarque sólo los sitios con "buenos" resultados no será muy útil para el agricultor. En ocasiones existe la tentación de excluir del análisis un sitio que es particularmente deficiente. Si se sembraron diez sitios en el dominio de recomendación y un sitio tuvo resultados inferiores debido a los daños provocados por las heladas, el análisis de los otros nueve le dará al agricultor una idea de los retornos que puede esperar *si no hay heladas*, pero esta información no será de mucha utilidad. Si hubiera habido daños por las heladas en nueve sitios, nadie propondría que se analizara únicamente el sitio que presentó buenos resultados. Así pues, el análisis de los retornos mínimos presupone que todos los sitios han sido incluidos en el análisis marginal.

2 El análisis de los retornos mínimos se realiza únicamente con los tratamientos experimentales que están bajo consideración para una recomendación. Esto puede abarcar no sólo la práctica del agricultor y el tratamiento que el análisis marginal ha indicado como aceptable en promedio, sino también otros tratamientos no dominados que pueden llegar a constituir alternativas si la recomendación tentativa resulta insatisfactoria.

3 El análisis de los retornos mínimos da por sentado que los investigadores han tratado de explicar las causas de la variabilidad observada, y no se la han atribuido simplemente a la "mala suerte". Cuanto más precisas sean las causas de la variabilidad observada, más útil será, para el agricultor, la información proveniente del análisis de los retornos mínimos.

4 El análisis de los retornos mínimos es de mayor utilidad en el momento en que se consideran las recomendaciones. Si bien no se pretende que tenga una exactitud matemática, con este análisis es posible evaluar los efectos de la variabilidad, que se estiman mejor a partir de un gran número de resultados. El análisis de los retornos mínimos resulta de mayor relevancia cuando se efectúa con los resultados de por lo menos 20 sitios durante no menos de dos años. Los resultados deben provenir de un número suficiente de sitios y años como para representar apropiadamente la variabilidad que los agricultores del dominio de recomendación pueden encarar.

El análisis de los retornos mínimos

Para simplificar la explicación, los pasos que se siguen en el análisis de los retornos mínimos se ilustrarán comparando dos tratamientos únicamente. En el cuadro 8.1 se presentan los datos de rendimiento provenientes de 20 sitios durante tres años y obtenidos con los tratamientos "0 kg de nitrógeno" (la práctica del agricultor) y "80 kg de nitrógeno" en un ensayo sobre la fertilización. Como se puede observar, el tratamiento de los 80 kg N/ha produce en promedio rendimientos mayores que el de 0 kg N/ha, aunque hay considerable variabilidad en ambos tratamientos. El análisis marginal de los datos de los rendimientos medios demostró que 80 kg N/ha produce una tasa de retorno aceptable (ver el cuadro 6.3).

Cuadro 8.1. Rendimientos por sitios obtenidos con los tratamientos 0 kg de N y 80 kg de N.

Sitio	Rendimiento (kg/ha) 0 kg N	80 kg N
1	2,450	3,970
2	2,840	3,930
3	2,130	1,870
4	2,170	3,720
•	•	•
•	•	•
•	•	•
20	2,570	1,780
Promedio de 20 sitios	2,222	3,256

El primer paso es calcular los beneficios netos obtenidos con todos los tratamientos en cada sitio. Esto no toma tanto tiempo como pareceria. En el caso del tratamiento con 80 kg, los cálculos se muestran a continuación:

Beneficios netos = (R x A x P)—TCV,

donde

R = el rendimiento de un sitio
A = 1— el ajuste al rendimiento
P = el precio de campo del cultivo
TCV = total de los costos que varían para el tratamiento.

Si A = 0.90, P = $0.20/kg y TCV = $60/ha,

entonces los beneficios netos para el tratamiento 80 kg N para cada sitio serán de

(R x 0.9 x $0.20)—($60)

ó 0.18 R—60.

Dado que el tratamiento 0 kg N no tiene costos que varían, la fórmula para calcular los beneficios netos es aún más sencilla (0.18 R). Los beneficios netos para cada sitio aparecen en el cuadro 8.2.

Para efectuar el análisis de los retornos mínimos, se selecciona (aproximadamente) el 25% de los beneficios netos más bajos de un tratamiento y se compara su

Cuadro 8.2. Beneficios netos por sitios obtenidos con los tratamientos 0 kg N y 80 kg N.

Sitio	Beneficios netos($/ha) 0 kg N	80 kg N
1	441	655
2	511	647
3	383	**277**
4	391	610
5	**250**	593
6	322	619
7	490	660
8	458	600
9	**180**	**162**
10	**250**	612
11	542	562
12	512	681
13	**265**	**291**
14	387	578
15	375	**230**
16	494	661
17	485	660
18	**295**	480
19	485	683
20	463	**260**
Promedio	400	526
Promedio de los 5 más bajos	**252**	**244**

promedio con el promedio del 25% de los beneficios netos más bajos de la alternativa. Los cinco beneficios netos más bajos que representan el 25% de los peores casos para cada tratamiento están marcados con amarillo en el cuadro 8.2.

Si el promedio de los beneficios netos más bajos para la recomendación tentativa es mayor que el promedio de los beneficios netos más bajos para la práctica del agricultor, la recomendación debe hacerse, ya que aun en el peor de los casos, la recomendación funcionará mejor que la práctica del agricultor.

Sin embargo, cuando el promedio de la recomendación tentativa es más bajo que el de la práctica del agricultor, es necesario tomar una decisión. El promedio de los cinco beneficios netos más bajos para 0 kg N es de $252, en tanto que el promedio de los cinco beneficios más bajos para 80 kg N es de $244. El valor absoluto de estos beneficios netos no es muy importante, pero la diferencia entre los dos debe examinarse. Si la diferencia es pequeña, es probable que el agricultor esté dispuesto a aceptar el riesgo, pues está consciente de que, a la larga, la recomendación resultará mejor. En este caso la diferencia es de sólo $8, pequeña en relación con el incremento medio en beneficios netos ($126). Por tanto, es probable que el agricultor esté dispuesto a aceptar el riesgo. Cuando la diferencia es considerable y representa una porción significativa de los ingresos del agricultor o una gran deuda con un banco o prestamista, será mejor volver a considerar la recomendación. Tal vez sea posible encontrar una alternativa (en este caso, valdría la pena efectuar también el análisis de los retornos mínimos con 40 kg N). Si no existe una alternativa menos riesgosa, la práctica del agricultor es preferible.

Cabe señalar que en este tipo de análisis todos los sitios son representativos de un dominio de recomendación y que ninguno tiene nada de especial. Los resultados inferiores de un tratamiento se pueden producir en el mismo sitio, u otro distinto, que los resultados inferiores de otro tratamiento. Así, la práctica del agricultor funcionó mucho mejor que la recomendación en el sitio 3, en tanto que en el sitio 5, resultó a la inversa (cuadro 8.2). Sin embargo, se

supone que ambos sitios fueron sometidos al análisis descrito en el capítulo 7. La explicación de estos resultados tan peculiares puede ser un factor específico, como la inundación, o una causa indeterminada. No obstante, ya se decidió que ambos sitios representan adecuadamente el dominio de recomendación, y los resultados deben incluirse en el análisis marginal y en el análisis de los retornos mínimos.

Finalmente, cabe señalar que el análisis de los retornos mínimos se realiza con los datos originales obtenidos en cada sitio, sin intentar ajustar una distribución de frecuencia. La norma de considerar el 25% de los casos peores para cada tratamiento constituye tan sólo una guía. Desafortunadamente, los resultados experimentales no siempre producen curvas uniformes y distribuciones normales. La clave para llevar a cabo un análisis de los retornos mínimos, como en el caso de las otras técnicas descritas en este manual, es examinar los datos juiciosamente desde el punto de vista del agricultor.

Capítulo nueve
Variabilidad en los precios: El análisis de sensibilidad

Los rendimientos experimentales no son el único elemento del presupuesto parcial que está sujeto a cierta variabilidad. Los precios de los insumos y los productos también pueden cambiar en forma impredecible. Los investigadores necesitan una manera de determinar qué precios utilizarán en un presupuesto parcial al formular recomendaciones. En ocasiones es difícil pronosticar, con uno o varios años de anticipación, cuáles serán los precios que regirán en el futuro, o estimar el costo de oportunidad de un insumo dado, como la mano de obra. En estos casos, los investigadores necesitan métodos para estimar la gama de precios a los que cierto tratamiento podría recomendarse; uno de estos métodos se denomina análisis de sensibilidad.

Los costos y precios que deberán usarse en el presupuesto parcial

En los capítulos 2 y 3 se hizo hincapié en que el presupuesto parcial deberá tomar en cuenta los costos y precios que el agricultor en realidad encara, y no los que se anuncian en el periódico o los fijados por el gobierno. Sin embargo, existen ciertas interrogantes sobre cómo seleccionar el precio adecuado que esta norma no abarca. El precio de un cultivo puede cambiar considerablemente durante el año, o de un año a otro; además, tanto el precio del cultivo como los de los insumos pueden ser afectados por la inflación y las políticas gubernamentales. En estos casos, habrá que decidir cuáles precios se utilizarán en el presupuesto parcial.

Es común que los precios de los cultivos varíen en un año, puesto que suelen subir justo antes de la cosecha y disminuir después de ésta. Incluso cuando todos los agricultores de un dominio de recomendación almacenan sus cosechas después de la recolección con el fin de venderlas posteriormente, en general resulta más conveniente basar el precio de campo del cultivo en el precio del mercado inmediatamente después de la cosecha.

Si los precios de los cultivos (o insumos) varían año con año, es posible utilizar el promedio de los precios de los últimos tres a cinco años como base para calcular los precios de campo. Si los investigadores tienen acceso a los datos sobre los precios de los últimos 10 años o más, pueden estimar un precio a largo plazo basado en la tendencia. No obstante, con frecuencia estas "tendencias" son el resultado de la inflación. Aunque la inflación es un problema grave en cualquier país, no impide necesariamente que se realice un análisis marginal. Si los cálculos de los costos que varían se basan en los precios de los insumos que el agricultor enfrentará al *comienzo* del ciclo, y el precio de campo del cultivo que se usa para calcular los beneficios brutos de campo se basa en el precio

del cultivo que el agricultor recibirá al *final* del ciclo; si además la tasa de retorno mínima incluye la tasa de inflación (la incluye si se basa en la tasa de interés en el mercado informal de capital o en el mercado formal de capital no subsidiado), entonces es válida la comparación de la tasa de retorno marginal y la tasa de retorno mínima. Por otro lado, si se toman los precios de los insumos y de los productos de un momento determinado del ciclo, no es necesario incluir la tasa de inflación en la tasa de retorno mínima.

En algunos casos, el gobierno controla los precios, ya sea en forma directa o mediante políticas que afectan el funcionamiento de las fuerzas del mercado. Si los precios de los insumos se mantienen a niveles bajos como resultado de un subsidio (o si los precios de los cultivos se mantienen a niveles altos), hay que tener cuidado al usar estos precios en el análisis económico de los resultados experimentales. Cuando el análisis va a utilizarse para hacer recomendaciones a los agricultores en años futuros, es necesario estimar si el gobierno mantendrá o no los subsidios. Si esto no parece probable, será mejor usar precios más realistas al hacer los cálculos.

Por otro lado, si las políticas gubernamentales afectan a los agricultores en forma adversa, si los precios de los cultivos son controlados (y el agricultor no tiene acceso a otros mercados), o los insumos se venden a un precio mayor que los del mercado mundial, existen dos alternativas. Primero, a corto plazo las recomendaciones tendrán que basarse en los precios que el agricultor encara en esas circunstancias. Segundo, cuando existe la opinión de que resultaría positivo suministrar a los responsables de elaborar las políticas información sobre las consecuencias de sus políticas actuales y las posibles ventajas de un cambio, es posible efectuar el mismo análisis con base en cálculos de los precios no distorsionados y presentarlo a los responsables de las políticas. Por consiguiente, el mismo conjunto de experimentos puede analizarse de dos maneras distintas, para dos públicos diferentes: con los precios actuales si se trata de formular recomendaciones a corto plazo para los agricultores o con precios alternativos si se busca contribuir a la consideración de políticas alternativas.

El análisis de sensibilidad

A menudo los mercados, la inflación y las políticas resultan tan impredecibles que, a menos que tengan una bola de cristal, no es factible que los investigadores pronostiquen con exactitud cuáles serán los precios que regirán en unos cuantos años. Dado que las recomendaciones con frecuencia implican una inversión del tiempo del personal de extensión, días de estudio en el campo, folletos o

programas de la radio, los investigadores querrán asegurar, hasta donde sea posible, que una recomendación seguirá vigente durante algunos años, a pesar de los cambios probables de los precios de los insumos y/o cultivos.

El análisis de sensibilidad

La mejor forma de determinar si una recomendación soportará los cambios de precios es mediante el análisis de sensibilidad. **El *análisis de sensibilidad* significa simplemente volver a efectuar el análisis marginal con precios alternativos.** Por ejemplo, si una recomendación respecto a los fertilizantes se hace con base en los precios actuales de éstos, pero hay indicaciones de que pueden incrementar, entonces es factible usar una estimación razonable de los nuevos precios en el análisis. En el cuadro 9.1 se ilustra un caso semejante. En el análisis original (caso A), se utilizó un precio de campo del nitrógeno de $0.625/kg. Se recomendó 80 kg N, dando por hecho una tasa de retorno mínima del 100%. Si el precio del nitrógeno subiera a $0.75/kg, ¿seguiría siendo válida la recomendación? El volver a efectuar el presupuesto parcial (caso B) con el mayor precio del nitrógeno pone de manifiesto que ahora la recomendación de 80 kg N resulta inconveniente porque la tasa de retorno marginal de cambiar de 40 kg N a 80 kg N equivale justamente a la tasa de retorno mínima. Un precio más elevado del nitrógeno haría necesaria la disminución de los niveles de fertilizante recomendados.

Cuadro 9.1. Análisis de sensibilidad de un ensayo sobre el nitrógeno.

	Caso A (Precio de campo actual de N = $0.625/kg)			**Caso B (Precio de campo futuro de N = $0.75/kg)**		
	0 kg N	**40 kg N**	**80 kg N**	**0 kg N**	**40 kg N**	**80 kg N**
Rendimiento ajustado (kg/ha)	2,000	2,580	2,930	2,000	2,580	2,930
Beneficios brutos de campo ($/ha)	400	516	586	400	516	586
Costo del fertilizante ($/ha)	**0**	**25**	**50**	**0**	**30**	**60**
Costo de mano de obra ($/ha)	0	5	10	0	5	10
Total de costos que varían ($/ha)	0	30	60	0	35	70
Beneficios netos ($/ha)	400	486	526	400	481	516
Tasas de retorno marginales						
	0 kg N a 40 kg N = 287%			**0 kg N a 40 kg N = 231%**		
	40 kg N a 80 kg N = 133%			**40 kg N a 80 kg N = 100%**		

Si no varía la tasa de retorno mínima y tanto el precio de la mano de obra como el precio de campo del maíz son constantes, ¿cuánto debe subir el precio de campo del nitrógeno antes de que un nivel tan bajo como 40 kg N deje de ser una recomendación viable? Es posible responder a

este tipo de interrogantes con la fórmula que aparece en el cuadro 9.2 (la misma que se usa en el capítulo 6, p. 54, con el fin de seleccionar tratamientos viables, desde un punto de vista económico, para la experimentación). El cambio del total de los costos que varian dependerá del precio de campo del nitrógeno (n) y los costos de la mano de obra necesaria para aplicar 40 kg N/ha ($5). Según este cálculo, si el precio de campo del nitrógeno sube a más de $1.33/kg, 40 kg N deja de ser redituable para el agricultor.

El análisis de sensibilidad también sirve para examinar las suposiciones respecto a los costos de oportunidad, sobre todo los de la mano de obra. Al desarrollar un presupuesto parcial se utiliza en ocasiones una estimación muy rudimentaria del costo de oportunidad de la mano de obra. Si los tratamientos provocan cambios significativos de la mano de obra, una estimación incorrecta del costo de oportunidad de ésta puede llevar a conclusiones erróneas. Es posible usar otros costos de oportunidad en el presupuesto parcial para dar una idea del rango al cual la recomendación sería aceptable para el agricultor.

Cuadro 9.2. Cálculo del precio de campo máximo aceptable del nitrógeno.

ΔY = cambio en el rendimiento ajustado
ΔTCV = cambio en el total de costos que varian
M = tasa de retorno mínima (expresada con una fracción decimal)
P = precio de campo del producto

$$\Delta Y = \frac{\Delta TCV\,(1+M)}{P}$$

o

$$\Delta TCV = \frac{P \times \Delta Y}{1 + M}$$

Ejemplo:

Aumento en el rendimiento ajustado entre 0 kg N y 40 kg N = 580 kg/ha
Costo de mano de obra para aplicar fertilizante = $5/ha
Tasa de retorno mínima = 100%
Precio de campo del maíz = $0.20/kg

Para calcular el precio de campo máximo aceptable del nitrógeno (n) para que la aplicación de 40 kg de nitrógeno sea económica:

$$40\,n + 5 = \frac{0.2 \times 580}{2}$$

$$n = \$1.33/kg$$

Supongamos que la evidencia experimental demuestra que con cierto herbicida se produce el mismo rendimiento medio que con el deshierbe manual que el agricultor realiza. En este caso, la comparación de los costos que varían es el único análisis económico indispensable para elaborar la recomendación. Los cálculos se muestran en el cuadro 9.3; en el caso A, los investigadores han tomado $1/día como el costo de oportunidad de la mano de obra. Dado que el total de los costos que varían del uso de herbicida es más bajo que el del deshierbe manual, conviene recomendar el herbicida. No obstante, si el costo de oportunidad de la mano de obra fuera tan sólo $0.50/día, el deshierbe manual sería preferible. (Los cálculos demuestran que siempre que el costo de oportunidad de la mano de obra sea superior a $0.56/día, hay que recomendar el herbicida.) Esto ilustra la necesidad de estudiar con detenimiento la disponibilidad y utilización de la mano de obra antes de elaborar las recomendaciones respecto a prácticas como el control de malezas.

Esta discusión del análisis de sensibilidad sirve para recordar que las recomendaciones al agricultor pueden variar de acuerdo con los cambios de los precios. Los datos agronómicos sobre las respuestas a cierto factor son válidos mientras no se alteren el ambiente biológico y las prácticas de los agricultores. La interpretación económica de dichos datos dependerá de los cambios de precios y, por tanto, es necesario hacer una revisión continua de las recomendaciones al agricultor, con base en experimentos agronómicos pasados y a la luz de las circunstancias económicas actuales y futuras.

Cuadro 9.3. Análisis de sensibilidad de un ensayo sobre el control de maleza.

	Caso A (Costo de oportunidad de mano de obra = $1.00/día)		**Caso B (Costo de oportunidad de mano de obra = $0.50/día)**	
Costos que varían	**Deshierbe manual**	**Herbicida**	**Deshierbe manual**	**Herbicida**
Herbicida ($/ha)	0	8	0	8
Bomba ($/ha)	0	1	0	1
Costo mano de obra ($/ha)	20	4	10	2
Total de costos que varían ($/ha)	20	13	10	11

Capítulo diez
Informe de los resultados del análisis económico

En este manual se ha presentado una serie de procedimientos para efectuar el análisis económico de los ensayos agrónomicos en fincas. Si se usan con cuidado, estos precedimientos serán de gran ayuda en la selección de los tratamientos que se probarán más a fondo y en la elaboración de las recomendaciones al agricultor. Cuando hacen su informe de los resultados de los ensayos en fincas, los investigadores deben incluir el resumen del análisis económico. Los siguientes puntos sirven para organizar el informe del análisis económico.

1 Revisión de los objetivos del ensayo

Antes de comenzar un análisis, hay que revisar los objetivos del ensayo, examinar la evidencia experimental y de diagnóstico con la cual se planificó el experimento y estudiar la definición tentativa del dominio de recomendación. Asimismo, la finalidad de cada variable experimental deberá revisarse para determinar si representa una alternativa factible a la práctica del agricultor o si proporcionará evidencia inicial sobre la importancia, interacción o causalidad de ciertas limitantes de la producción. En otras palabras, ¿constituyen los tratamientos recomendaciones posibles o se utilizarán para diseñar experimentos posteriores que resultarán en recomendaciones?

2 Revisión del diseño y manejo de los ensayos

El análisis marginal que se presenta en este manual es útil sólo cuando se aplica a ensayos en fincas con ciertas caracteristicas. Las variables no experimentales deben mantenerse a niveles que representen las prácticas de los agricultores del dominio de recomendación y uno de los tratamientos deberá representar la práctica del agricultor respecto a la(s) variable(s) experimental(es).

3 Estimación del total de los costos que varían

Identificar los insumos que varían con cada tratamiento del ensayo. Asegurar que se han tomado en cuenta todos los insumos que varían en todos los tratamientos, con particular atención a los cambios de la mano de obra. Para cada tratamiento, calcular los costos que varían por hectárea. En cuanto a los insumos comprados, basar los costos en los precios de campo reales que los agricultores del dominio de recomendación encaran. Deberán desarrollarse costos de oportunidad realistas de los insumos no comprados. Sumar los totales de los costos que varían de cada tratamiento. (Hay que realizar un cálculo preliminar de estos costos al planificar el experimento.)

4 Estimación de los rendimientos medios

Examinar los resultados del ensayo en cada sitio; éstos pueden ser de un solo año o de varios años. Determinar si todos los sitios representan un solo dominio de recomendación o si alguno debe excluirse debido a errores en el manejo del experimento. Dar las razones en que se fundamentan estas decisiones y utilizar el análisis estadístico para decidir si existen diferencias en las respuestas a los tratamientos. Deben considerarse en el análisis los sitios cuyos resultados fueron afectados por factores inexplicables o impredecibles.

5 La opción del presupuesto parcial

a) Si no existen diferencias de rendimiento entre los tratamientos, deberá escogerse el tratamiento con el total de los costos que varían más bajo para probarlo más a fondo en ensayos posteriores o, si se cuenta con suficiente evidencia, para recomendarlo a los agricultores.

b) Si efectivamente existen diferencias de rendimiento entre los tratamientos, habrá que elaborar un presupuesto parcial.

6 Estimación del rendimiento ajustado

En la primera línea del presupuesto parcial se presentan los rendimientos medios obtenidos con cada tratamiento en todos los sitios del dominio de recomendación. En la segunda línea aparece el rendimiento ajustado según las diferencias en el manejo del ensayo, el tamaño de las parcelas y el momento o el método de cosecha, que se observaron en los ensayos y en los campos de los agricultores.

7 Estimación de los beneficios brutos de campo

Estimar el precio de campo del cultivo, recordando que el ensayo puede incluir más de un cultivo y/o derivados del cultivo, como el forraje, que son importantes para el agricultor. El precio de campo del cultivo es el precio que recibe el agricultor, menos todos los costos de la cosecha y comercialización que sean proporcionales al rendimiento. Los beneficios brutos de campo de cada tratamiento son los rendimientos ajustados multiplicados por el precio de campo.

8 Estimación de los beneficios netos

Enumerar los costos que varían y calcular un total para cada tratamiento. Calcular los beneficios netos de cada tratamiento. El presupuesto parcial debe incluir únicamente las cifras correspondientes al rendimiento, los costos y los beneficios. Los supuestos respecto a los precios de campo, ajustes del rendimiento, etc., deberán

presentarse al pie del presupuesto parcial. Por otra parte, los detalles de los tratamientos experimentales deben explicarse claramente en la discusión del ensayo.

9 **El análisis de dominancia**

Los tratamientos se ordenan en una escala ascendente de los totales de los costos que varian, con los beneficios netos correspondientes. Se eliminan los tratamientos dominados.

10 **Estimación de la tasa de retorno mínima aceptable**

Estimar la tasa de retorno mínima para el ciclo de cultivo. En la mayoría de los casos se situará entre el 50% y 100%.

11 **El análisis marginal**

En el análisis marginal, los tratamientos no dominados se presentan en una curva de beneficios netos y se estiman las tasas de retorno marginales entre los tratamientos adyacentes. Estas tasas se comparan con la tasa de retorno mínima a fin de escoger los tratamientos aceptables. Los resultados del análisis marginal se presentan en el informe.

12 **Conclusiones a partir del análisis marginal**

a) Si los resultados del ensayo se utilizarán para planificar ensayos posteriores, en el informe deben examinarse los resultados del análisis económico con el propósito de escoger los tratamientos que se usarán en los experimentos del próximo ciclo.

b) Si el análisis económico se efectúa con el objeto de formular una recomendación, el informe deberá incluir una discusión de la evidencia utilizada para este propósito.

13 **Antes de formular una recomendación, efectuar un análisis de los retornos mínimos**

Cuando se cuenta con los datos de suficientes sitios y años, se efectúa un análisis de los retornos mínimos de todos los resultados experimentales para examinar lo que la variabilidad de los resultados implica para el bienestar del agricultor.

14 **Antes de formular una recomendación, efectuar un análisis de sensibilidad**

Si se espera que los precios y/o costos varíen, se practica el análisis de sensibilidad y los resultados se incluyen en el informe.

Indice alfabético de materias

Están impresas en negritas las páginas donde aparece la definición de un término.

Adopción de recomendaciones, 5, 51--52
Análisis continuo, 52
Análisis de dominancia, **30**—31
Análisis de los retornos mínimos, **66**—70
Análisis de sensibilidad, 53, **73**—75
Análisis estadístico, 3, 21—22, 60—62
Análisis marginal, 11—12, **38**—46
Beneficios brutos de campo, 10, **27**—28
Beneficios netos, 4, 11, **28**
Capital de trabajo, **34**
Costo del capital, **34**—37
Costo de campo, **14**
Costo de oportunidad, **13**, 16—17, 34, 53, 74—75
Costos que varían, 10, **13**—19
Curva de los beneficios netos, **31**—32, 41, 45
Dominio de recomendación, **7**—8, 20—21, 57—58
Ensayos en fincas, 5—7
Evaluación agronómica, 3, 12, 21, 58, 62
Evaluación del agricultor, 3, 49
Inflación, 35, 71—72
Investigación en fincas, 1—3
Manejo de los ensayos, 5—7, 23—25, 59
Mano de obra, 16—18, 53, 74—75
Paquetes de prácticas, 5, 51—52
Precio de campo (de un insumo), **13**—16
Precio de campo (del producto), 10, **25**—27, 71
Precio de campo de oportunidad (de un insumo), 15
Precio de campo de oportunidad (de un producto), 27, 35 (pie)
Presupuesto parcial, 9, 27—29
Promedio de los rendimientos, 9, 22, 23
Recomendaciones, 1, 49, 51, 52
Rendimiento ajustado, 10, **23**—25
Residuos, **47**—48
Responsables de formular las políticas, 3, 16, 36, 72
Riesgo, 4—5, 59, 63—66
Tasa de retorno marginal, 12, **32**—33, 49
Tasa de retorno mínima, 34—37, 48, 71—72
Total de los costos que varían, 11, **18**—19
Variables experimentales, 5, 6, 55
Variables no experimentales, 6, 23—24, 57