

AGRICULTORES

IICA-CE

13 SET

CATIE
CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
Departamento de Cultivos y Suelos Tropicales

CONSIDERACIONES SOBRE TÉCNICAS EXPERIMENTALES EN LA INVESTIGACION
DE SISTEMAS DE PRODUCCION DE PEQUEÑOS AGRICULTORES

Pedro Oñoro

Documento presentado en el Seminario en Sistemas de
Producción de Cultivos Anuales, Turrialba, Costa Rica
CATIE 16-19 agosto, 1977.

Turrialba, Costa Rica

1977

CONSIDERACIONES SOBRE TECNICAS EXPERIMENTALES EN LA INVESTIGACION
DE SISTEMAS DE PRODUCCION DE PEQUEÑOS AGRICULTORES *

Pedro Oñoro **

I. Conceptos básicos de experimentación

A. Experimentación e investigación.

La experimentación es una metodología utilizada como parte de un proceso de investigación científica. La experimentación ayuda a tener información en forma planeada de las respuestas a cambio de las condiciones naturales del material objeto de estudio.

La investigación científica es un proceso para averiguar nuevos hechos o relaciones que permitan saber más en un área de la ciencia.

Generalmente en investigación se usa "un método científico" que consiste en aplicar la lógica y la objetividad al estudio de los fenómenos. Es necesario, siguiendo este método, examinar lo que ya se conoce, formular con base en esto y el raciocinio una o algunas hipótesis y someterlas a prueba. Figura 1.

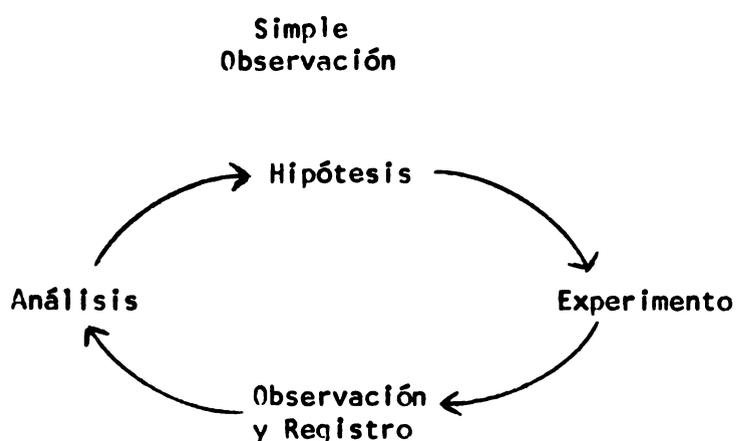


Figura 1. Esquema simplificado de un proceso de investigación que utiliza la experimentación.

* Documento presentado en el Seminario en Sistemas de Producción de Cultivos Anuales, Turrialba, Costa Rica, CATIE 16-19 agosto, 1977.

** Ph.D, Biometrista, CATIE

Las hipótesis no se pueden verificar en forma absoluta; sólo es posible averiguar si los hechos concuerdan con las hipótesis dentro de razonables límites de error o incertidumbre.

Una investigación puede requerir varios o muchos experimentos, cada uno de los cuales aporta parte de la información que debe ser sometida a análisis y evaluación. Los resultados de cada experimento en particular deben analizarse así como la información global para encontrar relaciones más generales o más completas.

Se debe distinguir entre investigación y experimentación:

1. La experimentación sirve en la investigación.
2. Investigación es un proceso para adquirir nuevos conocimientos; experimentación es una metodología para obtener datos y sacar conclusiones. El análisis estadístico sirve para obtener información de los datos.

B. Definición de experimento

Indagación planeada, en la que se modifican las condiciones naturales a que está expuesto el material sujeto a estudio o comparación, para averiguar nuevos hechos que sirvan para someter a prueba una o varias hipótesis.

Es conveniente tener en cuenta lo siguiente con relación a experimentos:

1. Por medio de los experimentos se obtienen datos de la respuesta del material experimental a estímulos provenientes de modificar en forma controlada las condiciones naturales en que se desarrolla un proceso. Hay intervención del hombre para crear diferentes clases o niveles de estímulo (los tratamientos).

2. En un experimento se tratan de mantener constantes los factores diferentes de las variables que se desea estudiar para poder aislar y medir o estimar el efecto de esos factores.
3. En un experimento se distribuyen al azar los tratamientos dentro de las restricciones impuestas por el diseño, para evitar prejuicios, efecto, errores sistemáticos (gradientes) no controlados.

C. Requisitos de un buen experimento

1. Ausencia de errores sistemáticos

Debe tratarse de que las unidades experimentales que reciben un tratamiento no difieran en forma sistemática de aquellos que reciben otro tratamiento.

También debe evitarse como indeseable cualquier diferencia en el manejo de las unidades experimentales que no sea la que se debe al tratamiento propiamente dicho.

No es suficiente suponer que la magnitud de alguna variación sistemática es poco importante. Siempre debe tratar de evitarse este tipo de efecto cuando no se conoce su magnitud.

A
B
C
D

I

A
B
C
D

II

A
B
C
D

III

Los errores sistemáticos se evitan haciendo una asignación aleatoria de los tratamientos a las unidades experimentales y por medio de agrupación adecuada.

2. Precisión

Debe tenerse en cuenta que los experimentos dentro de un proceso de investigación se justifican cuando hay incertidumbre sobre el resultado que va a obtenerse.

Supóngase que se va a hacer un experimento para averiguar si existe diferencia entre varios tratamientos (entre las respuestas de un material experimental a diferentes tratamientos). No se justificaría incluir tratamientos que de antemano se sabe que son muy diferentes del resto; en este caso la comparación es innecesaria y superflua.

Los experimentos generalmente se hacen para detectar diferencias relativamente pequeñas. Para esto es necesario un grado de precisión que permita, en una proporción alta de casos, detectar las diferencias cuando realmente existen, con una probabilidad pequeña de error.

Si la precisión es muy baja probablemente no se podrán detectar diferencias de importancia práctica aún cuando realmente existan; por otro lado una precisión mayor que la necesaria implica un desperdicio de recursos.

La precisión se refiere a la magnitud relativa de la variación al azar. Una variación grande corresponde a una baja precisión.

La precisión de un experimento depende, entre otras cosas, de:

- a. la variación intrínseca del material experimental,
- b. los cuidados en la conducción del experimento,
- c. el número de unidades experimentales,
- d. el diseño del experimento

3. Amplitud de validez

Debe tenerse en cuenta que los resultados de un experimento se consideran válidos para la población de la cual las observaciones

son representativas. A medida que la población en cuestión es más grande o más heterogénea, más amplitud tienen las conclusiones. Si por ejemplo, se hace un experimento en invernadero utilizando un suelo tomado en un sitio específico de una región es muy aventurado generalizar las conclusiones como si fueran aplicables a toda la región en condiciones de campo a través de los años.

Los resultados de un experimento (prueba de variedades o niveles de tecnología) en una estación experimental no son directamente extrapolables a cualquier región y en cualquier condición. Hay que considerar que las condiciones en la estación experimental son, casi siempre, muy diferentes de las que se encuentran en las fincas de agricultores, especialmente los de pequeños agricultores. Esto hace necesario probar los resultados o hacer investigación en fincas de agricultores.

Un experimento realizado para condiciones muy específicas puede ser de poca utilidad si esas condiciones se presentan con poca frecuencia. También debe tenerse en cuenta que en algunos casos no sólo es conveniente utilizar material experimental no muy homogéneo sino que es muy útil emplear tratamientos que representan condiciones fuera de lo normal (hacia los extremos) si uno está interesado en averiguar el tipo de respuesta de las variables a los tratamientos.

4. Simplicidad

Debe tratarse de tener el experimento más simple en cada situación por conveniencia o por necesidad.

Un experimento con un diseño experimental simple reduce el riesgo de errores en su ejecución. Además, el análisis será también más sencillo. Si por otra parte se pierden algunas observaciones en un experimento complejo el análisis se complica aún más.

El análisis del experimento no debe ser más complicado de lo necesario.

5. Cálculo de la incertidumbre

El experimento debe permitir el cálculo de la probabilidad de error (por lo menos de tipo I) al hacer comparaciones entre promedios. Esta se calcula con base en la variación entre unidades experimentales tratadas en forma semejante (que han recibido el mismo tratamiento).

Esta variación debe corresponder a efectos aleatorios, desconocidos o no controlables, sobre las unidades experimentales. Como se vio antes no deben existir errores (variaciones) sistemáticas que opaquen los efectos verdaderos de (ó diferencias verdaderas entre) tratamientos.

D. Algunos pasos necesarios antes de iniciar un experimento

1. Definir lo más claramente posible los objetivos del experimento, que dependen de la investigación que se desarrolla.

2. Definir claramente la amplitud de las conclusiones. Definir el universo (población) en la cual estamos interesados. Incluye considerar las condiciones específicas en las cuales se desempeña el material objeto de estudio.

3. Definir cuál es el material experimental que se va a utilizar.

4. Definir cuáles tratamientos se van a aplicar. Asegurar que realmente estos se pueden aplicar.

5. Definir cuáles variables van a ser medidas y criterios para definir las variables.

6. Asegurar que existen las condiciones necesarias para llevar

a cabo el experimento; (instalaciones, personal, equipo, materiales, tecnología).

7. Asegurar que la precisión esperada es satisfactoria.

8. Asegurar que el diseño es adecuado y existe la forma de analizar los datos.

II. Tipos de experimentos de acuerdo a los objetivos

El investigador puede recurrir a la ejecución de un experimento para alguno de varios propósitos.

El diseño que se escoja, las variables que se midan y la forma de conducción del experimento dependen de los objetivos que se persigan. Un experimento puede ser el más adecuado para una clase de objetivos, pero podría resultar completamente inútil para otro. El momento de averiguar esto es antes de iniciar el experimento.

Un experimento sólo puede contestar una o muy pocas preguntas; la información que suministra es bastante limitada. Corresponde al investigador hacer que esa información sea la más importante para la investigación en progreso.

Por conveniencia hemos considerado varios tipos de experimentos, teniendo en cuenta la clase de objetivos generales que se persiguen. No se pretende que esta clasificación sea exhaustiva ni excluyente.

A. Para estimar valores de parámetros. Por ejemplo rendimiento promedio de una variedad; para estimar componentes de varianza de material genético; la velocidad del sonido en el aire. Rata de transpiración de un cultivo en condiciones dadas.

En estos experimentos interesa medir con precisión y obtener un valor como representativo del parámetro que se desea; no hay interés en comparaciones.

B. Para comparar promedios (o estimar diferencias entre promedios).

Se quiere aquí averiguar las diferencias entre los promedios de tratamientos o entre promedios de grupos de tratamientos. Este es el tipo más común de experimentos en agronomía. Por ejemplo, para comparar variedades^O_A (efecto de) pesticidas. En este tipo de experimento debe tenerse mucho cuidado para lograr que todas las unidades experimentales se hayan tratado en forma similar.

C. Para averiguar el tipo de respuesta de un material a un factor variable (respuesta a insumos).

En este tipo de experimento debe darse consideración además a la escogencia de los niveles de los tratamientos (dosis de insumos), de modo que se obtenga una caracterización adecuada de la respuesta.

Como ejemplo de este tipo de experimentos se puede citar los que incluyen diferentes niveles de nutrimentos.

D. Para averiguar relaciones entre variables, puede coincidir con alguno de los anteriores, pero en este caso se miden por lo menos dos variables de respuesta. El tipo 3 también es parte de esta categoría cuando se quiere averiguar la relación entre la variable de tratamiento y la de respuesta.

III. Técnicas experimentales de campo.

A continuación se hace un resumen de conceptos relacionados con técnicas de campo para experimentos agrícolas que son aplicables en forma general, más adelante se hará referencia a los experimentos en fincas de agricultores.

Primero se hará referencia a conceptos y definiciones generales y más adelante se harán comentarios breves sobre aplicaciones.

A. Costo de la información

Un experimento es un vehículo para lograr parte de la información que busca el investigador. Esta información tiene un costo de modo que es necesario decidir cuanta información es suficiente para los objetivos propuestos.

Para dar una idea de la relación entre la cantidad de información y el costo de ésta se presenta la Figura 2, donde se ve que, partiendo de determinada, se puede obtener alguna información a bajo costo, pero es necesario incurrir en un costo apreciable para obtener un incremento importante en la información. En otra etapa puede obtenerse información adicional con un pequeño aumento en los costos, pero de un punto en adelante vuelve a presentarse un comportamiento similar al del principio donde sería necesario un aumento muy grande en los costos para aumentos muy pequeños en la cantidad de información.

Dentro de un programa de investigación es importante tener una idea de cual etapa se ha alcanzado con relación a los diferentes proyectos y aspectos de éste para la asignación de recursos.

B. Precisión

Podemos aquí definir precisión como el grado de acercamiento, de los valores observados, al promedio. Habremos calculado un promedio con bastante precisión cuando la variación entre las observaciones es pequeña (en términos relativos), en ese caso podemos confiar en que hay una alta probabilidad de que las observaciones se agrupen dentro de una banda estrecha alrededor del promedio (calculado).

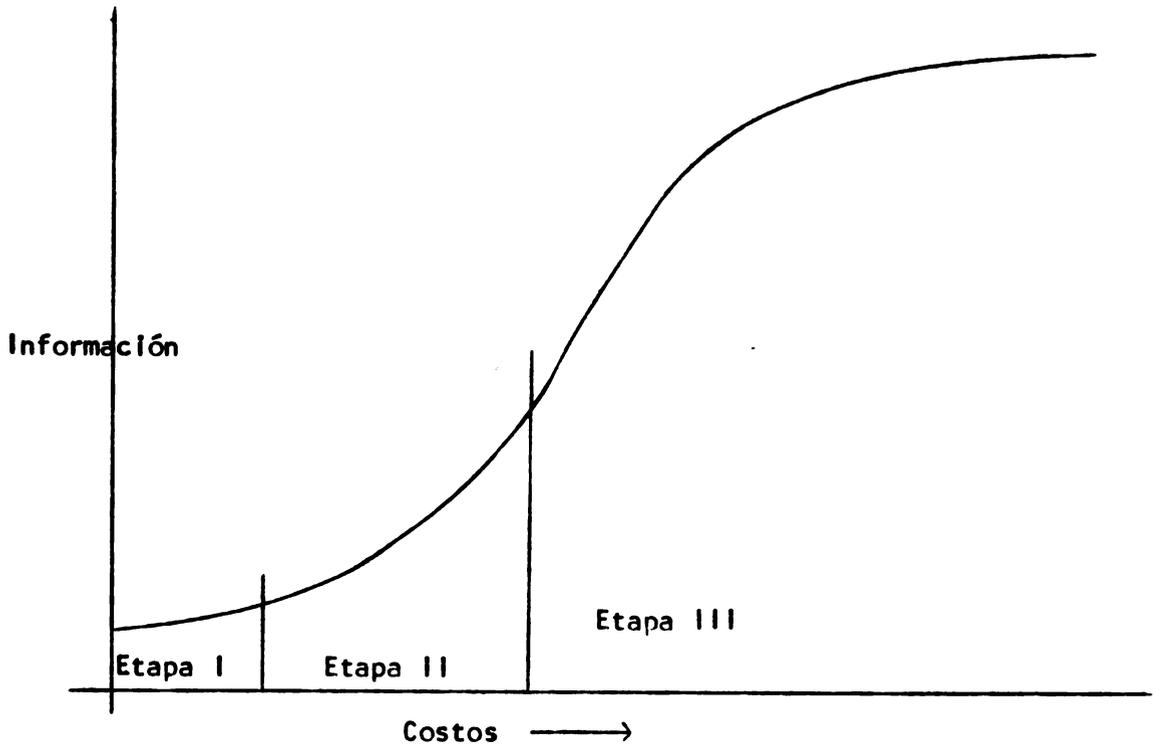


Figura 2. Una relación entre información y costos.

También podemos confiar en que al repetir las mediciones vamos a obtener valores muy parecidos a los obtenidos anteriormente.

Generalmente tratamos de obtener la mayor precisión posible, dentro de lo práctico. La dificultad está en que por lo general el aumento en precisión se obtiene por medios que aumentan los costos; sin embargo, hay algunas alternativas que permiten aumentar la precisión sin incrementar los costos en forma apreciable.

En la figura 3 se muestra a modo de ejemplo una posible relación entre precisión y costos para dos metodologías diferentes. Se observa que para un mismo costo siempre la metodología B da mayor precisión que la A; también, para una precisión fija la metodología A es más costosa que la B.

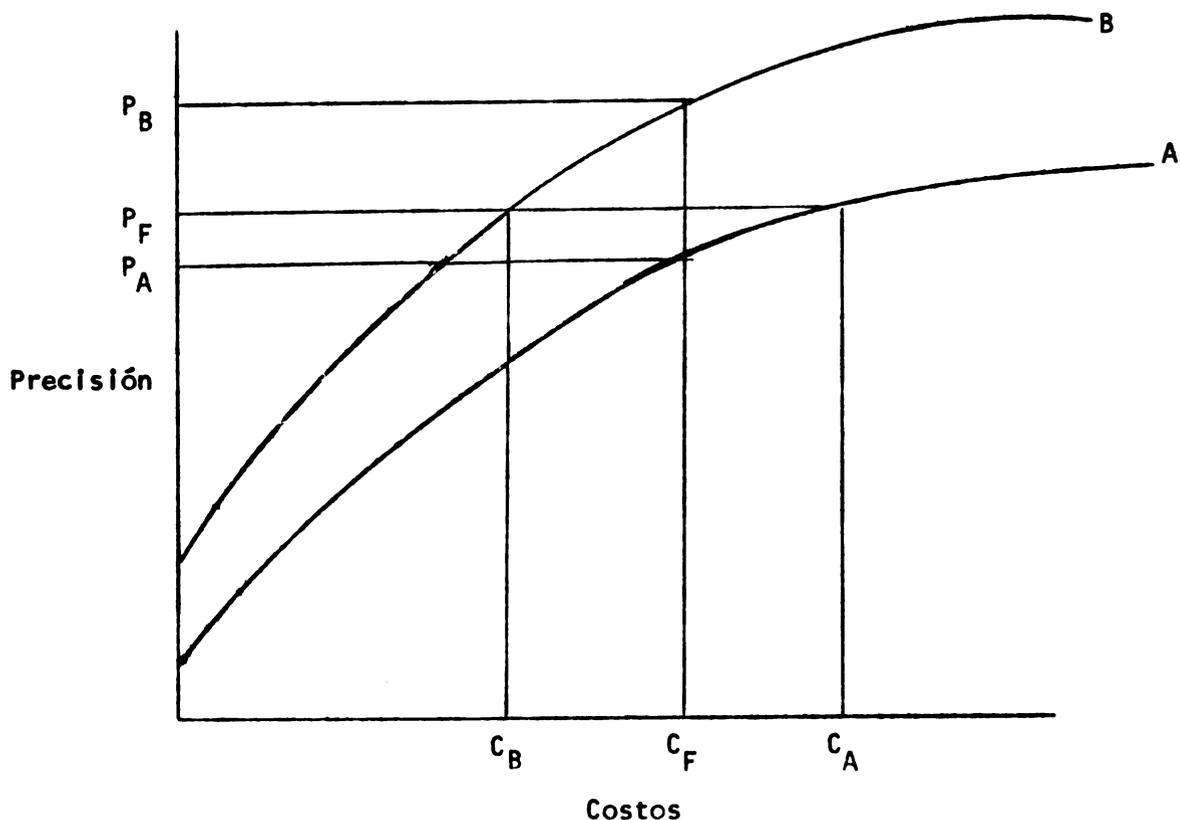


Figura 3. Relación entre precisión y costos para dos metodologías.

En la práctica se pueden presentar dos situaciones:

1. se tiene un presupuesto fijo y se desea lograr la mayor precisión posible.
2. se fija una precisión y se quiere lograrla al menor costo posible.

En el primer caso lo limitante es el dinero disponible mientras en el segundo lo es la precisión.

En la curva se observa que para aumentar la precisión es necesario aumentar los costos; pero a medida que la precisión se hace mayor los costos de aumentarla son mayores.

Un buen diseño experimental y cuidado en la selección y manejo del material experimental pueden aumentar la precisión sin incrementar

Los costos ó incrementándolos muy poco en muchas ocasiones. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que no debemos buscar más precisión que la necesaria; por otro lado un experimento con baja precisión puede resultar inútil ó por lo menos una mala inversión.

Entre los factores relacionados con la precisión de los experimentos se pueden citar los siguientes relacionados con técnicas de campo:

1. Número de repeticiones.
2. Tamaño de las unidades experimentales.
3. Forma y orientación de las parcelas.
4. Tamaño, forma y orientación de los bloques.
5. Efectos de bordes.
6. Manejo del material experimental.

C. Número de repeticiones

Es conocida la relación entre la desviación estándar de un promedio y el número de observaciones:

$$S_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

En un experimento se podrán detectar diferencias menores entre promedios al aumentar el número de repeticiones como puede verse a partir de la fórmula de la Diferencia Mínima Significativa:

$$DMS = 2t \sqrt{\frac{2s^2}{r}} \quad (2)$$

Entonces, una forma de aumentar la precisión de las comparaciones entre promedios es aumentando el número de repeticiones, si el resto de los factores permanecen constantes. Existen límites de orden práctico

que aconsejan no aumentar mucho el número de repeticiones, aún cuando se disponga de tierra y material experimental; cuando existen restricciones en cuanto a área o material disponible se podría aumentar el tamaño de las repeticiones reduciendo el tamaño de las parcelas.

Es frecuente que el Investigador pregunte ¿Cuántas repeticiones debo utilizar? Esta pregunta no puede contestarse en forma simple ya que, además de las consideraciones arriba mencionadas es necesario considerar la magnitud de las diferencias que se quieren detectar, la probabilidad de declararlas como diferentes cuando realmente lo son y la probabilidad de declararlas diferentes cuando en efecto son iguales.

Si lo anterior se conoce se pueden aplicar varias fórmulas una de las cuales es:

$$r \geq \frac{2(t_1 + t_2)^2 \cdot C^2}{\delta^2} \quad (3)$$

donde

r = número de repeticiones

t_1 = valor de t de las tablas para los grados de libertad del error y probabilidad de Error tipo II escogida

t_2 = valor de t de las tablas para los grados de libertad del error y probabilidad igual a $2(1-P)$ donde P es la probabilidad de encontrar diferencias significativas cuando realmente existen.

C = coeficiente de variación de experimentos semejantes

δ^2 = diferencia que se quiere detectar, expresada como % con relación al promedio general.

Esta fórmula (y cualquier otra) debe considerarse como una guía ya que se basa en valores de C^2 obtenidos para otros experimentos.

Puede utilizarse en general la fórmula aproximada:

$$r \geq 10 \frac{C^2}{\delta^2} \quad (4)$$

que asegura que podemos encontrar diferencias al nivel del 5% de significancia en más del 50% de los casos.

No debe olvidarse que no solo el número de repeticiones influye en la magnitud de las diferencias que se quieren detectar sino el tamaño, forma y orientación de las parcelas.

D. Tamaño de parcelas

En general, y hasta cierto punto, al aumentar el tamaño de las parcelas aumenta la precisión a reducirse, la magnitud de la varianza (Cuadrado Medio del Error). También en general, y para igual área total un aumento en el número de repeticiones (y reducción del tamaño de parcela) aumenta más la precisión que un aumento en el tamaño de las parcelas (y reducción en el número de repeticiones).

Hay varias formas de considerar lo relativo al área recomendable de parcela, dependiendo del criterio que se adopte, pero todas se basan en estimación de la variabilidad de parcelas de diferentes tamaños.

Cualquier resultado o recomendación en este caso también debe tomarse como indicativo.

1. Método de la máxima curvatura. Para este método se calculan los coeficientes de variación para diferentes tamaños de parcela, se hace un gráfico y se traza una curva que representa esta relación entre estas dos variables. El tamaño óptimo es aquel que corresponde al punto de máxima curvatura.

Este método tiene el inconveniente de ser subjetivo y de depender de las escalas adoptadas.

2. Método de Smith. Este método permite calcular tamaño de parcela óptimo teniendo en cuenta costos. Farfield Smith encontró una relación empírica entre varianzas entre tamaño de parcela y varianza,

$$V_x = \frac{V_1}{x^b} \quad (5)$$

donde V_x = varianza calculada en base unitaria, del rendimiento por unidad de área entre parcelas de tamaño X .

V_1 = la varianza entre parcelas de tamaño unitario

b = un índice de variabilidad del suelo, que es una medida de la correlación entre parcelas unitarias adyacentes

X = número de unidades básicas por parcela.

Esta fórmula, tomando logaritmos se convierte en

$$\text{Log } V_x = \text{log } V_1 - b \text{ log } x \quad (6)$$

$$\text{Log } \underline{V_x} = \underline{a} + \underline{b^1} \text{ log } X \quad (6^1)$$

El coeficiente b se puede calcular como un coeficiente de regresión ya que se tienen varios valores de X y los correspondientes V_x .

Una vez calculado \underline{b} puede aplicarse la siguiente fórmula que considera costos:

$$X = \frac{bK_1}{(1-b) K_2} \quad (7)$$

para calcular el tamaño óptimo, donde

X = número de unidades básicas por parcela

K_1 = el costo asociado con el número de parcelas

K_2 = el costo asociado con el área unitaria para los costos que depende del área.

Hay una fórmula que tiene en cuenta bordes.

3. Tamaño "conveniente" de parcela. W.H. Hatheway ha propuesto una fórmula para calcular tamaño conveniente de parcela cuando no se tienen en cuenta los costos, pero se pueden especificar el número de repeticiones y magnitud de la diferencia que se quiere detectar.

La fórmula es:

$$X^b = 2 (t_1 + t_2)^2 C_x^2 / rd^2$$

donde C_x = coeficiente de variación , y

t_1 , t_2 , X , b , r y d^2 son como se definieron antes.

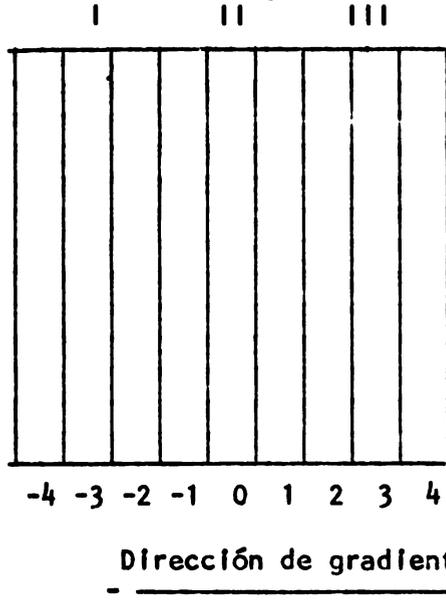
E. Forma y orientación de las parcelas

En general se recomiendan parcelas rectangulares, largas y angostas, Si existe una gradiente detectable el eje mayor debe ir paralelo a esa gradiente.

La anterior recomendación es para lograr que haya la menor variación posible entre parcelas. Si existe variación dentro de cada parcela esto contribuye a dar más amplitud a las conclusiones.

En la figura 4 se representan varias situaciones en cuanto a forma y orientación de las parcelas. Con parcelas largas orientadas en sentido perpendicular a la gradiente se obtuvo la mayor variación entre parcelas (SC Error = 60); en cambio cuando se orientan en el sentido de la pendiente la variación fue mínima. Si se supone que la elección de orientación se hace al azar se tendría en promedio una variación menor con parcelas angostas que con las cuadradas, ya que con éstos la variación es siempre igual (SC Error = 54).

a) Parcelas largas en sentido perpendicular a la gradiente.

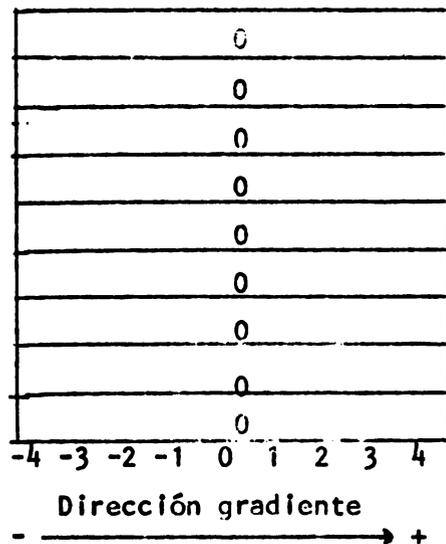


1. SC Error = $(-4)^2 + (-3)^2 + \dots + 3^2 + 4^2 = 60$
(sin formar bloques)

2. SC Bloques = $\frac{(-9)^2 + 0^2 + 9^2}{3} = \frac{162}{3} = 54$

SC Error = $60 - 54 = 6$
= $3(-1)^2 + 0^2 + 1^2 = 3 \times 2 = 6$

b) Parcelas largas paralelas a la gradiente

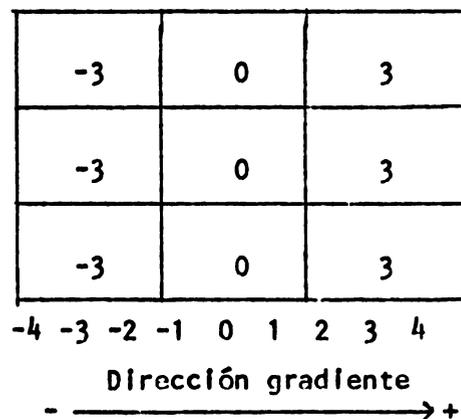


1. SC Error = 0
(sin formar bloques)

2. SC Bloques = 0

SC Error = 0
(con bloques paralelos a gradiente)

c) Parcelas cuadradas



1. SC Error = $3(-3)^2 + 3 \times 3^2 = 54$
(sin bloques)

2. SC Bloques = $\frac{(-9)^2 + 9^2}{3} = 54$

SC Error = 0
(Bloques perpendiculares a gradiente)

3. SC Bloques = 0

SC Error = 54
(Bloques paralelos a gradiente)

Figura 4. Forma y orientación de parcelas y orientación de bloques.

Existen otras posibilidades y/o necesidades en cuanto a forma y orientación de las parcelas; estas pueden estudiarse con un procedimiento similar al que se ilustra.

F. Tamaño, forma y orientación de los bloques

La necesidad de formar bloques surge con la falta de homogeneidad del material experimental. En experimentos en el campo la heterogeneidad tiende a asociarse con el suelo; sin embargo, en muchos casos el suelo puede ser relativamente homogéneo así como también puede haber otros factores diferentes del suelo que pueden variar en forma marcada, al azar o por gradientes.

Al formar bloques se pretende aislar una fuente de variación que permita reducir el error experimental. Se quiere entonces que, dentro del área del experimento, haya la mayor diferencia posible entre bloques y la menor dentro de cada bloque.

En general esto puede conseguirse utilizando bloques compactos con forma que se aproxime a un cuadrado; sin embargo, también debe considerarse la dirección y magnitud de los gradientes. Cuando el número de tratamientos es muy grande se hace necesario en muchos casos recurrir a diseños de bloques incompletos donde cada bloque contiene solo parte de los tratamientos.

En la ilustración del aparte anterior se aprecia que la orientación de los bloques, la cual puede depender de la orientación y forma de las parcelas, influye sobre utilidad para reducir el error experimental en cada caso particular.

G. Manejo del material experimental

Indudablemente este es uno de los factores más importantes relacionados con la precisión de un experimento, y puede ser la diferencia

entre el éxito y el fracaso de un experimento.

En primer lugar debe mencionarse la importancia de medir en la forma más libre de errores posible desde el tamaño de las parcelas y cantidades de insumos hasta las variables de respuesta (p. ej. rendimientos, alturas, ataque de plagas, etc.). Debe tenerse en cuenta que las parcelas experimentales son pequeñas y que un error aún cuando pequeño en magnitud puede ser relativamente grande.

Debe darse especial importancia a lograr que las parcelas sean tratadas en forma idéntica excepto por los tratamientos que se prueban. Debe evitarse que prejuicios o variaciones sistemáticas o aleatorias en el manejo influyan en forma diferencial sobre los resultados. La falta de estos cuidados puede llevar a incluir efectos, diferentes de los efectos de los tratamientos, que después no pueden estimarse y llevan a conclusiones erradas o aumentan en forma apreciable el error experimental.

Por ejemplo, en un experimento sobre fertilización de maíz, después de escoger el sitio experimental debe medirse con la mayor precisión posible las parcelas, se debe pesar la cantidad de fertilizante que debe aplicarse a cada parcela (en algunos casos es aconsejable pesar la que corresponde a cada surco en cada parcela para asegurar uniformidad en la aplicación), hacer la siembra y aplicación de fertilizante en las mismas condiciones. Cuando no es posible completar la labor en una jornada debe tratarse de no dejar repeticiones sin completar. Es recomendable, cuando deben trabajar varias personas, asignar una repetición a cada persona o que una persona haga por ejemplo la siembra en todas las parcelas y otra la

fertilización en todas las parcelas. Debe asegurarse que se está sembrando material del mismo origen genético producido y conservado en las mismas condiciones.

En resumen, debe hacerse el mayor esfuerzo para lograr que realmente estemos midiendo y comparando lo que inicialmente supusimos.

H. Registro y análisis de los datos

La experimentación es costosa pero si es eficiente puede resultar una buena inversión. La eficiencia se refiere a la cantidad de información producida por unidad de esfuerzo, sin considerar la aplicación de esa información para el usuario final, que en el caso nuestro es el agricultor de escasos recursos.

suponiendo que la investigación esté enfocada en la dirección adecuada la eficiencia significa mayor potencial de servicio a la comunidad.

Se mencionaron algunas formas de mejorar la precisión de los experimentos que son aplicables a cualquier variable que se mida. Es lógico pensar que al medir más variables vamos a tener mayor información con base en una inversión inicial, rebajándose el costo promedio de cada dato o de cada unidad de información.

Esto nos lleva a pensar que siempre que sea posible, y se considere relevante, deben medirse varias variables en un experimento ya sea para averiguar la respuesta de éstos a los tratamientos (variables de respuesta o dependientes) o para ayudar a explicar la respuesta de otras variables (condicionantes o de tratamiento). No debe sin embargo, abusarse de esto registrando variables de muy poca utilidad.

Como corolario de lo anterior debe pensarse en que es necesario analizar los datos obtenidos ya que por sí solos éstos dicen muy poco; nuestro trabajo estará incompleto y será casi inútil si los datos no pasan del libro de campo o si sólo se transmiten de un papel a otro. Se pide de un investigador la capacidad para completar el proceso de investigación científica y, en nuestro medio además, acciones para convertir los resultados de la investigación en algo útil para los agricultores.

Recuérdese que los experimentos se hacen para probar alguna hipótesis o por lo menos para suministrar información los datos del experimento deben, por lo menos convertirse en información a través de un procedimiento de análisis.

Si se hizo un experimento cumpliendo con los requisitos de la metodología estadística solo se requiere un esfuerzo adicional pequeño, pero necesario, para analizarlos de acuerdo a esa metodología que asegura un máximo de información y da una medida de la confianza que puede tenerse en esa información.

Los datos deben registrarse en una forma clara y ordenada de modo que no exista ambigüedad sobre la unidad experimental medida, la variable medida, unidad utilizada, fecha de medida, etc. Estos datos deben analizarse tan pronto estén disponibles. Además debe considerarse seriamente la necesidad de incorporar estos datos dentro de un archivo dinámico que contenga información de experimento similares con miras a hacer un análisis e interpretación conjunta de los resultados.

Si se deja de mirar cada experimento como una entidad autosufi-

ciente dentro de la cual nos limitamos nosotros mismos podemos aprovechar la ventaja de analizar respuestas a través de gradientes y medir interacciones que pueden ser más importantes que la información que suministra cada experimento individualmente. Surge entonces la necesidad de medir variables relacionadas con el ambiente que rodea a cada experimento, como por ejemplo, características físicas y químicas del suelo, precipitación, radiación, ataque de plagas, enfermedades y malezas, etc.

IV. Los experimentos dentro del enfoque de sistemas

El enfoque de sistemas ofrece una metodología para estudiar un conjunto de elementos organizados e interrelacionados que a partir de una situación determinada cumplen una función cuyo resultado es observable y/o medible. Este estudio comprende la etapa de análisis del sistema en la cual se hace énfasis en averiguar como funciona éste y la de diseño en que se trata de mejorar el sistema analizado o ensamblar (diseñar) otro nuevo, basado en lo que se conoce del funcionamiento de los subsistemas o los componentes considerando las interacciones.

A. Modelos y Experimentos

En las etapas de análisis y diseño es necesario obtener información (primaria) que ayude a aclarar algunos aspectos.

En el análisis de sistemas se parte de la información que se tiene sobre el ambiente que rodea al sistema, sobre los diferentes componentes y sus interrelaciones y, por supuesto, de todo lo que entra para ser transformado en los productos del sistema.

Gran parte de esta información inicial, por regla general, es imprecisa o inexacta cuando no es Incomplete. Sin embargo, sirve para formarse una idea del sistema; puede elaborarse un modelo muy general que muestra las principales relaciones entre los factores más importantes (los que aparecen en ese momento como tales). Al revisar el modelo se encuentra que (dentro del grado de detalle del modelo) falta información en algunos aspectos; parte de esta información puede obtenerse de la literatura o de simple observación; otra parte de la información debe generarse. Una de las formas de generar esa información puede ser a través de encuestas y la otra por medio de experimentos; es probable que la información que puede generarse por encuestas no pueda o no deba generarse por experimentos y viceversa.

Resulta entonces que se hace necesario ejecutar experimentos para completar información sobre valores de algunos parámetros simples o sobre relaciones entre variables. Este tipo de experimentación es muy similar a la que nosotros conocemos; la diferencia principal está en el uso que se da a ésta y las razones para llevarla a cabo. Al considerar el conjunto de experimentos que se harían en este caso nos damos cuenta de que estamos haciendo investigación guiada por un propósito definido y enmarcada dentro de una jerarquía de prioridades dictada por un procedimiento objetivo.

En una etapa más avanzada del análisis del sistema puede ser necesario "validar el modelo" o sea, someterlo a prueba para ver como representa al sistema real; puede como resultado de esto surgir la necesidad de ajustar algunas relaciones o modificar algunos valores. Aquí nuevamente surge la necesidad de experimentación.

Debe aclararse que del modelo inicial al modelo final se va a través de una serie de ajustes y complementaciones que tienden a perfeccionar el modelo, sin embargo, en cualquier momento se tiene en cuenta todo el proceso y el modelo es utilizable como representación de la realidad. Debe aclararse también que el investigador está trabajando con la gúfa del modelo, en el sistema real.

En el caso del estudio de sistemas de producción de agricultores de escasos recursos, la necesidad de experimentación sigue siendo grande para la etapa de análisis. Especialmente para conocer mejor las relaciones suelo-planta-ambiente.

En la etapa de diseño de sistemas de producción la experimentación sirve para:

- a) Estudiar relaciones no presentes en los sistemas analizados;
- b) Hacer ajustes en los diseños;
- c) Hacer la comparación de los sistemas diseñados (entre sí o con el sistema actual).

En la figura 5 se muestra en forma muy simplificada el proceso de análisis de sistemas considerando la experimentación como una de sus partes.

E. Algunos experimentos aplicables al estudio de sistemas

A continuación se hará un breve comentario de algunas clases de experimentos necesarios en la investigación de sistemas de producción para pequeños agricultores. Debe siempre tenerse en cuenta que el tipo de experimento y el diseño que se adopte está en función del tipo de información que se necesite; un diseño óptimo en un caso puede ser pésimo en otro.

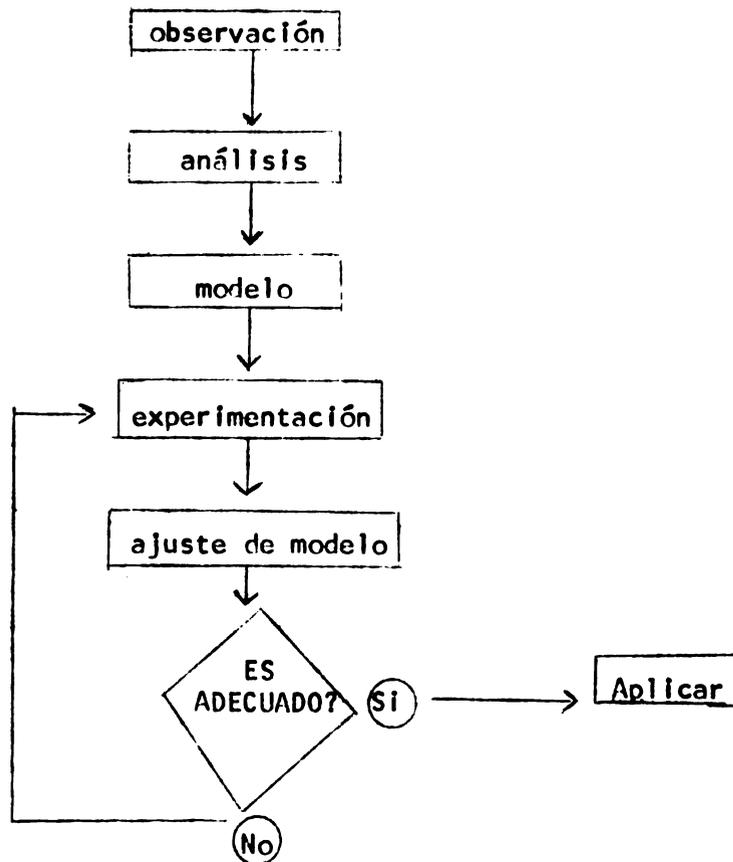


Figura 5. Esquema simplificado de un proceso de estudio de sistemas.

1. Determinación de la respuesta a cantidades variables de insumos.

Este tipo de experimento es bastante común en la investigación por disciplinas y los diseños utilizados no difieren de los utilizados allí. En estos casos se pueden utilizar diseños completamente al azar o de bloques completos al azar con arreglo factorial si hay más de un factor a estudiar. En casos especiales podrían utilizarse factoriales incompletos como los de la clase llamada "superficies de respuesta" (nombre no adecuado pero muy común). Sin embargo, estos

Últimos diseños deben utilizarse con mucha cautela ya que son eficientes bajo condiciones que rara vez se presentan en el campo y menos en fincas de pequeños agricultores.

En cualquier forma lo que se quiere es, principalmente, tener una función de respuesta que relacione las variables en estudio.

2. Determinación del efecto del reemplazo de insumos y/o tecnologías.

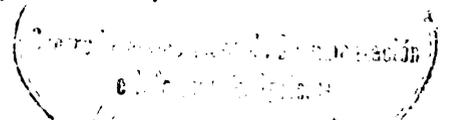
Se presenta necesidad de este tipo de experimentos principalmente en la etapa de diseño para evaluar sistemas o variantes de un sistema.

La situación puede ser de comparar la tecnología del agricultor con varias alternativas (tecnología mejorada) o comparar una tecnología recomendada como óptima con otras que hagan uso solo de algunos componentes.

Cuando se va a evaluar la "tecnología recomendada", suponiendo que sea igual a la del agricultor más los factores A, B, C y D, se puede proceder en la siguiente forma: formar un tratamiento que incluye la recomendación completa, uno que corresponde a la "tecnología del agricultor", y cuatro más de los cuales cada uno sería como la tecnología recomendada eliminando uno de los factores.

Si lo que se quiere evaluar es la tecnología del agricultor, podría procederse a formar además de los dos primeros, otros cuatro tratamientos que consistan en la tecnología del agricultor más A, la tecnología del agricultor más B y así sucesivamente. En este caso, se podría averiguar cual componente es limitante y hacer énfasis en éste en futuros experimentos.

Existen muchas variantes a éstos en cuanto a la escogencia de tratamientos, la cual depende del tipo de comparación que se desea.



El diseño experimental podría ser de bloques completos al azar o completamente al azar; si el número de alternativas a probar es elevado (por ejemplo más de 10) podría pensarse en otras alternativas de las cuales la más simple sería hacer las repeticiones en diferentes lugares (fincas).

3. Comparación de diseños de cultivos.

Si consideramos como diseño de cultivos al arreglo cronológico y espacial de combinaciones de cultivos que pueden ir desde el monocultivo continuado hasta la asociación continuada de varios cultivos, pueden presentarse varias situaciones:

- a) Arreglos espaciales de una combinación de cultivos. Este se reduce al mismo tipo de problema del caso 1. en la parte E, pero se presentan complicaciones porque pueden resultar diferentes tamaños de parcela. En este caso sería recomendable tratar de utilizar áreas de parcelas lo más similar posible y reducir los rendimientos u otros valores dependientes del área a la misma unidad de área. Si los tamaños de parcelas difieren mucho entre sí, sería recomendable un análisis de varianza ponderado por área; sin embargo, en la mayoría de los casos el aumento en precisión puede no justificar el esfuerzo.
- b) Diferentes combinaciones de cultivos. En este caso la principal dificultad estaría en la posible diferencia en tamaño de parcela, en longitud del ciclo de los cultivos y diferencia del tipo de producto. Si se define una unidad de tiempo que abarque ciclos completos de por lo menos el de mayor duración y que no implique reducir la posibilidad

de completar más de un ciclo de otro cultivo que pudiera hacerlo en condiciones normales se evita el problema de diferente duración. Por ejemplo, si la yuca entra en un sistema, el experimento debe durar por lo menos lo equivalente al período normal de producción de la yuca; si en ese lapso se pueden (o acostumbran) dos siembras de maíz, éstas deben hacerse, si maíz está incluido.

El problema de diferentes productos se verá más adelante.

- c) Arreglos cronológicos. En este caso también es necesario alargar la duración del experimento de modo que, por lo menos, complete un ciclo de cultivos. En este tipo de experimentos es indispensable repetir el experimento varias veces en el tiempo, para evitar efectos aleatorios no típicos atribuibles al clima.

Hay combinaciones de las alternativas mencionadas en a, b y c, que pueden considerarse y agregan complejidad al trabajo.

F. Algunas metodologías no tradicionales para experimentación

Dentro de la investigación por disciplinas se usan con bastante frecuencia algunos tipos de experimentos y métodos de análisis que los han hecho muy conocidos. Una gran mayoría de los diseños experimentales utilizados hasta el presente se desarrollaron para aplicación en ciencias agrícolas.

Quizá una de las principales diferencias entre la investigación por disciplinas y la investigación con enfoque de sistemas es que en

la primera se hace mucho énfasis en considerar cada experimento como un ente autosuficiente; hay poca tendencia a integrar los resultados de varios experimentos. Al utilizar el enfoque de sistemas se piensa en una forma de ir capitalizando conocimientos basando cada experimento en la información conocida y, por supuesto, incorporando la obtenida en experimentos previos.

1. En el CATIE para un área del trabajo en sistemas de producción se puso en práctica una metodología que consiste en tener un experimento (Experimento Central) que, además de proveer información para evaluar los sistemas que incluye, también (simultáneamente y mientras este experimento permanece en ejecución) información que permite comparar variantes de los tratamientos probados en otros experimentos denominados satélites; en esta forma los experimentos satélites tienen algunos tratamientos en común con el experimento central y permiten compararse entre sí y con tratamientos de otros satélites.

En esta forma es posible escoger los mejores tratamientos del Central y estudiar algunos variantes tendientes a mejorarlos, en experimentos más reducidos y más específicos. También pueden escogerse tratamientos o grupos de tratamientos que por uno u otro motivo merezcan ser mejor estudiados.

2. Es posible en muchos casos usar los diseños llamados de "Bloques en cadena" para casos en los cuales el área experimental disponible no permite tener todos los tratamientos en un bloque completo. Para que este diseño se pueda utilizar eficientemente es necesario tener bloques homogéneos.

En la figura 6 se presenta el esquema de la asignación de tratamientos en un diseño con 8 tratamientos con dos tratamientos haciendo el encadenamiento de un bloque a otro. Este tipo de diseño puede incluir tratamientos repetidos un menor número de veces que los otros; por ejemplo que sólo aparezcan una vez.

I	II	III	IV
A	C	E	G
B	D	F	H
C	E	G	A
D	F	H	B

Figura 6. Diseño de bloques en cadena.

3. Experimentos de selección

Estos, más que experimentos se proponen como una metodología para escogencia de sistemas de producción. A partir de un experimento que puede incluir más de 10 diseños de cultivo se eliminan los que se comporten peor (por ejemplo, el 20% inferior) y se incluyen en su reemplaza un número igual de otros promisorios; los que se comporten mejor por más largo tiempo serían los que podrían recomendarse. Puede también seleccionarse los mejores para estudiar algunas alternativas que tiendan a mejorarlos.

4. Series de experimentos

Se refiere esto a experimentos diseñados en la misma forma en los cuales se ensayan los mismos tratamientos (o por lo menos se tienen varios tratamientos en común) repetidos en varias localidades y varios años.

Dentro del enfoque de sistemas es muy útil considerar estos experimentos ya que permiten, estimar con mayor aproximación a la realidad no sólo los promedios para cada tratamiento, sino también las interacciones debidas a efecto de épocas y localidades. Las conclusiones sacadas de estas series de experimentos son más generales y más confiables que cuando se tiene un solo experimento. Además en muchos casos pueden relacionarse los datos de cada experimento, para cada tratamiento con condiciones del suelo, manejo o ambiente.

G. Experimentos en fincas de agricultores

Todo lo que se vio antes sobre técnicas experimentales debe tenerse en cuenta al realizar experimentos en fincas de agricultores; también es necesario tener en cuenta que una finca de un agricultor de bajos ingresos dista mucho de parecerse a una estación experimental (o por lo menos, es muy diferente de la parte de una estación experimental donde se tienen los experimentos).

Es muy probable que los suelos sean más pobres, que haya deficiencia o exceso de agua, que estén en terrenos muy pendientes o que se inundan y que además están alejados de la ciudad. Sin embargo, desde el punto de vista experimental quizá el principal inconveniente es la gran variabilidad de suelo y otras condiciones que se encuentran aún en una pequeña finca.

Durante la ejecución del experimento es probable que ocurran accidentes. En algunos casos el agricultor, queriendo ayudar, aplica algún tratamiento a las parcelas que estaban en peor estado; o queriendo ayudar aún más cosecha todas las parcelas y mezcla todo en un costal.

Sin duda es más fácil hacer experimentos en la Estación Experimental, pero de cierto punto en adelante se hace necesario hacer los experimentos en las zonas y en las condiciones para las cuales vamos a hacer las recomendaciones. Por otra parte, la interacción con los agricultores permite al investigador aprender algo (o mucho) y facilita la adopción de las prácticas recomendables.

Entre las cosas que hay que considerar se puede citar:

1. El tamaño de parcela y/o el número de repeticiones debería aumentarse en fincas de agricultores en comparación con lo recomendable para una Estación Experimental. En general debe pensarse en parcelas de 30 m^2 por lo menos. Esto sin embargo, con la dificultad de falta de área si se tiene en cuenta que las fincas son pequeñas lo que lleva a la segunda recomendación.

2. El número de tratamientos debe ser reducido. El óptimo está entre 4 y 10. Sólo en casos excepcionales puede pensarse en llegar a más de 20 tratamientos, como el caso de una prueba inicial de variedades.

3. Es recomendable tener repeticiones del experimento en varias fincas. Esto se debe a que existen diferencias grandes de una finca a otra. En muchos casos puede ser lo más conveniente tener una o dos repeticiones en cada finca y repetir el experimento en 4 a 10 fincas. El análisis estadístico permite (si hay por lo menos dos repeticiones en cada finca) sacar conclusiones a nivel de finca y a nivel de grupos de fincas.

4. Debe tenerse en cuenta que los riesgos son más grandes que en la Estación Experimental de modo que deben tenerse cada vez más experimentos que los estrictamente necesarios. No quiere decir esto

que deban descuidarse los experimentos ya que "se tienen más que los necesarios"; se correría el riesgo de perder algunos, que se han desarrollado muy bien, en el momento de la cosecha.

5. Es recomendable en muchos casos utilizar la tecnología del agricultor, excepto cuando se someten a prueba otras tecnologías. Sin embargo, utilizar la tecnología del agricultor no significa introducir variaciones entre parcelas por falta de uniformidad en las prácticas, con el argumento que "así es como el agricultor maneja sus cultivos". En un experimento debe evitarse diferencias en manejo que no sean las correspondientes a los tratamientos que se comparan. Esas diferencias introducidas solo tienden a opacar la verdadera respuesta a los tratamientos.

Evaluación biológica de resultados de experimentos en sistemas de producción.

Cuando se investiga con monocultivos y se miden rendimientos los valores se refieren al mismo producto, y en forma similar para cada variable; sin embargo cuando se comparan variedades con el objeto de seleccionar para distribuir a los agricultores se consideran varios factores o varias variables en las cuales se basa la evaluación. En algunos casos se evalúa simultáneamente de acuerdo a varios factores o se aplican en secuencia seleccionando material con base en un criterio y en un experimento posterior, con base en otro criterio se evalúa el material que se escogió antes.

El caso de rendimiento y contenido de proteína en trigo puede presentar más dificultades que cuando solo se considera uno de los factores; es posible resolver el problema si el investigador define

que importancia debe darse a cada una de las variables para hacer la escogencia. Es posible que algunas variedades no muestren diferencias apreciables con base en el criterio de evaluación, esto querría decir que es casi igual escoger cualquiera, pero lo adecuado es recomendar la que califica mejor. Ahora, si se puede considerar un nuevo factor la escogencia podría basarse en éste.

El problema se complica cuando se tienen especies diferentes ya que las variables normalmente medidas representan cosas diferentes. Por ejemplo, rendimiento de yuca y rendimiento de maíz; no podemos compararlos como tales pero sí por lo que representan en términos de otra variable; por ejemplo, se podrían evaluar en términos del valor de la producción, o en términos de valor nutritivo.

Cuando se quieren considerar varios factores simultáneamente es posible asignar un valor relativo a cada factor y formar índices o valores transformados para cada serie de valores de las variables originales. En esta forma podremos no solo reducir varias variables a una medida común, sino que podemos considerar diferentes variables simultáneamente como componentes de la información para hacer una evaluación más satisfactoria.

Generalmente el problema está en que la cantidad de criterios entre los cuales escoger es muy grande cuando se trabaja en sistemas de producción para agricultores de bajos ingresos y las bases para seleccionar entre esos criterios aún no están bien establecidas. Probablemente sea mejor utilizar diferentes criterios en diferentes situaciones dependiendo de la importancia relativa de algunos factores. Por ejemplo, si el objetivo es que el agricultor pueda mejorar su

dieta con base en los cultivos que produce, al hacer la evaluación de los sistemas se hará énfasis en el valor nutritivo de los cultivos. Si el objetivo es aumentar la producción se tendrá en cuenta solamente producción con relación a una base de referencia para cada cultivo.

Cuando se tienen objetivos múltiples se hace necesario jerarquizar estos objetivos de acuerdo a alguna escala de valores. En algunos casos puede ser posible ir satisfaciendo los objetivos en secuencia; en esta forma se aplicaría un criterio cada vez, lo cual simplifica la evaluación, pero puede alargar el proceso.

Entre los índices biológicos que se utilizan pueden citarse:

1. Biomasa total
2. Biomasa no comestible
3. Peso seco
4. Proteína
5. Carbohidratos
6. Grasa
7. Energía total
8. Eficiencia energética.

FITO 748/77

P0/se