

La evaluación agronómica de ensayos a nivel de finca

Jonathan Woolley*

Introducción

Con el ánimo de estimular la discusión, se ofrecerán algunas líneas de guía para el diseño experimental, la selección de lotes y la obtención de datos además de su análisis y presentación en forma concisa. Se presentarán algunos ejemplos de las dificultades que surgen durante el análisis de los ensayos a nivel de finca. Se pondrá énfasis en las decisiones necesarias durante el análisis a través de localidades de ensayos del mismo o diferente diseño experimental.

El diseño experimental como precondition de un buen análisis

Todo especialista en biometría asegura que es necesario un diseño experimental adecuado y una formulación correcta de las hipótesis para poder hacer un buen análisis. Por esta razón, se pone énfasis aquí en cuatro puntos que deben tenerse en consideración para la elección del diseño experimental a nivel de finca.

1. Debe haber una delimitación previa, en primera aproximación, del dominio de recomendación para, y dentro del cual se hacen los ensayos.

2. Debe haber una lista corta de componentes tecnológicos que solucionen factores limitantes además de una idea de sus posibles interacciones.

3. Debe haber una clara definición de la etapa de la investigación a nivel de finca a la cual corresponde cada ensayo. Diferentes ensayos de finca tienen diversos objetivos y por ende distintos diseños. Los objetivos van desde el apoyo a la investigación básica hasta la prueba de tecnología manejada por el agricultor. En el programa de frijol del CIAT se usa un marco conceptual formado por una serie de etapas propias de la investigación a nivel de finca, de las cuales cinco se refieren a la de ensayos agronómicos (figura 1). Este marco se fundamenta principalmente en los trabajos de CIMMYT (Byerlee & Collinson) 1980; Palmer, Violic & Kocher, 1980; Barnett, en imprenta). Usando este marco, se están haciendo investigaciones en el CIAT sobre diferentes estrategias tanto en diseños como en secuencias de ensayos de finca, además de actividades de caracterización de la situación del agricultor.

Las estrategias adoptadas pueden implicar el ejecutar varias etapas de la metodología simultáneamente o eliminar algunas de ellas, y estudiar la pérdida de seguridad en los resultados como consecuencia de estas modificaciones.

En la figura 2 se presenta un diagrama de flujo que ha sido modificado de un trabajo de Harrington (comunicación personal) y que permite decidir cuáles etapas se deben manejar en un momento determinado.

4. Debe haber una elección de suficientes y representativos lotes experimentales. Los lotes seleccionados para ensayos deben ser una muestra fiel del dominio de recomendación. Esta es una consideración clave en ensayos de finca, que frecuentemente está ausente en ensayos realizados en estaciones experimentales, donde quizás el ensayo se establece en una sola o pocas localidades por año, las

* CIAT, Cali, Colombia.

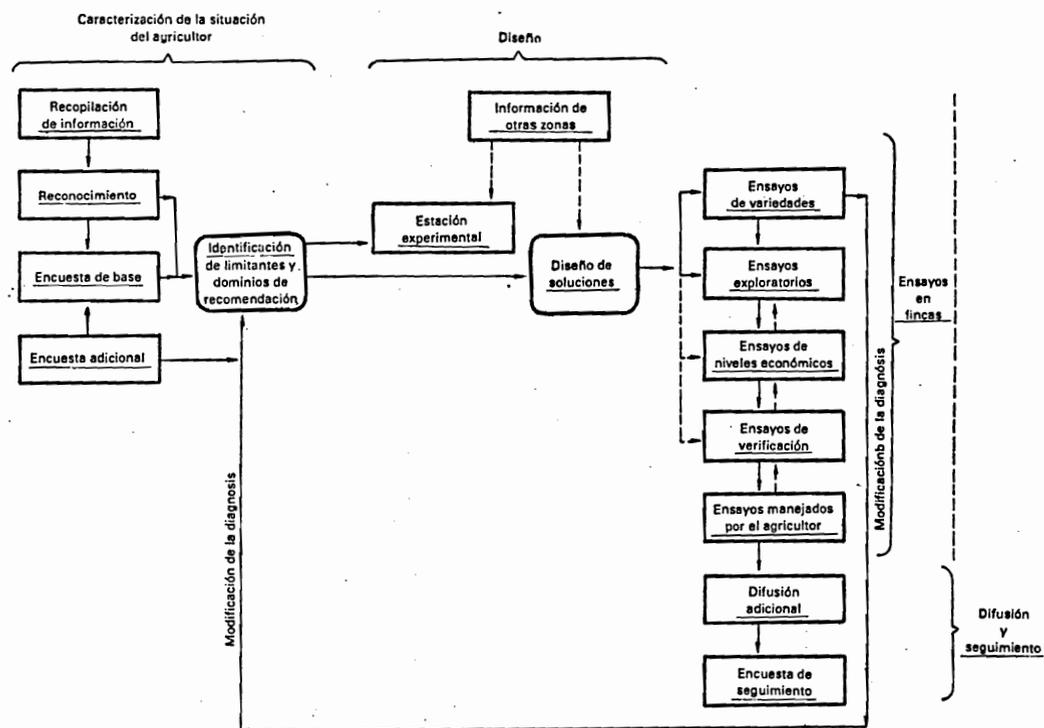
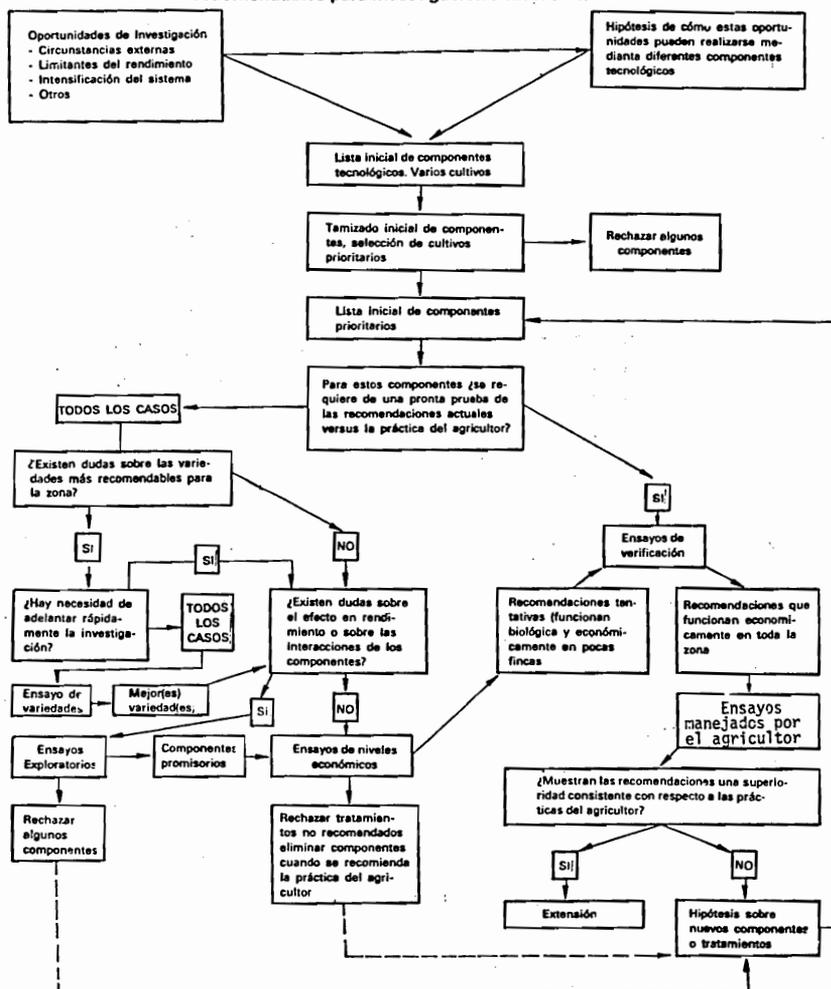


Figura 1 Proceso para la investigación en fincas según la metodología que el CIAT está probando. (Las líneas continuas señalan las alternativas normales, mientras que las discontinuas indican posibilidad.)

Figura 2
Diagrama de flujo para decidir los tipos de ensayos
recomendables para investigación a nivel de finca



cuales están predeterminadas por la ubicación de las estaciones experimentales. En este aspecto es quizás donde más han fallado los programas que tienen alguna orientación para trabajar en fincas, por lo menos según la experiencia del programa de frijol del CIAT en América Latina. Es frecuente que se siembre un solo ensayo por "zona" (que quizás debería incluir más de un dominio de recomendación por ser muy heterogéneo) y luego se extrapolen los resultados a toda la zona. A veces, el lote es seleccionado de tal forma, que no es representativo de los suelos o del manejo del agricultor en la zona.

Realmente los cuatro puntos arriba mencionados están interrelacionados. El número de tratamientos depende del número de factores y de la complejidad de las interacciones que se desea estudiar. Ellos a su vez dependen de cuál etapa de la investigación en fincas se encuentra bajo ejecución. La etapa determina en cuántas repeticiones por finca se debe hacer la investigación. El cuadro 1 indica las combinaciones que se están usando en el CIAT en este momento. Es útil mencionar la advertencia de Mead y Stern (comunicación personal) que un ensayo a nivel de finca que tenga muchos tratamientos y muchas repeticiones por dominio de recomendación, probablemente tiene sus hipótesis formuladas en componentes tecnológicos y sus interacciones (hasta un máximo de 16 quizás), en suficientes repeticiones (distribuidas entre 3 a 6 fincas) o se puede investigar un grupo más reducido de componentes, o grupos de componentes en mayor número de repeticiones por dominio (quizás de 8 a 30 repeticiones distribuidas entre 6 a 15 fincas). Se puede notar que los tipos de ensayos detallados en el cuadro 1 siguen esta meta.

Muchas veces se desea detectar la variabilidad en las respuestas de finca a finca (puede ser simplemente, la diferencia entre dos tratamientos, o una interacción más compleja). Otras veces, es suficiente tener resultados para un grupo de ensayos en un dominio de recomendación y estimaciones de la variabilidad y esta respuesta de finca en finca. En términos estadísticos, es la diferencia entre poder calcular errores estándares para los tratamientos en cada finca o un error estándar solamente a nivel de un grupo de ensayos. En caso de requerirse la información sobre cada finca es necesario tener:

- a) Repeticiones convencionales a nivel de cada finca, o
- b) Repeticiones escondidas, las que se representan en arreglos factoriales de tratamientos, para los factores e interacciones cuya estabilidad de finca a finca se desea investigar, o
- c) Si no hay repeticiones a nivel de finca, un número de fincas muy grande que permita, por análisis de conglomerados ("cluster analysis") estratificarlas en grupos distintos. Este último método no permite comparar fincas individuales, sino únicamente entre grupos de fincas. En análisis de conglomerados es útil para determinar si un dominio de recomendación debe subdividirse. Sin embargo, no es conveniente ejecutar este tipo de análisis con menos de 15 a 20 fincas, lo cual no es un método de mucha utilidad en la práctica de la investigación a nivel de finca.

La selección de lotes como precondición para una evaluación válida

La selección de lotes representativos para conducir un grupo de ensayos, es quizás el punto de mayor importancia en el diseño de la investigación a nivel de finca. Es especialmente crucial en los ensayos de parcela pequeña (de variedades, exploratorios, de niveles económicos) porque en este caso el número de fincas es menor, y la selección de una o dos fincas no representativas puede perjudicar mucho la utilidad de las estimaciones agronómicas y económicas para el dominio. Después de varias experiencias en CIAT se prefieren, no menos de tres lotes para un ensayo de parcela pequeña, aunque normalmente se emplean cuatro.

CUADRO 1: Diseños de ensayos de finca usados actualmente por el Programa de Frijol del CIAT

<i>Tipo de ensayo</i>	<i>Datos experimentales comunmente usados</i>	<i>No. de Tratamientos</i>	<i>Tamaño de parcela</i>	<i>No. de reps/finca típica* (m²)</i>	<i>No. de fincas/ dominio de recomendación</i>
Variedades	Bloques completos al azar (BCA)	Hasta 16	5-16	2	3-4
Exploratorio	BCA con estructura factorial (2 ⁴ común). Parcelas divididas o sub-divididas cuando hay uso de aspersiones químicas.	Hasta 16	5-16	1	4-6
				2	3-4
Niveles Económicos	BCA, o parcelas divididas, a veces con estructura factorial.	6-12	8-32	3.4	3-4
		Hasta 16	8-32	2	4-6
	BCA a veces con estructura factorial sencilla.	Hasta 6	60-120	1	8-15
Manejo del Agricultor	Asignación al azar de práctica tradicional y nueva práctica.	Hasta 6	30-60	2	6-15
		2	1000-3000	1	8-15

* Caso del frijol en Colombia, monocultivo o asociado con maíz. Puede variar para otros cultivos y tamaños de finca.

Antes de elegir el lote, se selecciona el agricultor, éste debe ser dedicado principalmente a la agricultura (excepto que no sea la norma para los agricultores de la zona) y estar muy interesado en el trabajo que se va a ejecutar. Es conveniente evitar la selección de una proporción alta de agricultores "líderes" por no ser ellos típicos de la zona, más bien se ha presentado el caso de no ser los más colaboradores ni los mejores agricultores, si no que su condición de líder está dada por sus actividades políticas.

El lote debe ser aquél en donde se pensaba sembrar el sistema de cultivos que se está estudiando, es decir, que se encuentre el momento cronológico correcto en relación con la rotación de cultivos. Si los agricultores usan varias rotaciones en la zona de trabajo, hay que considerar si esto requiere la consideración de más de un dominio de recomendación. El grupo de lotes seleccionados debe cubrir el rango de pendientes, texturas de suelo, colores de suelo y pedregosidad que desea mostrar como "típicos de la zona". Si existe la posibilidad de tener el resultado de los análisis de suelos de los lotes disponibles antes de asignarles ensayos de diferentes clases, es de gran ayuda, pero normalmente los servicios de laboratorio disponibles no pueden ofrecer tanta agilidad. El lote debe tener cierto grado de uniformidad, pero ciertos tipos de dominio (p. e. laderas) son por definición no uniformes. Es poco frecuente que todos los criterios se puedan satisfacer en un solo lote que sea, además, de acceso suficientemente fácil para economizar el tiempo de los investigadores.

Obtención de datos

Se presentan tres tópicos para discusión.

1. *Número de variables experimentales.* Varían mucho las prácticas sobre la cantidad de datos que se obtienen. Por un lado extremo, existe la consideración que propone que si se sembró el experimento, deben obtenerse todos los datos posibles. Este autor pertenece a otra tendencia quizás también un poco extrema. Normalmente recomienda, entre los datos agronómicos experimentales sobre frijol, obtener sólo las observaciones necesarias para calcular el rendimiento en grano al grado acostumbrado de humedad, el número de plantas establecidas después de germinar, y el número de plantas cosechadas. Los conteos de plantas normalmente no se procesan ni se reportan (con excepción de aquellos ensayos que involucran el tratamiento de semilla o cambios de densidad), pero permiten explicar después de la cosecha, cualquier rendimiento que parece extrañamente bajo o alto.

Se ha llegado a esta posición simple debido a que:

- a) Las observaciones de datos como altura de planta y componentes de rendimiento rara vez se usan en los informes.
- b) La decisión de obtener muchos datos acerca de un experimento en finca, trae como consecuencia la necesaria reducción en el número de fincas en que se experimenta, ello puede afectar la representatividad de los resultados.

Por supuesto que hay excepciones a esta posición simple:

■ Las mediciones de incidencia y severidad del ataque de patógenos o insectos, volcamiento de plantas, tiempo de madurez y sincronización de cosechas, y de vigor, pueden ser de mucha importancia, especialmente en ensayos de variedades.

■ Notas sencillas sobre el croquis de campo para indicar parcelas infértiles, inundadas o sujetas a sequía y daños por animales domésticos u otros, ayudan mucho para explicar posibles inconsistencias en los resultados.

■ Datos a nivel de cada finca, que ayudan a estratificar y a explicar las diferencias entre fincas. De ellos el análisis de suelos y pendiente deben tomarse para orientar la selección de lotes representativos (ver los comentarios en "selección de lotes"). La precipitación es importante, pero más difícil para medir. Necesita la colaboración del agricultor o un hijo y por ende su factibilidad varía mucho de zona a zona. De posible ayuda, pero de menor prioridad, serían aquellas observaciones sobre el manejo general del ensayo por el agricultor incluyendo el cultivo anterior.

2. *Evaluación por los agricultores.* Existe quizás la tendencia a considerar que la evaluación de un ensayo por el agricultor es parte de una evaluación socioeconómica, y por lo tanto que viene a considerarse, tal como se hace en este taller, después del análisis agronómico. Esto no es siempre cierto. Al cosechar lo experimentado, y ojalá en otras oportunidades durante su desarrollo, debe solicitarse la opinión del agricultor sobre los diferentes tratamientos. En general, existe una relación inversa entre la complejidad del diseño y la capacidad del agricultor para opinar acerca del ensayo. Para un número fijo de tratamientos es mucho más fácil para el agricultor evaluar un ensayo de arreglo sencillo que uno de arreglo factorial. Además un tamaño pequeño de parcela puede causar mayor desconcierto al agricultor que un número grande de tratamientos. Sin embargo el CIAT ha tenido buenas experiencias en la evaluación por agricultores de hasta 16 variedades en parcelas de apenas 7 a 16m².
3. *Estimaciones del rendimiento testigo de los agricultores.* Hay por lo menos tres diferentes formas de estimar dentro de un ensayo, el rendimiento obtenido por los agricultores de la zona en la época durante la cual éstos se manejan:
 - a) El rendimiento obtenido en el ensayo mismo bajo manejo del agricultor, pero con la dirección del investigador usando las prácticas promedias de agricultores de la zona.
 - b) El rendimiento obtenido dentro del ensayo usando la práctica del agricultor con quien se siembre el ensayo.
 - c) El rendimiento obtenido por el agricultor en un lote típico suyo de fin comercial.

El testigo (a) tiene el peligro de sobreestimar el rendimiento que verdaderamente obtienen los agricultores de la zona pero es muy práctico su uso en ensayos de parcelas pequeñas que se manejan en pocos lotes por dominio

de recomendación. La confiabilidad (b) depende de que los agricultores seleccionados usen prácticas típicas de la zona. Por eso, es más apropiado para ensayos que se repiten en un número grande de lotes. La ventaja del testigo (b) es que provee el mecanismo para obtener la participación directa del agricultor en la siembra de un ensayo. Permite también la prueba de tecnología bajo condiciones de manejo real de una población variable de agricultores en lugar de un manejo fijo estimado como promedio. Por estas razones se ha usado en el CIAT para estimar el rendimiento testigo en ensayos de verificación. La presencia de un testigo variable de finca a finca requiere cuidado al interpretar los datos de una serie de ensayos.

Hay investigadores en finca que recomiendan el uso tanto del testigo (a) como del (b) en cada ensayo, lo cual aumenta el número de tratamientos para evaluar.

Adicional al rendimiento testigo (a) y/o (b), debe tomarse el testigo (c) en un lote vecino de cada ensayo. Hacerlo en la práctica requiere buena organización para marcar de antemano el área y pedirle al agricultor su colaboración en cosecharlo aparte o dejarlo para los investigadores. Si no se hace, es común llegar a una cosecha y descubrir que los agricultores ya han terminado la primera en todos sus lotes.

Además de los testigos medidos en un sólo momento en el tiempo, existen las estimaciones de rendimiento de los agricultores encontrados en fuentes secundarias o hechas por ellos mismos durante las encuestas. Pueden ser de confiabilidad muy variable de zona a zona, pero es importante su comparación con las estimaciones directas hechas en los ensayos de cada año.

El proceso del análisis estadístico

Este autor cree que vale la pena un análisis de varianza de los datos obtenidos, aun cuando sea de los resultados de ensayos en etapas tardías como aquéllos de verificación o bajo manejo del agricultor. Sin embargo, en estos casos el análisis estadístico no debe ser el análisis más importante. El primer análisis y el que da mayor información, es una sencilla inspección de los promedios y de las diferencias entre ellos.

Hay instituciones en donde el procesamiento central de datos está lejos del sitio donde se planearon y manejaron los ensayos, y llega a ser una excusa para no disponer de pronto resultados después de una cosecha. La clave del éxito en un programa de investigación a nivel de finca es poder tener a mano los resultados de un año, tanto agrónomos como económicos al planificar las actividades para el año siguiente. Es deseable que donde se realiza el análisis centralizado de los datos, los mismos encargados locales calculen por lo menos un cuadro de promedios. El análisis estadístico únicamente asigna confianza a los promedios y a sus diferencias (no los cambia! (con excepción de diseños látice que no son apropiados a nivel de finca). Es conveniente también que los grupos locales de investigación a nivel de finca, dispongan de una calculadora o computador de bolsillo que les permita hacer su propio análisis de varianza.

Otros comentarios sobre el análisis de varianza son: Hay que decidir cuándo el dato de una parcela está tan distorsionado por las circunstancias que debe considerarse como "faltante". Este problema se presenta con mayor frecuencia en la investigación en fincas que en las estaciones experimentales debido a la mayor variabilidad que se encuentra típicamente en un lote experimental y al grado menor de control que se puede ejercer. Se sugiere el uso de los conteos de plantas es-

tablecidas o cosechadas para detectar parcelas afectadas por factores de extrema uniformidad del lote, y no tienen que ver directamente con el tratamiento aplicado. Sin embargo, hay que recordar que a veces el mismo tratamiento puede afectar el número de plantas (p.e. es un ensayo de tratamiento de semillas o uno de competencia entre genotipos de diferentes especies). Se dice "extrema" desigualdad porque cualquier lote en fincas tendrá alguna desuniformidad que no es posible controlar totalmente con las repeticiones. No es posible eliminar todas las partes no uniformes del ensayo, pues quedarían pocos datos. Más bien se controla la desigualdad, por medio de las repeticiones entre fincas.

— Un diseño experimental de bloques completos al azar, puede tener estructuras factoriales que abarcan todos o uno de los tratamientos. Cuando el subconjunto de tratamientos esté decidido antes de hacer el análisis, es permisible extraer los sub-conjuntos para repetir el análisis de varianza y determinar la significancia de los efectos factoriales.

— Por su naturaleza, los ensayos en fincas que tienen repeticiones en cada una, deben también efectuarse en varias fincas por cada ciclo de siembras. Esto proporciona la posibilidad de realizar un análisis de varianza combinado a través de localidades. Hay diferencias de opinión sobre la utilidad y necesidad de tales análisis. Un análisis de varianza combinado, indica si en general los efectos (efectos sencillos o interacciones), cambian significativamente de localidad a localidad. Este análisis combinado es demasiado resumido para indicar todas las diferencias que existen a veces en las respuestas entre un grupo de localidades. Es análogo el caso que puede presentarse a nivel de una sola localidad cuando el valor F indique que no existen diferencias significativas entre tratamientos en general, pero la prueba de rangos múltiples de Duncan detecta diferencias entre aquellos tratamientos con valores extremos.

Hay varias condiciones de heterogeneidad de errores entre localidades (Cochran y Cox, 1965) que pueden invalidar un análisis combinado. Además, cuando hay interacciones factoriales a nivel de cada localidad, es bastante complejo para los ingenieros agrónomos encargados de una zona obtener con calculadora de bolsillo los términos en un análisis de varianza combinado. Sin embargo, al existir la capacidad para ejecutarlo, interacciones que varían de finca a finca.

El análisis de varianza combinado debe verse entonces como una herramienta suplementaria. Es más importante desarrollar primero, en los integrantes de un equipo de investigación a nivel de finca, la habilidad para realizar comparaciones descriptivas de los promedios entre localidades, y los efectos en el análisis de varianza de cada localidad por separado.

Por supuesto, el problema no se da en ensayos que no tienen repeticiones a nivel de cada finca; en este caso las fincas son sinónimos de repeticiones.

Presentación de resultados: consideraciones generales

La habilidad para presentar los resultados en una forma fácilmente comprensible para el lector es al menos tan importante como la habilidad para hacer un análisis estadístico. A veces falta de tiempo disponible por parte del lector y del autor, implica que unos cuadros bien diseñados sean consultados con mucho más frecuencia que el texto que les acompaña.

Los tratamientos deben presentarse en orden de rendimientos (promedio de todos los ensayos) decrecientes o en otro orden lógico. En un ensayo de varieda-

des es poco útil presentar los tratamientos en orden de número de entrada, excepto que éste sea un orden constante de época a época.

El cuadro debe poder entenderse solo, sin el texto. Para ensayos a nivel de finca, preferiblemente debe identificarse cada localidad por el nombre del agricultor o de la finca, nombre de la aldea y altura sobre el nivel del mar. En el cuadro mismo, si hay espacio, o en otra hoja, deben especificarse detalles de las prácticas en cada finca.

Se debe hacer alguna indicación sobre la significancia estadística. Convencionalmente se recomienda error estándar (EE), diferencia mínima significativa (DMS) o letras para indicar rangos múltiples de significancia (p.e. prueba de Duncan), pero únicamente uno de ellos.

Letras de rangos múltiples aportan buena información pero llenan mucho el cuadro. La DMS es más concisa y en la práctica los errores de significación debidos a la no aplicación de factores de rangos múltiples, son de relativamente poca importancia para el número de tratamientos y el grado de precisión necesaria a nivel de finca. La decisión de incluir la DMS, y no solamente letras de rangos múltiples, se puede justificar a veces, si hubiera interés del lector en calcular valores de la DMS para otros niveles de significación.

¿Qué nivel de significación debe usarse? El 10% o hasta el 20% puede justificarse en lugar del 5% convencional para estaciones experimentales, especialmente cuando se presentan datos con solamente dos repeticiones por finca como parte de un ensayo manejado en varias de éstas.

Cuadro 2A. Ensayo de Fertilización. Funes 1983B. Rendimiento Frijol (kg/ha)

N	P (elemento) kg/ha	S Calvache Totoral 2250 m	BC Lasso Terreros 2220 m	G Camargo La Cuchilla 2230 m
0	0	805 cd	442 a	1727 a
0	28.4	1227 abcd	444 a	2058 a
0	56.8	1303 abcd	384 a	1927 a
32.5	0	876 bcd	563 a	1429 a
32.5	28.4	1056 abcd	323 a	1816 a
32.5	56.8	1136 abcd	684 a	1549 a
65	0	779 d	551 a	1497 a
65	28.4	1101 abcd	414 a	1925 a
65	56.8	1383 abcd	367 a	1854 a
Testigo Agricultor (100 kg/ha 13-26-6 al voleo)		1184 abcd	317 a	1571 a
Testigo Agricultor (var. Argentino kg/ha 13-26-6 al voleo)				
PROMEDIO		1511 a	409 a	1437 a
DMS (5%)		1189	461	1645
		497	442	686

Todos los tratamientos con excepción del último, son con la variedad Ancash 66. El método de ampliación es abajo de la semilla en la siembra cuando no está notado al contrario.

Cuadro 2B. Ensayo de Fertilización. El Tambo 1983B. Rendimiento Frijol (kg/ha)

N	P	M Sarria Guayabal 1360 m	M Ceballos Las Cochas 1480 m	n Córdoba Las Cochas 1460 m
		(Testigo agricultor)		
0	0	250 b	310 ab	16 b
0	28.4	228 b	331 b	23 b
0	36.8	262 b	258 ab	23 b
32.5	0	248 b	344 ab	93 ab
32.5	28.4	347 ab	519 a	72 ab
32.5	56.8	296 ab	465 ab	109 ab
65	0	225 b	369 ab	52 b
65	28.4	343 ab	407 ab	161 a
65	56.8	461 a	478 a	56 b
Testigo Agricultor (sin fertilizante)		286 ab	478 a	3 b
PROMEDIO variedad Nima)		307	390	49
DMS (5%)		147	238	89

Todos los tratamientos con excepción del último son con la variedad ICA L-23. El método de aplicación es abajo de la semilla en la siembra.

Rendimientos en la misma finca seguidos por la misma letra no difieren significativamente al 5% según la prueba de Duncan. Un grupo de tratamientos adicionales con diferentes métodos de aplicación, elementos secundarios y elementos menores no se reporta para propósitos del ejemplo.

Muchos ensayos a nivel de finca se hacen en sistemas de cultivos múltiples. Si es un sistema en el cual los cultivos se afectan mutuamente, se deben presentar a nivel de tratamiento los rendimientos de todos los cultivos. Si es un sistema donde un cultivo se siembra cerca de la madurez fisiológica de otro (p.e. los relevos de maíz-frijol arbustivo y semi-voluble en Centroamérica) se debe presentar el rendimiento del primer cultivo por lo menos en forma global, quizás se necesitará para el análisis económico.

Los gráficos de adaptabilidad a través de localidades, son una forma bien resumida e interpretable de presentar datos a través de localidades con rendimientos promedios diferentes. Convencionalmente se usan para ensayos de variedades, pero se sugiere igualmente para evaluar el comportamiento de tratamientos que incluyen otras prácticas agronómicas.

Se puede ilustrar la utilidad de este tipo de presentación, con el ejemplo de un ensayo de variedades de frijol manejado en monocultivo en 12 fincas de Honduras en 1982. En promedio, las 7 variedades nuevas pueden diferir muy poco entre ellas y del testigo local (cuadro 2). Un análisis gráfico de regresión lineal según el método de Eberhart y Russell (1966) indica sin embargo, diferencias en la reacción de las líneas en localidades poco favorecidas, a pesar de tener promedios muy similares (figura 3). La línea Copan se recomendaría para fincas que caen en el 50% menos favorecidas, mientras la línea Yojoa serviría en las 3 (25%) más favorecidas. Si se buscara una sola variedad bien adaptada, sería atractiva la línea de Acacias 4. La gráfica de adaptabilidad demuestra mucho mejor que el cuadro, las ventajas de "Acacias 4"

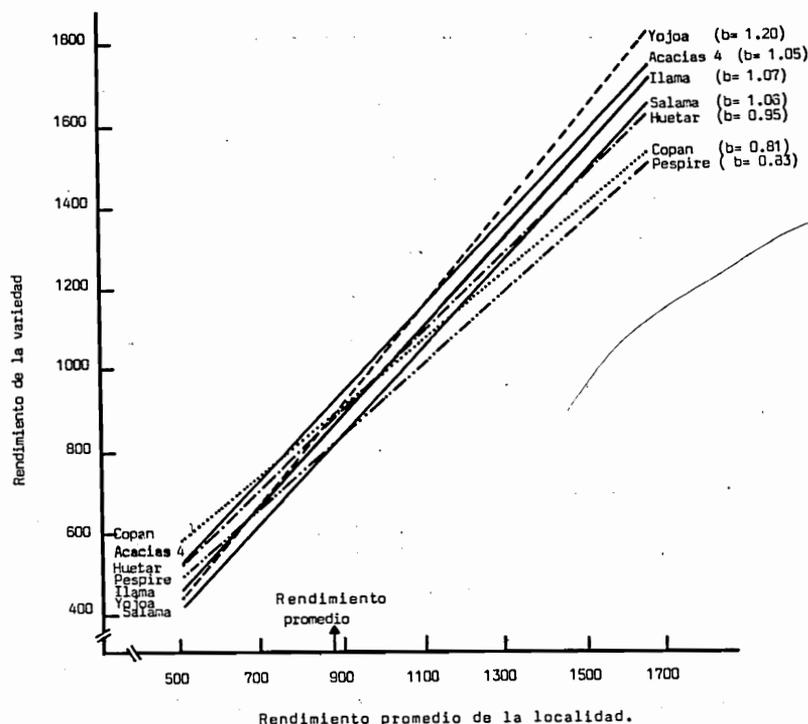


Figura 3. Análisis de estabilidad en doce ensayos de finca, Honduras 1982

Presentación de resultados: caso especial de ensayos con arreglos factoriales de tratamien- tos

Al diseñar los tratamientos, los arreglos factoriales son muy útiles para investigar la complejidad de los cambios que los nuevos componentes tecnológicos pueden causar en un sistema de cultivos. Sin embargo, implican a su vez mayor complejidad en el análisis agronómico y cierta dificultad para derivar datos para el análisis económico. Se sugieren los siguientes pasos para la presentación de resultados de un diseño con arreglo factorial.

- a) Presentar un cuadro con los promedios y con el nivel de significancia de las diferencias entre tratamientos, sin combinar los que tienen el mismo factor presente.
- b) Presentar el resumen de la significancia de los efectos en el análisis de varianza finca por finca, y en el análisis combinado si se ha hecho. En arreglos de únicamente dos factores, esta información normalmente se puede incorporar al cuadro del próximo paso c.
- c) Eliminar los factores que en el análisis combinado (o en la mayoría de las fincas si no se hace el análisis combinado) no resultaron significativos, ni esta-

CUADRO 3: Rendimiento de frijol (kg/ha) del ensayo regional de finca SRN-CIAT, Honduras 1982.

Variedad	Localidades												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Promedio
Acacias 4	1769	796	959	785	730	1550	480	540	680	1056	1105	557	917
Pespire	1450	905	1096	664	750	1310	470	400	830	1048	1222	624	897
Copan	1325	824	892	554	920	1610	530	660	720	989	1092	640	889
Huetar	1892	701	988	601	950	1250	520	530	990	711	841	607	882
Yojoa	2025	647	939	559	800	1460	530	550	630	972	996	474	882
llama	1638	517	1000	400	790	1440	610	500	590	1212	1099	469	855
Salamá	1538	430	852	406	980	1550	430	480	620	853	1049	552	812
Testigo local	1442	0	1063	610	880	1030	500	430	620	872	1082	631	763
Promedio	1635	602	974	572	850	1400	509	511	710	953	1061	570	

ban presentes en interacciones significativas, haciendo un cuadro con un número reducido de células. Habrá que decidir qué nivel de significancia tomar en cuenta: típicamente en ensayos de 6 repeticiones por dominio de recomendación se usa el 10% en el CIAT.

- d) En la presentación de datos agronómicos, no causa problemas el concepto de presentar rendimientos como promedio de todos los tratamientos que tienen un factor a cierto nivel. Sin embargo causa dificultades de cálculo de costos en el análisis estadístico. Como ejemplo se considera el cuadro 3 que resultó de un ensayo exploratorio ²⁴ en dos repeticiones por no ser significativo ni entrar en interacciones significativas, como se describe en el paso (c). Los valores que aparecen en el cuadro son el promedio de rendimientos a densidades alta y baja. Sin embargo, las dos densidades tienen diferentes costos de establecimiento (en este caso, cantidad de semilla usada). En el CIAT, se acostumbra entonces, hacer una corrección de rendimientos hacia el nivel bajo de los factores eliminados, antes de hacer el análisis económico con los costos del nivel bajo. La corrección se explica abajo del cuadro 4. Otra discusión de este problema se encuentra en Harrington (1982).
- e) Las interacciones de primer o segundo orden (2 o 3 factores juntos) que muestran significación, se pueden analizar por medio de cuadros o gráficas desde el punto de vista agronómico si no se ha hecho ya como parte de los cuadros en el paso (c).

La eliminación de localidades

La eliminación de una localidad de un grupo de ensayos, para un dominio de recomendación debe hacerse solamente en casos extremos. Si se hace para cualquier localidad con rendimientos bajos hay peligro de sobreestimar los rendimientos promedios, o el efecto de nuevos componentes tecnológicos, que podría perjudicar mucho el valor del análisis económico.

Únicamente debe hacerse la eliminación:

- (a) si los efectos están totalmente distorsionados por una desuniformidad exagerada del lote. Sin embargo debe recordarse, que no se deben eliminar localidades simplemente porque no muestran diferencias entre tratamientos. Puede ser

**CUADRO 4: Datos de Rendimiento (kg/ha) para análisis económico.
Promedio de tres Fincas. Ensayo exploratorio EVFD, El Tambo,
1982B.**

		<i>Limoneño</i>	<i>Variedad BAT 1235</i>
Sin fertilización	Sin control de enfermedades	696	536
	2 aplicaciones Benlate + Dithane	955	731
300 kg/ha 13-26-6	Sin control de enfermedades	1002	800
	2 aplicaciones Benlate + Dithane	1142	993

DMS (5%) con o sin cambio de control de enfermedades = 256

Ajuste para efecto principal que no alcanzó
significancia

D = + 10kg/ha

Ejemplo de ajuste:

Rendimiento calculado de Limoneño, sin fertilización,
sin control de enfermedades, $16.7 \text{ semillas/m}^2 = 696 - 10 = 686 \text{ kg/ha}$.

Rendimiento calculado de Limoneño, sin fertilización,
sin control de enfermedades, $33.3 \text{ semillas/m}^2 = 696 + 10 = 706 \text{ kg/ha}$.

En ausencia de datos completos sobre maíz, asumir rendimiento constante de 916
kg/ha en todos los tratamientos.

Rendimiento promedio frijol de los agricultores quienes manejaron este ensayo = 697
kg/ha.

una evaluación válida de los prospectos de una nueva tecnología, encontrar que
cause respuesta en unas fincas, pero no en otras; o (b) si el rendimiento promedio
de una localidad está tan bajo (o tan alto) que indica que el muestreo de fincas se
hizo incorrectamente. La necesidad de practicar este tipo de eliminación se reduce,
en ensayos que se repiten en varias fincas.

Los puntos (a) y (b) se ilustran en el ejemplo del cuadro 4. Un investigador
entrenado en estación experimental quizás se inclinaría a eliminar el cálculo de los
promedios en el cuadro 4A, la finca de B.C. Lasso por tener rendimientos bajos
con pequeñas diferencias (no significativas) entre ellos. Sin embargo esta finca no
está fuera del rango rendimientos obtenidos en la zona, más bien modera los
rendimientos altos de las otras localidades. Debe entonces incluirse al calcular el pro-
medio. En el cuadro 4B de otra zona de trabajo, la finca de N. Córdoba muestra
diferencias significativas entre tratamientos, que parecen tener alguna relación
explicable con los tratamientos aplicados. Sin embargo, cae fuera del rango de
rendimientos típicos de la zona (el lote se inundó, problema que pasó a muy po-
cos lotes en aquella época) y debe eliminarse del cálculo del promedio.

La decisión de hacer la eliminación por razón (b) requiere un conocimiento previo del rendimiento típico de la zona. Como un ejemplo: en un grupo de cuatro ensayos de variedades, uno produjo rendimientos nulos debido a condiciones muy adversas de suelo. De una inspección de los campos de los agricultores de la zona, se notó que aproximadamente un lote en cada cuatro se había perdido totalmente en aquel año y época. Entonces no debe eliminarse el ensayo al calcular los promedios para la zona. Sin embargo, si el ensayo de rendimientos nulos hubiera sido uno de dos apenas, así se hubiese debido eliminar.

Sumario de efectos

Si se elige establecer a la vez ensayos en diferentes etapas del marco metodológico, como se propone en la discusión de estrategias, es posible obtener de diferentes ensayos, una estimación del efecto del mismo componente tecnológico. Por ejemplo, el efecto de cambiar la variedad de agricultor por una nueva línea promisoría, podría medirse en las mismas siembras (a) en un ensayo de variedades manejado bajo condiciones del agricultor, (b) en un experimento exploratorio de arreglo 2⁴ donde los tratamientos asignados a cada variedad son todas las ocho posibles combinaciones de tres factores agronómicos a dos niveles cada uno, y (c) en un experimento de niveles económicos para evaluar fertilizantes donde el experimento se ejecute principalmente con la línea nueva, pero éste se compara con la variedad tradicional mediante la presencia de un testigo del agricultor.

Es posible también que los mismos efectos se midan en diferentes años, épocas de siembra o zonas, los cuales hay que combinar o comparar.

Se ha encontrado que una forma de hacerlo muy resumida y fácilmente comparable entre años y ensayos es usar un cuadro de efectos principales (cuadro 5 es un ejemplo). Al hacer estos cuadros, los valores de un efecto, medido en diferentes tipos de ensayo en el mismo año, se suman ponderando por el número de fincas en el cual se ejecutó cada tipo de ensayo. En contraste, los promedios entre años, épocas o zonas se hacen dando igual peso a cada observación. El resumen de efectos principales es especialmente útil cuando existen pocas interacciones entre factores, como general y curiosamente ha sido el caso hasta el momento en la investigación del programa de frijol de CIAT a nivel de finca en Colombia. El cuadro debe incluir una línea para anotar las interacciones que estén presentes.

Pocas personas son capaces de memorizar los rendimientos de varios tratamientos en diferentes ensayos. El cuadro de efectos, sin embargo, permite al agrónomo recordar el rendimiento actual de los agricultores, y el aumento que cada componente tecnológico puede ofrecer. Permite hasta predecir rendimientos con diferentes combinaciones de componentes, aunque la interacción de componentes siempre reduce la efectividad de la predicción.

Los efectos se expresan en rendimientos numéricos y no en "porcentaje de aumento". Así son sumables, y además se evitan las distorsiones y confusiones que resultan del uso de diferentes bases al calcular porcentajes. Un agricultor aumenta su rendimiento de 100 kg/ha. a 400 kg/ha. y ha experimentado "un aumento del 300%", pero su aumento en ingreso bruto es igual al que lo aumenta solamente en 30%, de 1000 kg/ha a 1300 kg/ha. Conservar los rendimientos numéricos equivale a la práctica de la mayoría de agrónomos, de no hacer transformaciones en los rendimientos antes del análisis de varianza, aun si varían mucho. Los cuadros de efectos permiten también calcular el retorno marginal factor por factor, que puede servir como un primer tamizado económico de componente, y es válido como un análisis final cuando no hay interacciones significativas.

El problema de variación entre años

Se termina esta discusión presentando un problema que ha causado preocupación entre los investigadores a nivel de finca en el CIAT. La agilidad y rapidez de un proceso de investigación en fincas que pasa por etapas, depende de poder confiar en los resultados de un solo año para poder progresar a etapas más avanzadas el siguiente año. El proceso en esta forma depende de la repetibilidad de año a año de los efectos medios. El hecho de tener varias fincas en cada año de las de las investigaciones tiende a reducir el problema, pero el sentido común dice que los limitantes a la producción de un cierto sistema de cultivos en una zona, pueden cambiar de año a año. Los limitantes cambian de sequía a enfermedades, de inundación a heladas, especialmente en las condiciones marginales y variables en que cultivan los clientes la investigación a nivel de finca.

El problema es análogo al interno de predecir la estabilidad de una variedad (es decir, su rendimiento de año con año en el mismo lugar), a través de medir su adaptabilidad (su rendimiento en un solo año a través de ensayos multilocacionales). Por la experiencia de los fitomejoradores parece que estabilidad y adaptabilidad no son fenómenos iguales (Everson *et al.*, 1978).

En el cuadro 5 se comparan datos de dos años de experimentación en dos épocas de siembra en una zona de altura media de Colombia donde el frijol arbustivo se produce en asociación intercalada con maíz. El segundo semestre (época 'B') tiene lluvias más confiables que el primero (época 'A') y por ende, mayor producción de frijol. Con base en los efectos en 10 ensayos manejados en 1982B, sobre una nueva línea (ICA L-23), fertilización química (el paso más atractivo en las prácticas culturales) y sobre una tecnología completa (que incluía todos los factores agronómicos y económicamente efectivos en 1982B) con la inclusión de fertilización además del control de enfermedades e insectos foliares, y del tratamiento de la semilla con un fungicida. Los promedios de los efectos en 1983B fueron totalmente diferentes a los de 1982B (cuadro 5). El efecto de la nueva variedad cambió unos 340 kg/ha. en relación al cultivo local, de positivo a negativo. El efecto de fertilización era ton poco como para ser considerado antieconómico, y el grupo de tres prácticas fitosanitarias también fracasaron. Únicamente una nueva variedad de maíz se mostró promisorio con un efecto similar en los dos años aunque en un solo ensayo por año hubo poca oportunidad para investigar sobre maíz en esta zona por una restricción de número de fincas disponibles.

Curiosamente, a pesar de que 1983A y 1983B fueron diferentes en cuanto a condiciones climáticas y por lo tanto de rendimiento, la magnitud de los efectos observados fue más uniforme entre estas épocas que entre las épocas 1982B y 1983B.

Por ser un dominio de recomendación relativamente limitado con relación al área geográfica, se ha establecido un máximo de 10 a 12 ensayos por año. También la pérdida de ensayos (10%) ha sido mayor que en otras zonas de Colombia. Los problemas entonces no son típicos como los que se han encontrado en todas las zonas de trabajo CIAT-ICA en Colombia.

Los resultados se presentan aquí como un ejemplo, de lo peor que podría encontrar un programa nacional con recursos limitados para investigación a nivel de finca. Comparaciones preliminares entre años en tres otras zonas de Colombia, indican un problema de repetición menos grave en una zona, y pocos problemas de este tipo en las otras dos. Cuando están cosechados estos ensayos se espera reportar el problema en más detalle.

CUADRO 5: Comparación de efectos principales entre épocas y años para El Tambo, Norte de Nariño, Colombia.

	Cambio en rendimiento frijol kg/ha (no. de ensayos)		
	Promedio 1982B	Promedio 1983B	Promedio 1983A
Cambios de variedad frijol			
Calima a ICA L-23	—	—28(3)	—
Nima a ICA L-23	+ 231(2)	—112(4)	—113(4)
Nima a PVAD 359	—	+125(2)	—
Fertilización con 300 kg/ha 13-26-6			
Control enfermedades foliares con benomyl + manzineb (2 veces)	+ 186(4)	+	+ 21(6)
Control insectos foliares con azodin (1 vez)	+ 169(1)	+	+ 55(6)
Remojo de semilla con benomyl	—54(1)	—88(5)	—
Cambio de variedad de maíz			
Morocho blanco a MB 311	+ 564(1) maíz 0 frijol	+ 945(1) maíz + 91 frijol	—
Rendimiento Agricultores			
Frijol	537	907	252
Maíz	800	2100	300
Interacciones detectadas			
	Ausentes	Ausentes	Ausentes

* Por razones de la disponibilidad de capital de los agricultores se evaluó con 200 kg/ha. Aquí el efecto aparece ajustado linealmente.

+ Combinación de los 2 efectos: —259 (3)

Una solución parcial cuando no se detecta una repetición podría ser la de repetir una etapa mientras se entra a la siguiente. Comúnmente se hace ya con los ensayos de variedades, quizás los ensayos exploratorios también necesiten dos años de datos. Repetición entre años implica sin embargo, una mayor división de recursos entre etapas, y una pérdida de rapidez en el proceso de investigación a nivel de finca.

Agradecimientos

Agradezco a mis colegas el Dr. Douglas Pachico y los ingenieros Oscar Herrera, Jorge Alonso Beltrán, Carlos Adolfo Luna, y Silvio Hugo Orozco su ayuda en desarrollar los conceptos y ejecutar los ensayos aquí descritos. Los doctores Raúl Moreno y Oswaldo Voysest dieron un valioso consejo para clarificar la presentación en castellano.

Bibliografía

- Barnett, J.B. (in press). *Procedimiento de la investigación a nivel de fincas*. CIMMYT, México.
- Byerlee, D., M. Collinson, et al. 1980. *Planificando tecnologías apropiadas para agricultores. Conceptos y procedimientos*.
- Cochran, W.G. y G.M. Cox., 1965. *Diseños experimentales*, Trillas, México.
- Eberhart, S.A. y W.A. Russell, 1966. "Stability parameters for comparing varieties". *CROP SCI.* 6: 36-40.
- Everson, R.E., J.C. O'Toole, R.W. Herdt, W.R. Coffman, H.E. Kauffman 1978. *Risk and uncertainty as factors in crop improvement research*. IRRI Research. IRRI Research Paper 15.
- Harrington, L., 1982. *Excercises in the economic analysis of agronomic data*. Working Paper, CIMMYT, México.
- Palmer, A.F.E., A.D. Violic, y F. Kocher. 1980. "Capacitación en servicio en el CIMMYT sobre investigación agronómica para la producción de maíz". Documento presentado en la Reunión Anual de la Sociedad Americana de Agronomía, Detroit, Michigan, Noviembre 30 a Diciembre 5, 1980. CIMMYT; México.