

SB
327
.M315

C-2



7903

=====
M ~~A~~ N U A L D E C A P A C I T A C I O N E N B I O M E T R I A
P A R A L A E X P E R I M E N T A C I O N E N F R I J O L
=====

- . Jorge A. Escobar Girón
- . María Cristina Amézquita
- . Jaime Eduardo Muñoz *Flores*
- . James A. García
rbe

Agosto
1981

PRESENTACION

Este Manual pretende ser una versión mas completa y con ejemplos reales del "Manual estadístico para la experimentación en frijol" utilizado durante los años de 1978 a 1980. Tiene finalidad de uso en las conferencias de Biometría (4 sesiones de una hora y media cada una) de los CURSOS DE ADIESTRAMIENTO EN INVESTIGACION PARA LA PRODUCCION DE FRIJOL (Phaseolus vulgaris L.), que periódicamente ofrece el CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL en sus instalaciones de Palmira Valle-Colombia.

Este Manual consta de cinco capítulos; en los tres primeros se desarrollan aspectos básicos sobre la conceptualización, clasificación y planeación de los experimentos y la técnica de parcela, con ejemplos obtenidos de trabajos cooperativos entre Biometría y Agronomía de frijol. En el capítulo cuarto se presentan las características y se ejemplifica el análisis de los diseños experimentales de mas frecuente uso; el capítulo quinto se resume la organización del programa de frijol del CIAT.

En ningún momento se pretende sustituir los libros clásicos de diseño experimental y métodos estadísticos y por el contrario se sugiere a los participantes en los cursos consultar, entre otros: Cochran y Cox, Snedecor y Cochran, Steel y Torrie, a fin de ampliar los conceptos y mejorar la comprensión y manejo de los procedimientos estadísticos.

Aunque se reconoce el papel que desempeña la estadística en el análisis de fenómenos aleatorios, se tiene suficiente claridad respecto a la importancia de poseer un adecuado cuerpo teórico de conocimientos sobre el problema o fenómeno en estudio, y la necesidad de profundizar en la interpretación biológica de los resultados, aspectos sin los cuales ninguna dosis de estadística puede ser realmente útil.

LOS AUTORES

Agosto/81

C O N T E N I D O

<u>CAPITULO</u>	<u>T E M A T I C A</u>	<u>PAG</u>
PRIMERO	CARACTERIZACION DE LA EXPERIMENTACION AGRICOLA	1
	1.1 La estadística en la investigación agrícola	1
	1.2 La investigación y el método científico	2
	1.3 Conceptualización y clasificación de los experimentos	8
	1.3.1 Qué es un experimento? Por qué se realizan experimentos?	8
	1.3.2 Clasificación de los experimentos	11
	1.3.2.1 Por la estructura de los tratamientos	11
	1.3.2.2 Por el grado de conocimiento adquirido	17
	1.3.2.3 Por la disciplina involucrada, el lugar y el grado de control	20
SEGUNDO	PLANEACION DE LOS EXPERIMENTOS	23
	2.1 Aspectos generales-orientación del capítulo	23
	2.2 Consideraciones en relación al enfoque experimental	25
	2.3 Consideraciones sobre los elementos básicos del experimento	27
	2.3.1 En relación a las entradas	27
	2.3.2 En relación a las unidades experimentales	29
	2.3.3 En relación a las respuestas	30
	2.4. Consideraciones en relación al análisis de la información	32
TERCERO	TECNICA DE PARCELA	35
	3.1 Heterogeneidad del suelo-Ensayos de uniformidad (aspecto teórico)	35
	3.1.1 La heterogeneidad del suelo	35
	3.1.2 Los ensayos de uniformidad	37

CAPITULO	TEMATICA	PAG
	3.1.3 Manejo de la información	38
	3.1.3.1 Mapas de fertilidad	39
	3.1.3.2 Índice de heterogeneidad del suelo	39
	3.1.3.3 Tamaño de parcela y número de repeticiones	42
	3.2 Ejemplos	44
	3.2.1 Un ensayo de uniformidad con frijol arbustivo	44
	3.2.2 Ensayos de uniformidad con frijol voluble (monocultivo y asociación)	47
	3.3 Efecto de bordes (aspecto teórico)	52
	3.4 Ejemplos	53
	3.4.1 Efecto de bordes en frijol arbustivo	53
	3.4.2 Variedades de distinto hábito de crecimiento	55
	3.4.3 Efecto de bordes en frijol voluble (asociado con maíz)	57
	3.5 Comentarios finales	59
CUARTO	DISEÑOS EXPERIMENTALES DE MAS FRECUENTE USO	62
	4.1 Aspectos básicos	62
	4.2 Diseño completamente al azar	67
	4.2.1 Características generales	67
	4.2.2 Ejemplo Microbiología-Inoculación con cepas de <u>Rhizobium</u> en el invernadero	68
	4.2.3 Comentarios	71
	4.3 Diseño de bloques completos al azar	72
	4.3.1 Características generales	72
	4.3.2 Ejemplo Caso No. 1 - Vivero Internacional de Rendimiento y Adaptación de Frijol	74
	4.3.3 Comentarios	78

CAPITULO	T E M A T I C A	PAG
4.3.4	Ejemplo Caso No. 2 - Economía - Validación de tecnología	80
4.3.5	Comentarios	83
4.4	Diseño Cuadro latino	86
4.4.1	Características generales	86
4.4.2	Ejemplo Alternativas para intercalar Maíz+Frijol	88
4.4.3	Comentarios	93
4.5	Diseño de Parcelas Divididas (y subdivididas)	93
4.5.1	Características generales	93
4.5.2	Ejemplo Entomología - Pérdidas por Emposca	95
4.5.3	Comentarios	100
4.6	Diseño de Franjas Divididas (y subdivididas)	104
4.6.1	Características generales	104
4.6.2	Ejemplo Poblaciones y Arreglos espaciales en la siembra de la asociación Caupí+Yuca	106
4.6.3	Comentarios	111
4.7	Diseño en Látice	113
4.7.1	Características generales	113
4.7.2	Ejemplo Vivero Internacional de Rendimiento y Adaptación de Frijol Voluble (VIRAF) en asociación o relevo con maíz	115
4.7.3	Comentarios	118
QUINTO	ORGANIZACION DEL PROGRAMA DE FRIJOL	121
5.1	Problemática del cultivo	121
5.2	Objetivos y estrategias del programa de frijol en CIAT	122
5.3	Desarrollo y evaluación de germoplasma	124
5.4	Sistema de información de frijol (SIFRI)	130

TABLAS	TITULO	PAG
1	Materiales más eficientes en suelos ácidos en CIAT-Quilichao. 1979 A.	7
2	Algunas características climáticas y edáficas de las localidades empleadas en la investigación en frijol del CIAT.	21
3	Estadísticas obtenidas para algunos arreglos en cuanto a tamaño y forma de parcela, en base a rendimiento (gr./parcela)	46
4	Tamaños de parcela ¹ (en m ²) calculados para distintas combinaciones de número de repeticiones y diferencias a detectar como porcentaje de la media.	48
5	Rendimiento promedio de parcelas con y sin bordes laterales y de cabecera, sobre 25 variedades de frijol de igual hábito de crecimiento	54
6	Rendimiento promedio de parcelas con y sin cosechar bordes laterales y de cabecera, sobre 36 variedades de frijol voluble en asociación con maíz.	58
7	Peso seco parte aérea de plantas de frijol (Variedad Porrillo Sintético) inoculadas con cepas de <u>Rhizobium</u> en Jarros de Leonard	69
8	Rendimiento de Frijol (ton/ha) sin protección, con ajuste de humedad al 14%. IBYAN, Grano Negro	76
9	Experimento IBYAN grano negro (sin protección) Resumen para archivo	81
10	Rendimiento de Frijol Diacol Calima en fincas de agricultores en la zona de Restrepo (V) Colombia	82

<u>TABLAS</u>	<u>T I T U L O</u>	<u>PAG</u>
11	Rendimiento, costos de producción e ingresos netos de los tratamientos empleados en Restrepo(V), con la variedad Diacol Calima. 1978 B	85
12	Producción de frijol, en términos de rendimiento equivalente, expresado en Kg/ha	91
13	Rendimientos (ton/ha) de 15 materiales de frijol con y sin protección contra <u>E.kraemeri</u>	98
14	Reducción porcentual de la producción por Empoasca y rendimiento promedio sin protección en 15 materiales de frijol	103
15	Efecto de poblaciones y arreglos espaciales en la asociación Yuca+Caupí. Peso total de raíces en Yuca y peso de grano al 14% de humedad en Caupí	107
16 D	Características del diseño de Látice (5x5) empleado en tres ciclos de IBYAN - Eficiencia Relativa	119
17	Fuentes de resistencia a enfermedades específicas del frijol	131
18	Ejemplificación de la información codificada de resultados en Ensayos Preliminares	132

FIGURAS	TITULO	PAG
1	Esquematzación del proceso de selección ("screening") de materiales tolerantes a suelos ácidos	6
2	Ilustración de tres alternativas para el diseño de tratamientos sobre una misma región de exploración	16
3	Mapa de fertilidad de suelos obtenidos mediante promedios móviles, con datos provenientes de ensayos de uniformidad con frijol, en dos lotes experimentales de CIAT-Palmira	31
4	Relación entre tamaño de parcela, número de repeticiones y diferencia a detectar como porcentaje de la media	49
5	Relación tamaño de parcela, número de repeticiones y diferencia a detectar como porcentaje de la media para frijol voluble	51
6	Esquema de la parcela experimental-ensayo sobre efecto de bordes en variedades de frijol de distinto hábito de crecimiento	56
7	Plano de campo sugerido para el Vivero Internacional de Rendimiento y Adaptación de Frijol	77
8	Ubicación espacial de los quince materiales en base al rendimiento con y sin protección	102
9	Esquema del plano de campo en un diseño de Franjas Divididas (F.H.= arreglo espacial; F.V= Densidad de población)	108
10	Plano de Campo de un Vivero Internacional de Rendimiento y Adaptación de Frijol (diseño Láttice triple (5x5)	116
11	Desarrollo de germoplasma y esquema de evaluación del Programa de Frijol del CIAT	125

CAPITULO PRIMERO

CARACTERIZACION DE LA EXPERIMENTACION AGRICOLA

1.1. La estadística en la investigación agrícola

De manera general en los diferentes campos de la ciencia se pueden distinguir dos tipos de fenómenos:

- Determinísticos: Siguen leyes \longrightarrow aplicables a todos y cada uno de los hechos que caen bajo su acción, pudiéndose hacer predicciones sin temor a equivocarse. Los casos clásicos de la mecánica en general y la astronomía en particular, brindan sorprendentes ejemplos (predicción con años de anticipación de los eclipses de sol o de luna).
- Estocásticos:
↑ Sujetos a variaciones aleatorias, en los cuales para establecer su regularidad es necesario disponer de grandes masas de datos. El resultado del lanzamiento de una moneda, la duración de la vida de las personas o la producción de frijol en una serie de parcelas, sirven de ilustración a manifestaciones de este tipo de fenómenos.

La estadística, una de las ramas aplicadas de la matemática, pretende establecer ciertas regularidades en los datos provenientes de las manifestaciones del fenómeno aleatorio o en las mediciones realizadas sobre un conjunto de individuos que poseen características comunes. Se ocupa del estudio de las leyes de probabilidad y las distribuciones que pueden ser aplicadas, como modelos aproximativos, a fenómenos estocásticos. Sirva de ilustración el modelo de la curva normal o Campana de Gauss, ampliamente utilizada para caracterizar la distribución de variables continuas en datos biológicos, como el rendimiento o la longitud de las vainas.

Como ha sido señalado por Finney D. J., el propósito de la estadística es "proporcionar una base objetiva para el análisis de problemas en los cuales los datos se apartan de las leyes exactas de la casualidad". En el campo de la experimentación agrícola la estadística permite probar las hipótesis planteadas por el investigador y concluir con razonable seguridad si las diferencias observadas en los promedios pueden ser atribuidos a los tratamientos aplicados (diferencias significativas) o si por el contrario son atribuibles a la variabilidad no controlada o no controlable, es decir a variaciones aleatorias (diferencias no significativas).

1.2. La investigación y el método científico

La investigación como proceso de búsqueda y acumulación de conocimientos, es una actividad intelectual y creativa, la cual se lleva a cabo en el laboratorio, en la biblioteca o en el campo; procura descubrir nuevos hechos, evaluándolos e interpretándolos a la luz de los conocimientos existentes. Siendo un proceso dinámico de profundización con el tiempo, el grado de comprensión aumenta, lo cual permite revisar conclusiones aceptadas previamente, formular nuevas interpretaciones (teorías), y hacer aplicaciones de los resultados obtenidos.

La investigación agrícola presenta algunas peculiaridades tales como (2):

- Depende de una gran diversidad de disciplinas científicas con interdependencia, lo cual presupone planeación y trabajo de equipo.
- Tiene carácter regional, por la amplia variedad de condiciones ecológicas,
- Es de carácter internacional, lo cual facilita el intercambio de información, personal capacitado, material genético, etc.
- El material biológico (plantas y animales) presenta alta variabilidad en sus respuestas e interacción con el ambiente, lo cual dificulta la interpretación y generalización de resultados.

El conjunto de las etapas que se siguen en la investigación para descubrir nuevos hechos o principios generales, se denomina método científico; es este en esencia la aplicación de la lógica (teoría) y la objetividad (experimentación) el mejor entendimiento de un fenómeno.

El proceso investigativo implica la existencia de un problema que necesita ser resuelto; su conceptualización requiere un adecuado cuerpo teórico de conocimientos. La literatura menciona una serie de etapas graduales que integran el método científico, las cuales se ilustran tomando como ejemplo el trabajo de M. Thung (29) relacionado con la selección de materiales de frijol por su eficiencia en el uso de bajos niveles de fósforo y la tolerancia a toxicidad de aluminio y manganeso. Se resalta de paso el papel de la experimentación en el proceso investigativo, en la etapa de verificación objetiva de las hipótesis planteadas.

1. Observación del fenómeno: (etapa sensorial) Existen millones de hectáreas en México, Centro América, Colombia y Brasil, con rendimientos menores de 600 kg/ha; buena parte de estas áreas presentan condiciones adversas de suelo con pH inferior a 6,0 y baja saturación de bases.
2. Planteamiento del problema: En áreas con condiciones adversas de suelo las plantas exhiben escasos desarrollos radiculares y serias limitaciones para el llenado de vainas. Entre otros factores la caracterización del suelo arroja:
 - Altos contenidos de Aluminio (y Manganeso) tóxicos para el frijol
 - Bajos contenidos de fósforo, alta capacidad de fijación
3. Establecimiento de hipótesis: Para dar "solución" tentativa al problema pueden surgir a nivel general dos vías:
 - 1- Mejoramiento de las condiciones de suelo. Implica la aplicación de enmiendas (encalado) para mantener el aluminio intercambiable por debajo de los niveles tóxicos y la aplica-

ción de fertilizante fosfórico que supla las necesidades nutricionales.

Los altos costos de los insumos, su transporte y aplicación, en zonas casi siempre marginales, hacen esta solución poco viable (antieconómica), por lo cual en adelante solo nos referiremos a la segunda alternativa

2- Selección y mejoramiento de plantas, Se plantea como hipótesis que: existe germoplasma evolucionado en condiciones adversas de suelo, que cumple una o reúne ambas de las siguientes condiciones deseables de tolerancia a:

- Altos contenidos de aluminio intercambiable, con adecuada respuesta al encalamamiento
- Bajos niveles de fósforo con buena respuesta al fósforo adicional

4. Verificación objetiva de la hipótesis: Esta etapa se lleva a cabo mediante la experimentación en invernadero o campo, sometiendo a prueba una amplia gama de materiales genéticos bajo condiciones de suelo que reflejen el problema y permitan efectuar la selección en la dirección deseada.

Esta etapa incluye fases como:

- Planeación del experimento, Conlleva tomar una serie de decisiones, entre otras: selección del sitio experimental (CIAT-Quilichao); establecimiento de los niveles críticos o condiciones de estrés (lo cual puede requerir uno o varios ensayos exploratorios) bajo las cuales se medirá la respuesta del germoplasma, en términos de rendimiento; la selección del diseño experimental, que para el caso considerado emplea un arreglo de parcelas divididas con parcelas mayores (condiciones de estrés) en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones, estando las subparcelas constituidas por los materiales genéticos, probándose por semestre cerca de 200 materiales.

- Ejecución del experimento. Debe realizarse conforme lo planeado, siguiendo el diseño experimental seleccionado y procurando en su montaje y manejo la mayor uniformidad posible: densidad de población, aplicación del riego, adecuado control de malezas y de ser necesario la protección contra insectos o enfermedades.
- Análisis e interpretación de los resultados. La técnica estadística a emplear depende del tipo de datos que se recolecten y del tipo de hipótesis que se desea probar. En el presente caso se analiza el rendimiento (Kg/ha) para probar el efecto de las condiciones de estrés, las diferencias entre medias de producción de los materiales ensayados y la interacción entre el germoplasma y las condiciones de estrés.

de nuestro ejemplo, no se debe
Para la interpretación de los resultados, perder de vista que se trata de un proceso de selección en el cual, para el conjunto de materiales ensayados, interesa identificar aquellos que reúnan condiciones deseables de tolerancia, es decir que pertenezcan a la intersección ($A \cap B$) de los subconjuntos:

A: materiales tolerantes al aluminio con respuesta a la cal

B: materiales eficientes en la utilización del fósforo con respuesta adecuada a su aplicación

En la Figura 1 se esquematiza el proceso de selección de materiales tolerantes a suelos ácidos y en la Tabla 1 se ilustran resultados particulares obtenidos en 1979A. Se puede observar que sólo los materiales Iguazú y G 5059 cumplen simultáneamente ambos requisitos; esto indica que las plantas eficientes y que responden al P no son necesariamente tolerantes a toxicidades moderadas de Al y Mn (9, 29).

5. Replanteamiento del problema. El proceso investigativo es dinámico y los resultados logrados en cierta disciplina (SUELOS), influyen en otros o sirven de base a un nuevo proceso (FITOMEJORAMIENTO).

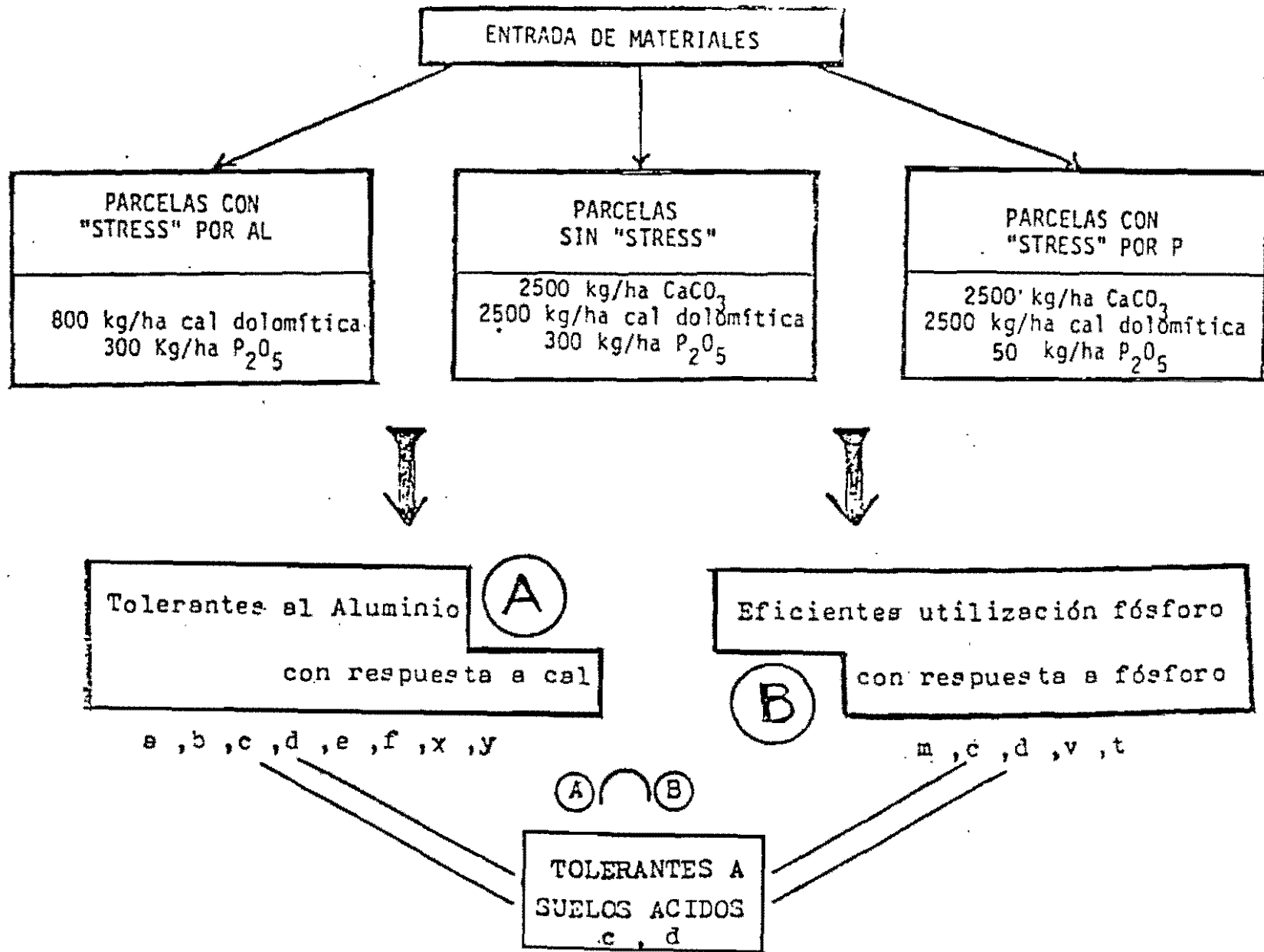


Figura 1. ESQUEMATIZACION DEL PROCESO DE SELECCION ("screening") DE MATERIALES TOLERANTES A SUELOS ACIDOS.
ADAPTADO DE THUNG, M. (29)

Tabla 1. Materiales mas eficientes en suelos ácidos en CIAT-Quilichao. 1979 A

Tolerantes al Aluminio con respuesta a cal				Eficientes con respuesta a fósforo			
Material	Color de Semilla	RENDIMIENTO (Kg/Ha)		Material	Color de Semilla	RENDIMIENTO (Kg/Ha)	
		Sat. 65% Al	Sat. 5% Al			50 Kg P ₂ O ₅	300 Kg P ₂ O ₅
G 5059**	Crema	1203	2712	G 4682	Rojo	2151	2942
IGUAZU**	Negro	1119	2811	IGUAZU**	Negro	2118	2811
BAT 21	Bianco	1112	2482	G 5059**	Crema	1963	2712
BAT 94	Café rosado	1028	2403	G 5201	Negro	1937	2935
BAT 1186	Café	996	2320	G 3800	Negro	1928	2549
Río Tibaji	Negro	994	2611	BAT 51	Negro	1899	2530
Lote 10				BAT 27	Rojo	1836	2783
G 4464	Negro	963	2294	BAT 57	Negro	1826	2566
G 3627	Negro	950	2503	BAT 31	Café rojizo	1822	2807
BAT 74	Negro	945	2630	BAT 26	Rdsado	1780	2751
G 3781		943	2377				

A ∩ B MATERIALES TOLERANTES A SUELOS ACIDOS : IGUAZU Y G 5059

Fuente: Adaptado de: CIAT - Informe Anual 1979, cuadros 9 y 10, páginas 27 y 28 (9)

Los materiales sobresalientes (asumiendo la intersección un conjunto no vacío) serán tenidos en cuenta como progenitores para el trabajo de mejoramiento en la dirección de tolerancia a suelos moderadamente ácidos.

1.3. Conceptualización y clasificación de los experimentos

1.3.1. Qué es un experimento? - Por qué se realizan experimentos?

Los experimentos son considerados una de las etapas dentro del proceso denominado método científico, mediante la cual se somete a verificación objetiva la (s) hipótesis planteada (s). A diferencia de la simple observación, implica control y modificación de las condiciones naturales.

Diferentes conceptos se formulan para definir los experimentos, como por ejemplo:

- Búsqueda planeada tendiente a lograr nuevos hechos, confirmar o rechazar resultados previos; la búsqueda servirá de ayuda en la toma de decisiones de carácter técnico o administrativo, tal como recomendar una variedad, procedimiento o pesticida (28).
- Proceso por el cual se trata de obtener información que aumente los conocimientos sobre un área específica de la ciencia, que sirve de base para someter a prueba una o varias hipótesis específicas, mediante la observación y medición de variables, cuando se han modificado las condiciones naturales (20).

Lograr nuevos hechos (datos) o medir y registrar observaciones, sirven poco y no superan la etapa sensorial (sentidos) si un cuerpo teórico de conocimientos (razón) no sirve de base y guía al sentido, en la observación e interpretación de los hechos. La FORMACION TEORICA en un determinado campo científico permite IDENTIFICAR y abordar mediante la experimentación PROBLEMAS RELEVANTES, suministrando bases tanto para la PLANEACION

DEL EXPERIMENTO, como para el ANALISIS DE INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS

Desde el punto de vista operativo conviene visualizar el experimento como un sistema de comunicación entre el hombre y la naturaleza,

Se pretende mediante una serie de estímulos (tratamientos) que se aplican a una serie de unidades experimentales (parcelas), observar, evaluar y analizar las diferentes respuestas en el crecimiento, desarrollo y producción,

El sistema de comunicación tiene como elementos estructurales * (16):

- Los estímulos, variables independientes, entradas o tratamientos, por medio de los cuales se promueven cambios. Son ellos los portadores de mensajes cifrados mediante los cuales interrogamos a la naturaleza, previa definición de objetivos específicos.
- Las unidades experimentales o entidades físico-biológicas sobre las cuales se aplican los tratamientos. En la agricultura están constituidas por conjuntos de materas, jarras de Leonard, cajas de petri o parcelas en el campo, de acuerdo a la naturaleza específica de cada experimento.
- Las respuestas, salidas o variables dependientes, que como mensajes de retorno emite la naturaleza. El técnico debe recolectar una serie de variables, unas cuantificables en sistemas convencionales (producción en kg/ha; altura en centímetros), y otras en sistemas más o menos arbitrarios, como la escala de daño empleadas por entomólogos y fitopatólogos**.

** En Noviembre/79 en CIAT-Palmira, se efectuó una reunión de trabajo sobre enfermedades de frijol, con la participación de 50 fitopatólogos procedentes de 24 países. Sugirieron los asistentes la necesidad de diseñar una escala internacional de evaluación de enfermedades, para facilitar el intercambio de información (10).

* Está en proceso de elaboración una Unidad Auditutorial en la cual esta temática es desarrollada en forma específica

Las respuestas sirven de base para el análisis e interpretación de los resultados experimentales y para tomar decisiones de carácter técnico o administrativo. Se evalúan unas directamente sobre las unidades experimentales (por ejemplo, rendimiento) y otras en forma derivada, como por ejemplo:

- INDICE DE COSECHA: Peso de semilla/peso materia seca total
- RENDIMIENTO EQUIVALENTE (en cultivos asociados)
 $\text{Rend. frijol} + \text{Rend. yuca} \times (\text{precio yuca/precio frijól})$
- INDICE DE USO EFICIENTE DE LA TIERRA (en cultivos asociados)
 $\frac{\text{Rend. frijol asociado}}{\text{Rend. frijol monocultivo}} + \frac{\text{Rend. maíz asociado}}{\text{Rend. maíz monocultivo}}$

Aunque cada técnico tiene sus razones particulares por las cuales realiza un experimento, de manera general éstas pueden agruparse de acuerdo a Plutchik (23) en:

- Determinar la relación entre dos o más variables:
Por ejemplo, estudiar para diferentes materiales de frijol, la relación entre la cantidad de fósforo agregado y la producción, bajo determinada condición de suelo y clima.
- Ampliar el campo de estudio de una variable:
Por ejemplo, estudiar en la fijación de N, el efecto de diferentes combinaciones de temperatura diurna y nocturna, en cultivos de frijol inoculados con diferentes cepas de Rhizobium.
- Aumentar la confiabilidad de los resultados logrados:
Por ejemplo, los experimentos relativos a la validación de tecnología en fincas de agricultores, en los cuales se someten a prueba crítica el germoplasma mejorado y las prácticas agronómicas de manejo, generadas en los centros experimentales.

- Someter a prueba una teoría:
Por ejemplo, los experimentos de Stanley Miller para someter a prueba la teoría de A. I. Oparin sobre el origen de la vida.

1.3.2. Clasificación de los experimentos

Existen variadas clasificaciones de los experimentos y diferentes etapas del proceso experimental, cuya diversidad pone de manifiesto la complejidad de la investigación agrícola y refuerza la necesidad del trabajo en equipo.

1.3.2.1. Por la estructura de los tratamientos

Los tratamientos son los medios que utiliza el hombre para formular sus preguntas; la selección de ellos guarda estrecha relación con los objetivos del estudio. La simplicidad o complejidad de la estructura de las entradas de origen a clasificaciones según el número de factores que la constituyen; se considera con estructura de entrada simple a los experimentos nulifactor y unifactor y experimentos de estructura más compleja a los factoriales, aumentando el grado de complejidad en la medida que se incrementa el número de factores estudiados simultáneamente.

De acuerdo a este criterio los experimentos se pueden clasificar en:

- i) Nulifactor (o ensayos de uniformidad): Son experimentos de caracterización de las tendencias de fertilidad de un lote o de efectos sistemáticos en un invernadero. En ellos no se aplica tratamiento alguno o mejor, todas las unidades reciben exactamente el mismo tratamiento. La respuesta del cultivo de interés, cosechado en pequeñas unidades, sirve de base para caracterizar la fertilidad del lote. En esencia utilizamos la planta como un indicador biológico de las condiciones naturales.
- ii) Unifactor: Son experimentos en donde el interés se centra en el estudio de un solo factor (cualitativo o cuantitativo), manteniéndose constante los demás factores de la producción.

En el caso de factores cuantitativos no existe un ordenamiento por magnitud y cada uno de sus elementos o atributos se denomina genéricamente como modalidades del factor, constituyendo éstas los tratamientos. Por ejemplo:

- Las diferentes variedades en un estudio de resistencia a Empoasca.

$V_1, V_2, V_3, \dots, V_k$

Modalidades del factor GERMOPLASMA

- Las diferentes fuentes de nitrógeno en el estudio sobre el uso de fertilizantes.

Urea, sulfato de amonio, nitrato de amonio

Si el factor en estudio es cuantitativo puede ordenarse en base a su magnitud y controlarse (medirse) con adecuada exactitud. Las diferentes magnitudes que constituyen los niveles o dosis del factor definen los tratamientos a emplear, como sucede con la cantidad de gallinaza aplicada (0, 1.0, 1.8 ton/ha) o la cantidad de enmienda usada en su suelo ácido (0, 0.8, 1.5, 4.0 ton cal agrícola/ha).

El número y distribución de los niveles dentro del rango a cubrir con el factor se denomina diseño de tratamientos. Por ejemplo, al estudiar el efecto del fósforo sobre la producción de frijol en el rango 0 a 200 kg P_2O_5 /ha, se tienen múltiples alternativas en cuanto al cubrimiento de la región (3 a 5 niveles como casos más frecuentes) y la distribución de ellos. Esta guarda relación con el tipo de función que se espera relacione las entradas (tratamientos) con las respuestas. Por ejemplo para el caso de cinco niveles considérese las siguientes tres alternativas:

A:	X	-----	X	-----	X	-----	X	-----	X	
	0		50		100		150		200	
B:	X	--X---	X	--X-----					X	
	0	25	50	75					200	
C:	X	-----	X	---	X	---	X	-----	X	
	0				75	100	125			200

iii) Factoriales: Implica el estudio simultáneo de dos o más factores, lo cual permite evaluar el comportamiento diferencial de la respuesta a un factor, bajo la presencia y ausencia de otro (interacción).

El estudio simultáneo de dos o más factores para promover cambios, da origen a los denominados arreglos factoriales ^{que pueden ser} completos o parciales cuando se utilizan todas o algunas de las combinaciones de los niveles (o modalidades) de los factores en consideración; cada combinación empleada recibe el nombre de tratamiento. Por ejemplo:

<u>FACTORIAL</u>	<u>DESCRIPCION</u>
3^2	Estudia las nueve combinaciones de dos factores, con tres niveles (o modalidades) cada factor.
2^3	Estudia las ocho combinaciones de tres factores a dos niveles (o modalidades) cada factor.
3×4	Estudia las doce combinaciones resultantes de dos factores, el primero con tres niveles (o modalidades) y el segundo con cuatro.
$(2 \times 3 \times 4) - 3$	De las 24 combinaciones posibles de tres factores con dos, tres y cuatro niveles (o modalidades), se han eliminado tres de ellas, ensayándose un total de 21 tratamientos (factorial parcial).

Para precisar terminología considérese el siguiente arreglo, en donde se estudia como entradas dos factores cualitativos, el primero con tres y el segundo con cuatro modalidades, para un total de doce tratamientos:

FACTORIAL 3 x 4

F A C T O R (2)	C e p a s ↓ Rh.	MODALIDADES +	FACTOR (1)	MATERIAL	GENETICO
			P-498	P-566	P-635
		CIAT 57	(1)	(2)	(3)
		CIAT 137	(4)	(5)	(6)
		CIAT 161	(7)	(8)	(9)
	CIAT 632	(10)	(11)	(12)	

El tratamiento (1) consiste en la inoculación del material P-498 con la Cepa CIAT 57,, y el tratamiento (12) consiste en la inoculación del material P-635 con la cepa CIAT 632. El experimento se realizaria bajo condición controlada manteniendo constante la temperatura diurna a 25°C y la nocturna a 15°C. Las unidades experimentales estarian constituidas por jarras de Leonard y se evaluaría como respuesta o salida del sistema de comunicación: reducción de acetileno, peso seco de planta, % de N en las hojas.

Únicamente cuando los factores en estudio son cuantitativos, los tratamientos se pueden visualizar como puntos de un espacio. Su número y distribución espacial se denomina DISEÑO DE TRATAMIENTO o MATRIZ EXPERIMENTAL, cuyos elementos están constituidos por las coordenadas del punto en el espacio cartesiano (14).

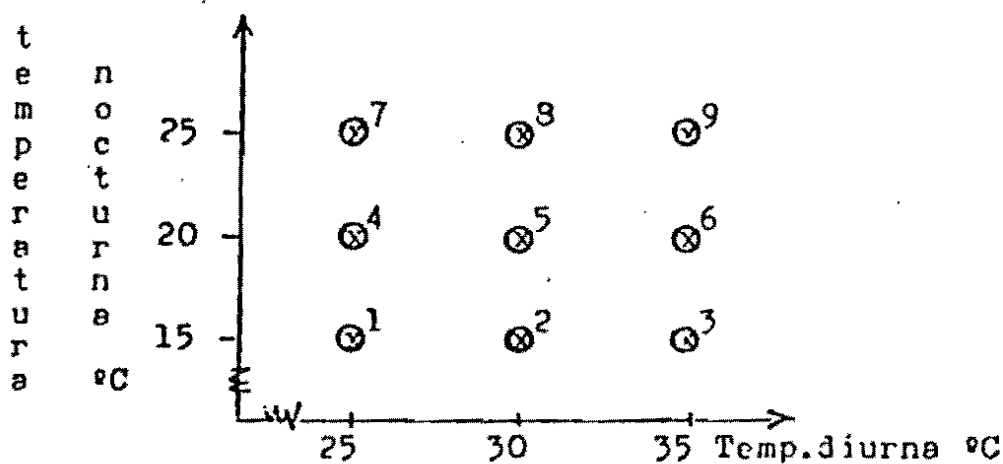
Como ilustración considérese el caso del estudio de dos factores cuantitativos:

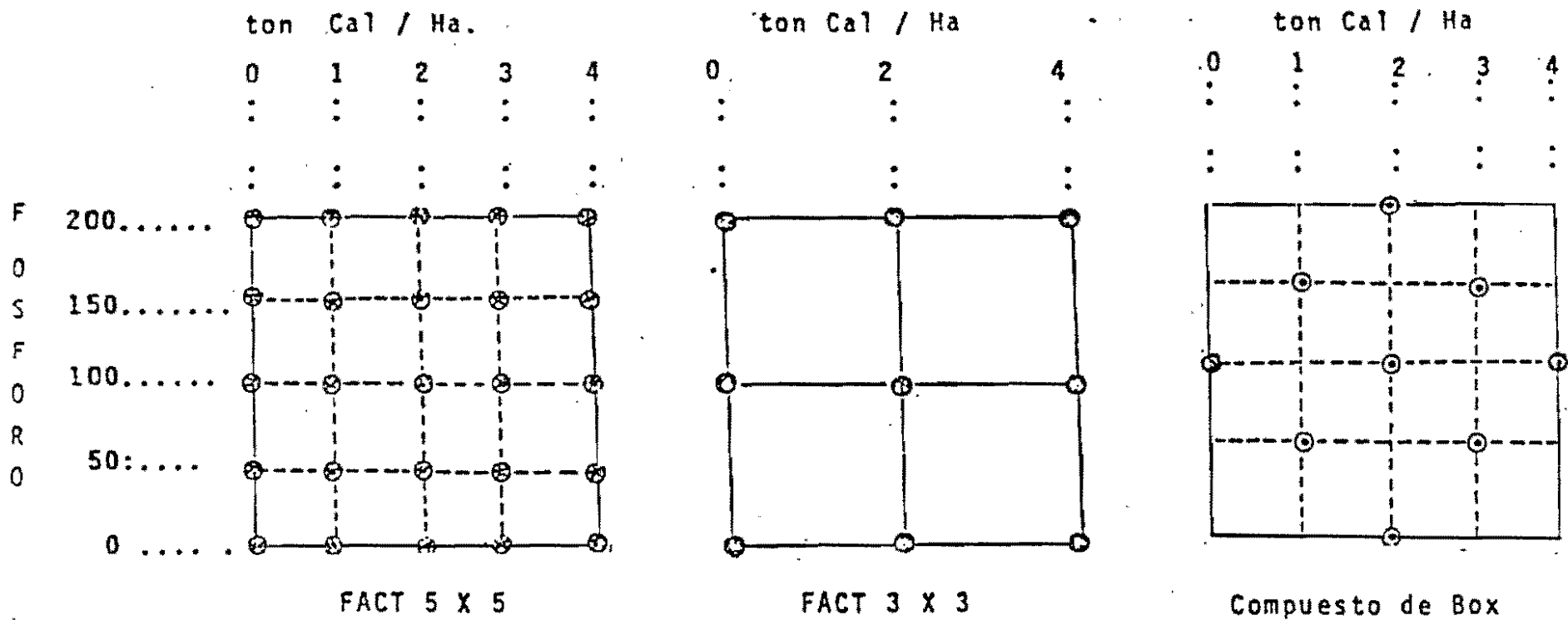
X_1 = Cantidad de cal agrícola, variando dentro del rango 0 a 4 ton/ha.

X_2 = Cantidad de fósforo, variando entre 0 y 200 kg P_2O_5 /ha

En la figura 2 se presentan tres alternativas o diseños de tratamiento, Los dos primeros difieren en el número de tratamientos (25 vs. 9) y los dos últimos difieren exclusivamente en la distribución de los nueve puntos dentro de la Región de Exploración, compartiendo cinco tratamientos. Sólo algunos de los diseños de tratamiento tienen nombre específico como: diseño San Cristóbal, Matriz Puebla, Cuadrado Doble, Compuesto de Box (16).

La reducción del número de tratamientos para generar un factorial parcial puede hacerse en base a criterios matemáticos (factorial 5 x 5 Vs. Compuesto de Box) o a criterios agronómicos. Por ejemplo, en caso de estudiar el efecto de la temperatura sobre la fijación de nitrógeno, variando la temperatura diurna entre 25 y 35°C y la nocturna entre 15 y 25°C, podría generarse en primera instancia el siguiente factorial completo:





DISEÑO DE TRATAMIENTO: (Número y distribución de los puntos sobre la región de exploración).

FIG.2.- Ilustración de tres alternativas para el Diseño de tratamientos sobre una misma región de exploración).

Algunas combinaciones son de escaso interés agronómico, al ser de poca utilidad como sería el tratamiento 7 (sin ninguna variación entre temperatura diurna y nocturna) y el tratamiento 3 (excesiva variación entre temperatura diurna y nocturna), pudiéndose emplear un factorial parcial $(3 \times 3) - 2$.

1.3.2.2. Por el grado de conocimiento adquirido

En el proceso investigativo el grado de comprensión y profundización aumenta paulatinamente, no estando todos los experimentos al mismo nivel, ni se requiere el mismo grado de precisión. De manera general pueden distinguirse grupos tales como (23 , 28).

- Caracterización: En esta fase el número de tratamientos es muy grande y no se está interesado en la comparación; se desea precisar el comportamiento del material genético y evaluar características morfoagronómicas del germoplasma (días a emergencia, color del hipocotilo, grosor del tallo, días a floración, duración de la floración, etc.). Por ejemplo, la Unidad de Recursos Genéticos evalúa semestralmente cerca de 2.000 materiales de frijol y se toman aproximadamente 30 características en cada uno de ellos; la caracterización incluye una prueba especial para conocer la reacción al fotoperíodo (6).

- Preliminares: Se pretende establecer derroteros para futuros trabajos, definir aspectos metodológicos o precisar mejores sistemas de evaluación de las respuestas. El número de tratamientos suele ser elevado, con pocas repeticiones o tamaño de parcela pequeño.

Por ejemplo, en el tamizado de materiales ("Screening") realizado en CIAT-Quilichao para la selección por eficiencia en el uso de bajos niveles de fósforo y tolerancia a la toxicidad de Al y Mn se prueban cerca de 200 materiales (clasificados por hábito de crecimiento y color de la semilla) con tres repeticiones y parcela de un surco de tres metros para cosechar los dos metros

centrales (29).

- Críticos: Para su planeación se tienen mayores elementos de juicio, por la acumulación previa de información. Se está interesado en someter a prueba hipótesis específicas o medir la ganancia después de un proceso de selección. El número de tratamientos suele ser más reducido, aumentando el número de repeticiones y el tamaño de parcela.

Sirva de ilustración algunos experimentos realizados para medir el avance del mejoramiento de frijol por resistencia a Empoasca kraemeri (ensayo de rendimiento para F_4). También lo ensayos en fincas de agricultores, para someter a prueba la nueva tecnología generada por los centros experimentales. En estos últimos se emplean de 5 a 10 tratamientos, parcelas de $15 m^2$ y más de 10 fincas (repeticiones).

- Demostrativos: Su finalidad no es la de generar sino la de transmitir conocimiento, teniendo por tanto finalidad didáctica. Quien realiza el experimento conoce de manera general los resultados que se presentarán.

Sirva de ilustración los experimentos realizados por los extensionistas para cosechar durante los días de campo o los que se efectúan durante los Cursos de Adiestramiento para enseñanza de los participantes.

Los programas nacionales de mejoramiento en frijol presentan secuencias experimentales, con etapas definidas que reciben variadas denominaciones (por ejemplo: Prueba preliminar o de descarte, Ensayo avanzado, Prueba regional, etc.), en las cuales en la medida que se reduce el número de materiales probados se aumenta el nivel de exigencia en cuanto al tipo de planta, resistencia a enfermedades, nivel de producción, etc.

Para el caso del Programa de Frijol en el CIAT se tiene definida una grada-

ción del proceso experimental para desarrollar y evaluar germoplasma (7,11 12).(*)



- VEF - Vivero equipo de frijol (sin repeticiones)

El germoplasma que presenta rasgos valiosos, las líneas promisorias o las selecciones provenientes de programas nacionales, entran a un sistema uniforme de evaluación del programa, juzgándose simultánea, pero separadamente por disciplinas y para las principales enfermedades y plagas, la mayor cantidad de material. Periódicamente se revisan las exigencias al germoplasma a participar en los viveros (por ejemplo, todo material debe ser resistente al virus del mosaico común) y se mejoran los criterios de evaluación.

- EP - Ensayos preliminares. Es un vivero cerrado, en el sentido de que todos los materiales incluidos han sido seleccionados en base al nivel anterior. Son experimentos con repeticiones y replicados en CIAT-Palmira y Popayán. Además de rendimiento se evalúan otras características (tolerancia a la sequía, reacción a enfermedades, contenido de proteínas, etc.).

- IBYAN (VIRAF) - Vivero Internacional de Rendimiento y Adaptación de Frijol (Para materiales arbustivos o volubles en asociación o relevo con maíz). Es la tercera prueba en la secuencia y la primera que se realiza a nivel internacional, con ensayos desde 1976. Los materiales CIAT evaluados en los IBYAN (VIRAF) son seleccionadas en los EP, pero los experimentos incluyen además testigo internacionales y testigos locales. Los intereses de los programas nacionales y las exigencias del mercado local, indicó la conveniencia de separar los viveros internacionales por color y tipo de grano.

(*).- Para mayores detalles véase Capítulo Quinto

↑
1.3.2.3. Por la disciplina involucrada, el lugar y el grado de control.

Cada disciplina del programa realiza una serie de ensayos, en donde se manejan por separado diferentes problemas (resistencia a enfermedades: roya, antracnosis, virus del mosaico dorado; fijación de nitrógeno, resistencia a Empoasca, tolerancia a sequía, etc.). Si bien es cierto ^{que} el factor común es el material genético de frijol, cada disciplina (fitopatología, microbiología, entomología, fisiología, etc.), maneja sus propios factores y desarrolla metodologías particulares apudiéndose clasificar los experimentos de acuerdo a la especialidad involucrada.

La naturaleza del problema en estudio permite centralizar (CIAT-Palmira o CIAT-Quilichao) o descentralizar (estaciones auxiliares) la experimentación, dependiendo tanto del estado de desarrollo de la investigación como de las posibilidades de "reproducir ambientes diferentes" en una localidad. Por ejemplo, la selección por tolerancia a sequía (identificar germoplasma tolerante a la deficiencia de agua) puede ser realizado en el Centro principal (CIAT-Palmira), utilizando tanto las siembras bajo dos semestres como variando las fechas de siembra dentro de un mismo semestre. Por el contrario, la selección por adaptación a la temperatura, necesita replicarse en variadas localidades con diferente altitud que conllevan diferentes temperaturas medias(11). En la tabla 2 se resumen algunas características de suelo y clima de las principales localidades usadas por el Programa de Frijol-CIAT(12)

Por otra parte los experimentos se realizan bajo condiciones que difieren en el grado de control que se tiene sobre las unidades experimentales, los factores de manejo y de clima. Surge la clasificación de experimentos en ambientes semicontrolados (casa de malla y casa de anjeo) y ambientes controlados (laboratorio, invernadero, cuarto de crecimiento) en donde se garantiza alta homogeneidad de las unidades experimentales: cajas de petri,

Tabla 2. Algunas características climáticas y edáficas de las localidades empleadas en la investigación en frijol del CIAT.

LOCALIDAD	ALTITUD msnm	TEMPERAT. MEDIA °C	PRECIP. mm/año	MATERIA ORGANICA %	pH	CONTENIDO FOSFORO BRAY II ppm	TEXTURA DEL SUELO
<u>Principal</u>							
1. CIAT, Palmira	1000	23.7	1000	6.8	6.9	46.3	arcilloso
2. Popayán <u>1/</u>	1850	17.5	1600	7.6	5.0	2.4	arcillo-limoso
<u>Secundarias</u>							
3. CIAT, Quilichao	1052	24.8	1845	4.1	4.5	1.8	
4. La Selva <u>2/</u> Antioquia	2200	18.0	1500	18.2	5.7	4.8	altamente orgánico, volcánico
5. Obonuco, <u>2/</u> Natiño	2710	13.0	575	4.0	5.3	31.4	Volcánico
<u>Produc. semilla</u>							
6. Dagua, Valle	700	27.0	600	3.7	7.1	14.0	Limo-arcilloso

1/ En cooperación con la Secretaría de Agricultura del Cauca

2/ En cooperación con el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA)

FUENTE: The Bean Program - Centro Internacional de Agricultura Tropical. Tabla 7, pag. 34 (mecanografiado).

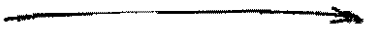
materos o jarros de Leonard, con adecuado control de las prácticas de manejo (profundidad de siembra, riegos) y de clima (temperatura, humedad relativa, luminosidad).

En contraste se tendrían los experimentos en ambientes no controlados bajo variadas situaciones de campo, bien sea dentro de los Centros Experimentales (Ensayos preliminares), en cooperación con los Centros de Programas Nacionales (Pruebas Regionales, viveros internacionales) o en fincas de agricultores para la validación de tecnología, existiendo en éstas un menor control ya que en ella la experimentación se debe adaptar a los sistemas particulares de producción del agricultor.

CAPITULO SEGUNDO

PLANEACION DE LOS EXPERIMENTOS

2.1. Aspectos generales- orientación del capítulo

Entre la conceptualización del Problema en estudio y el montaje real del experimento, transcurre un periodo importante  que debe ser utilizado en examinar los objetivos específicos, revisar jerarquías y prioridades, considerar caminos o métodos de ejecución y visualizar procedimientos de análisis para la información que se genere; ~~este~~ periodo constituye la Fase de Planeación

Por planeación se entiende un proceso intelectual que se desarrolla en los momentos de reflexión, como un paso previo a la toma de decisiones conducentes a una acción determinada. La planeación conlleva a tomar una serie de decisiones simultáneas o sucesivas tendientes a evaluar subjetiva pero racionalmente, si lo que se quiere se puede alcanzar con lo que se tiene. Es una confrontación entre objetivos y recursos físicos y metodológicos disponibles. (Vease esquema).

Una buena planeación está en relación directa con la cantidad y calidad de la información previa disponible. Desde el punto de vista agronómico, una adecuada planeación presupone disponer de *información* que permita conocer la historia del lote a emplear, en sus características de suelo (análisis físico-químico), manejo recibido (fertilizantes y herbicidas aplicados), cultivos anteriores, niveles de producción logrados, grado de variación presentado.

Así como es imposible recomendar una variedad o una dosis de aplicación de fertilizante, válidas para cualquier zona productora de frijol, así también es imposible ^{dar} recomendaciones específicas de planeación, válidas para todo tipo de experimento.

PLANEACION DEL EXPERIMENTO

LO QUE QUIERO

LO QUE TENGO

OBJETIVOS DEL EXPERIMENTO

MATERIAL EXPERIMENTAL DISPONIBLE

- | | |
|--|--|
| 1. Definición y jerarquización de objetivos. | 1. Antecedentes (historia) del lote experimental. |
| 2. Grado de generalización de resultados. | 2. Identificar fuentes de heterogeneidad sistemática. |
| 3. Posibilidad del estudio simultáneo de varios factores. | 3. Grado de variabilidad natural para el cultivo, en las variables de respuesta a cuantificar. |
| 4. Selección específica de tratamientos. | 4. Selección del diseño experimental. |
| 5. Variables a cuantificar, época y sistema de evaluación. | 5. Tamaño y forma de la parcela. |
| 6. Magnitud de las diferencias que espera se produzcan. | 6. Número de repeticiones. |

PLANEAR ES DECIDIR
SI LO QUE QUIERO LO PUEDO LOGRAR
CON LO QUE TENGO

En este capítulo se expondrán planteamientos generales sobre la planeación, relacionados con:

- El enfoque experimental
- Los elementos básicos del experimento
- El análisis de la información

desglosando el segundo aspecto en los elementos estructurales básicos de todo experimento.

2.2. Consideraciones en relación al enfoque experimental

El enfoque del trabajo experimental está relacionado con la claridad en la conceptualización del problema en estudio y las alternativas (hipótesis) de solución que se consideran viables. En esta fase conviene no perder de vista el grado de generalización de los resultados y el grado de precisión requerido en ellos.

- El grado de generalización deseado conduce a la definición de un Marco de Referencia (Universo) al cual se pretende extrapolar los resultados o conclusiones y ayuda a precisar la representatividad de la muestra; el experimento se visualizaría como un procedimiento de muestreo en un espacio y tiempo dados. Conviene analizar si el sitio y tiempo (climatológico) bajo los cuales se desarrolla, darán representatividad a las condiciones más frecuentes de ocurrir en el universo de referencia.

Para garantizar una adecuada generalización de los resultados y aumentar la confiabilidad de los hallazgos logrados, debe pensarse en series de experimentos, sobre todo cuando se espera interacción con el ambiente de suelo y clima.

En ocasiones conviene diseminar la experimentación sacrificando

repeticiones dentro de la finca o centro experimental, a cambio de un mayor cubrimiento del área de influencia del programa; por ejemplo, en vez de cuatro fincas con seis repeticiones de los tratamientos en cada una de ellas, puede ser más representativo dos repeticiones en cada una de doce fincas, que capten tanto las condiciones variadas de fertilidad natural, como el manejo dado al cultivo por los productores en la zona.

De manera similar cuando se trata de la selección de material por resistencia a plagas, se debe meditar respecto a la intensidad o severidad del ataque que puede presentarse y no descartar la posibilidad de siembras escalonadas, con menor número de repeticiones para cada siembra pero con un muestreo más intensivo de las condiciones de clima, por sus efectos potenciales para favorecer o perjudicar la ocurrencia de una plaga.

El grado de precisión guarda relación tanto con la variabilidad presente en las respuestas a cuantificar, como con la diferenciación que se espera producir como resultado de los tratamientos a emplear.

Puesto que se debe tener mayor precisión cuando se espera detectar o encontrar diferencias reales relativamente pequeñas, vale la pena replantear la necesidad o conveniencia de ejecutar el experimento, y meditar sobre la importancia teórica del problema. Cuando las diferencias esperadas son pequeñas (sobre todo en respuestas muy variables), éstas pueden no tener importancia práctica y podría estarse cayendo en un desperdicio de recursos.

Por ejemplo en el caso de frijol para la variable producción, cuando existan diferencias reales de menos de 250 kg/ha, éstas son difíciles de detectar, a no ser que se emplee una técnica experimental muy refinada y un alto número de repeticiones.

2.3. Consideraciones sobre los elementos básicos del experimento

Desde el punto de vista operativo parece conveniente visualizar los experimentos como un sistema de comunicación entre el hombre y la naturaleza, mediante un modelo analógico de "acción-reacción".



Un sistema es un grupo o conjunto de elementos con relaciones estrechas (conexiones) entre ellos y entre los atributos o propiedades de los mismos, de tal manera que sus elementos puedan considerarse como una unidad funcional, dirigida hacia una finalidad o propósito (16).

2.3.1. En relación a las entradas

En el sistema de comunicación los tratamientos a emplear no son más que portadores de mensajes mediante los cuales se pretende interrogar a la naturaleza. Deberá existir plena concordancia entre los objetivos formulados y la escogencia de tratamientos, no pudiendo ser precisados éstos hasta tanto aquellos no hayan sido definidos.

Para ensayos de comparación de materiales de frijol (experimento unifactor) se debe tener en cuenta los varios criterios de clasificación del germoplasma, tales como hábito de crecimiento, color de la semilla y tamaño del grano. Tales clasificaciones permiten:

- Disminuir el tamaño de los experimentos (menor número de tratamientos).

- Uniformizar población óptima para cada hábito
- Garantizar comparaciones agronómicas contra testigos específicos de aceptación regional comprobada
- Evaluación económica en términos más realísticos

Conviene considerar la posibilidad de estudiar varios factores en forma simultánea o el germoplasma bajo variadas condiciones de manejo (con y sin protección contra insectos; con y sin fertilización; con y sin estres por humedad) a fin de precisar la interacción germoplasma x ambiente y estimar la reducción de la producción por factores adversos.

El estudio simultáneo de varios factores da origen a estructuras factoriales completas, parciales o aumentadas, permitiendo un mayor campo de observación en el comportamiento de las respuestas, acelerando el proceso investigativo o disminuyendo los costos.

Como el número de tratamientos se incrementa al aumentar el número de factores y el número de niveles o modalidades de los factores en estudio, con lo cual se dificulta el manejo práctico del ensayo, se puede emplear selectivamente algunas combinaciones, a fin de establecer la importancia relativa de algunos factores.

Por ejemplo en problemas de diagnóstico de suelo relativos a deficiencias de elementos menores como Cu, B, Zn, Fe, Mo, cada uno a dos niveles, se tendría un total de 32 combinaciones ($2^k = 2^5$), pudiéndose emplear con carácter exploratorio una serie de $(k + 2) = (5 + 2)$ tratamientos, consistentes en: un testigo absoluto, un tratamiento que incluye todos los elementos (tratamiento completo) y cinco tratamientos resultantes de eliminar uno a uno los elementos en estudio, como se ilustra a continuación:

No. t	Cu	ELEMENTOS A ESTUDIAR*				DENOMINACION
		B	Zn	Fe	Mo	
1	1	1	1	1	1	Completo
2	0	1	1	1	1	Completo - Cobre
3	1	0	1	1	1	Completo - Boro
4	1	1	0	1	1	Completo - Zinc
5	1	1	1	0	1	Completo - Hierro
6	1	1	1	1	0	Completo - Molibdeno
7	0	0	0	0	0	Testigo absoluto

* Los valores 1 y 0 indican presencia o ausencia del elemento; para cada uno de ellos deberá establecerse la dosis real (kg/ha) a usar.

2.3.2. En relación a las unidades experimentales

Una de las preguntas que con mayor frecuencia se formula en la fase de planeación a los especialistas en estadística, es la relacionada con el tamaño de parcela y número de repeticiones a emplear. La respuesta presupone disponer de información previa relacionada con el índice de heterogeneidad del suelo, el grado de variabilidad en las respuestas y la magnitud de las diferencias que se espera detectar. Además conviene definir las áreas de borde tanto laterales como de cabecera, de acuerdo al hábito de crecimiento de los materiales a emplear.

La lectura del Capítulo Tercero le mostrará la complejidad del tema y la serie de investigaciones que es preciso realizar. Algunos resultados obtenidos en CIAT permiten relativa generalización (conviene mantenerse informando mediante los avances publicados), pero otros deben ser obtenidos específicamente para el sitio experimental.

Conviene realizar esfuerzos para lograr que las unidades experimentales tengan la mayor homogeneidad posible, pero recuerde que el material experimental en extremo homogéneo limita la generalización de los resultados.

Como se está interesado en buscar procedimientos que den adecuada precisión a los resultados, acorde con los recursos disponibles, el material experimental se puede estratificar formando clases, denominadas genéricamente bloques, los cuales agrupan unidades experimentales lo más homogéneas posibles. No descartar la posibilidad de estratificación (bloqueo) en base a gradientes de fertilidad o a la identificación de fuentes de variación sistemática (pendiente, textura del suelo, nivel freático).

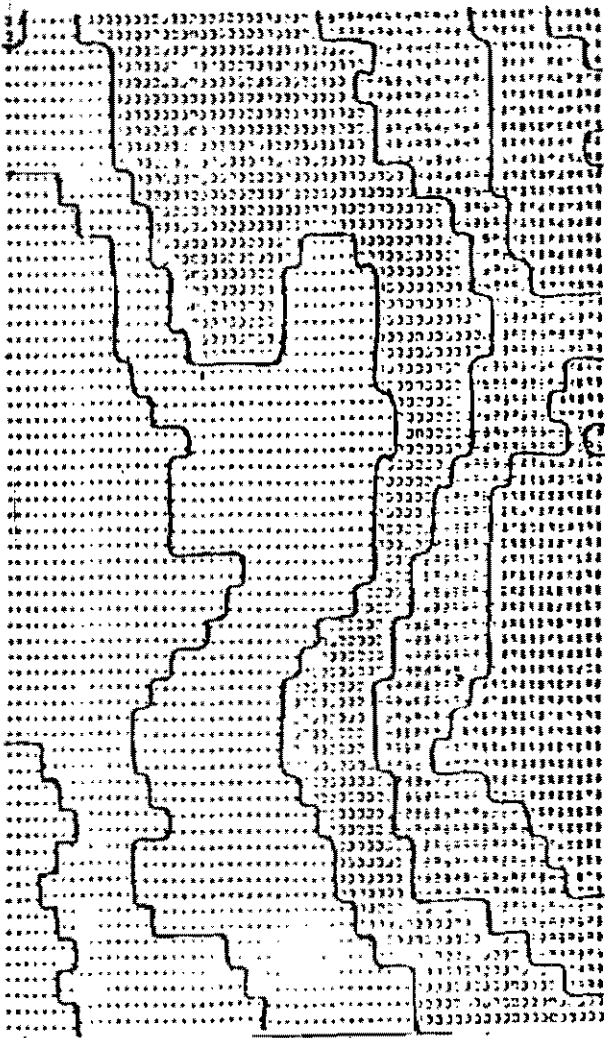
No es necesaria la continuidad espacial de un bloque a otro, ni tampoco es necesaria la vecindad física de las parcelas que integran los bloques. La exigencia estadística es la de lograr parcelas con la mayor homogeneidad dentro del bloque y no siempre las formas rectangulares, tan frecuentes en la experimentación de campo, logran eficientes resultados.

En la práctica el técnico desconoce las tendencias de fertilidad, lo cual imposibilita un adecuado bloqueo o estratificación, como procedimiento para controlar la heterogeneidad sistemática. En tales casos se recomienda la formación de bloques lo más compactos posibles (forma cuadrada).

En la figura 3 se muestran mapas o contornos de fertilidad en lotes del CIAT, obtenidos con promedios móviles mediante computador. En la figura 3A la variación de fertilidad tiene un patrón definido, aumentando paulatina y gradualmente de un extremo a otro del campo. En la figura 3B la heterogeneidad se presenta en manchas irregulares, a manera de "islas de variación". En uno y otro caso un bloqueo eficiente resulta difícil o imposible, sin los antecedentes posicionales que ilustran las figuras.

2.3.3. En relación a las respuestas

Las unidades experimentales como consecuencia de los tratamientos aplicados, emiten reacciones o respuestas que el hombre evalúa, analiza e interpreta. Desde la fase de planeación se debe establecer cuáles variables van a ser cuantificadas, la época y el sistema de evaluación a emplear.



CONVENCIONES

- Muy bajo
- ++++ Bajo
- ++++ Medio bajo
- oooo Medio
- oooo ⊙ Medio alto
- oooo ⊗ Alto
- oooo ⊕ Muy alto

- Bajo
- xxxxx ⊙ Medio
- oooo ⊗ Alto

FIG. 3.- MAPA DE FERTILIDAD DE SUELOS OBTENIDOS MEDIANTE PROMEDIOS MOVILES, CON DATOS PROVENIENTES DE ENSAYOS DE UNIFORMIDAD CON FRIJOL, EN DOS LOTES EXPERIMENTALES DE CIAT-Palmira.
A) LOTE CON TENDENCIAS (gradiente) DE FERTILIDAD.
B) LOTE CON "ISLAS" DE VARIACION EN LA FERTILIDAD.

Conviene uniformizar sistemas de evaluación dentro de algunas disciplinas, empleando procedimientos convencionales que faciliten el intercambio de la información. Por ejemplo los fitopatólogos procuran acuerdos surgidos en reuniones de trabajo, a fin de diseñar escalas internacionales de evaluación de enfermedades (10).

Tradicionalmente el rendimiento ha sido considerado una adecuada síntesis de las complejas reacciones suelo-planta-clima-manejo, y es un criterio básico en la mayoría de las comparaciones entre tratamientos. Esta variable debe complementarse con otras que ayuden a formar criterio agronómico del comportamiento y faciliten la interpretación del fenómeno.

No todas las decisiones experimentales surgen de variables de respuesta directa, siendo posible recurrir a variables derivadas como: Rendimiento equivalente en cultivos asociados o beneficio económico, en estudios comparativos de tecnología, índice de cosecha en estudios de fisiología.

2.4. Consideraciones en relación al análisis de la información

La técnica estadística a emplear depende del tipo de datos que se recolecten y de ciertos supuestos que la técnica misma exige, pero sin perder de vista las necesidades específicas de quien planifica el experimento, quien conoce sus metas y objetivos particulares.

Se pretende que desde la fase de planeación queden definidos los aspectos relativos al tipo de análisis a emplear, siendo recomendable que el personal de las Oficinas de Biometría participe del proceso y ayude a tomar decisiones respecto al manejo que se dará a la información recolectada.

Se pueden diferenciar cuatro tipos de datos, según la escala de evaluación empleada:

- Nominales en las cuales las respuestas se clasifican en categorías mutuamente excluyentes sin grado de diferenciación (relación de equivalencia pero no de orden) como por ejemplo: reacción, no reacción; vivo, muerto; +, -; rojo, negro, blanco.

- Ordinales clasifica las respuestas en categorías mutuamente excluyentes manteniendo una relación de orden entre sí, como por ejemplo: alto, medio bajo; resistente, intermedio, susceptible.
- De intervalo tiene las características de una escala ordinal y en adición la distancia entre dos puntos cualesquiera es conocida, como las escalas de 1 a 10 empleadas por los fitopatólogos.
- Continuos en los cuales cada observación está asociada a un número real perteneciente a un intervalo, como en la evaluación de la precipitación en mm, el área foliar en cm^2 o el rendimiento en kg/ha.

Para las dos primeras categorías el análisis estadístico se efectúa mediante el empleo de técnicas no paramétricas* como la prueba binomial o la de Chi-Cuadrado. Para las evaluaciones en escala de intervalo y para las variables continuas se emplean las técnicas paramétricas como la de regresión, el análisis de varianza o el análisis de covarianza.

Como parte del análisis pueden establecerse, con fines predictivos, relaciones funcionales entre las entradas (variables independientes) y las respuestas (variables dependientes), para lo cual las técnicas de regresión han sido ampliamente utilizadas, mediante el ajuste de modelos polinomiales.

El análisis de varianza para datos continuos es la técnica más generalizada; es un procedimiento aritmético de descomposición de la suma de cuadrados total (y de sus grados de libertad) en una serie de sumas de cuadrados (y grados de libertad) que se asocian a cada una de las partes que se identifican previamente en un modelo, el cual supuestamente contiene todos los componentes que integran una observación.

* Son pruebas más sencillas en las cuales no es necesario especificar condiciones acerca de los parámetros o con supuestos menos restrictivos.

En opinión de Snedecor y Cochran (26) el análisis de varianza desempeña dos funciones:

- Permite obtener una estimación del error experimental ($S^2 = CME$).
- Proporciona un mecanismo para la prueba de la hipótesis nula sobre la igualdad de medias poblacionales de tratamientos, mediante el criterio F.

La estadística juzga no sólo teniendo en cuenta las medias o diferencias entre medias de tratamientos, sino también de acuerdo al grado de variabilidad ("error experimental") que se haya estimado, de acuerdo al modelo estadístico postulado para el análisis.

Mediante el análisis estadístico se trata de establecer si las diferencias observadas entre las medias pueden ser atribuidas a la variación aleatoria presente en los datos, sosteniéndose entonces que las diferencias no son significativas o por el contrario pueden ser atribuidas a los tratamientos aplicados, en cuyo caso se afirma que las diferencias son significativas.


En ningún momento se debe entender que resultados no significativos son malos o despreciables; desde el punto de vista experimental ellos tienen tanto valor como los resultados significativos; lo que se desea con la planeación y análisis es prevenir errores, en el sentido de no rechazar la hipótesis (sobre igualdad de medias poblacionales de tratamiento) cuando ella es falsa (Error Tipo II) o rechazarla cuando ella es cierta (Error Tipo I).

CAPITULO TERCERO

TECNICA DE PARCELA

3.1. Heterogeneidad del Suelo-Ensayos de Uniformidad (Aspecto-Teórico)

"Técnica de parcela" es un término genérico empleado para referirse a los aspectos relacionados con el tamaño y forma de las parcelas experimentales y de los bloques, de los efectos de borde y el número de repeticiones a emplear, en los diferentes cultivos y tipos de experimentos. Su importancia ha sido reconocida por agrónomos y estadísticos ya que su estudio permite a los centros experimentales la utilización eficiente del recurso "tierra".

El uso eficiente del recurso tierra está relacionado no solo con la disminución de los costos asociados a la experimentación o las posibilidades de aumentar los proyectos de campo, sino también con la obtención de resultados confiables, por su sensibilidad y precisión. Por precisión experimental se entiende la habilidad para  detectar diferencias reales relativamente pequeñas, entre los tratamientos empleados (19).

En un experimento pueden presentarse dos situaciones en las cuales se desperdician recursos: la primera, cuando se utiliza un tamaño o número de parcelas mayor que el necesario; la segunda, cuando se utiliza un diseño experimental que al no controlar apropiadamente la heterogeneidad del terreno, imposibilita detectar diferencias significativas entre los tratamientos.

3.1.1. La heterogeneidad del suelo

Entre los principales factores de variación que se presentan en los resultados experimentales de campo está la heterogeneidad del suelo, la cual ha sido reconocida por su universalidad, estando demostrada su existencia aún en áreas relativamente pequeñas, con características externas en apariencia uniforme. La heterogeneidad es consecuencia de las diferentes caracte-

rísticas físico-químico-biológicas, provenientes unas de los procesos de formación (génesis del suelo) y otras derivadas del manejo y prácticas agronómicas recibidas.

Para lotes de las granjas y Centros Experimentales debe considerarse adicionalmente:

- Efectos residuales acumulativos de los sucesivos tratamientos aplicados: (fertilización con diferentes fuentes y dosis, tipos de enmienda, uso de herbicidas).
- La capacidad diferencial de extracción de nutrientes que tienen los distintos materiales genéticos ensayados.
- Las áreas dejadas como callejones o calles para facilitar la toma de datos.

todo lo cual, en conjunto, contribuye a la variabilidad de las respuestas en los siguientes experimentos.

Para los estudios de heterogeneidad del suelo a nivel macro conviene recurrir a los especialistas en génesis y clasificación de suelos, correspondiendo a los agrólogos y pedólogos hacer la caracterización, descripción y mapeo de las diferentes unidades. Tratándose de la heterogeneidad o variabilidad del suelo a nivel micro*, como en los lotes de los centros experimentales, conviene reforzar el análisis de las características físico-químicas, con estudios detallados de la producción, empleando la planta (cultivo de interés) como un indicador biológico de las condiciones naturales de fertilidad.

De manera general en cualesquier lote se pueden identificar dos tipos de variación:

* El área efectiva de un experimento con frijol suele ser con frecuencia menor de un octavo de hectárea.

- La variación o heterogeneidad sistemática o de tendencia que se presenta o actúa sobre grupos de parcelas, afectando ciertas zonas del lote, con formas geométricas irregulares. Ella tiene explicación en la posición fisiográfica, los efectos de construcciones antiguas, microrelieve cóncavos con drenaje deficiente, presencia de parches por acumulación de sales, diferencias en la fertilidad debidas al manejo.
- Las variaciones aleatorias no siguen patrones definidos, afectan indiscriminadamente las parcelas o partes de ella; se desconocen las causas, pudiéndose atribuir de manera general a factores tales como: desuniformidad involuntaria en la preparación del suelo o en la profundidad de siembra, variaciones en la aplicación del riego o en la distribución de la lluvia, ataque diferencial de plagas y enfermedades, efectos residuales de agroquímicos.

Si se controla mediante un adecuado bloqueo o estratificación la heterogeneidad sistemática, las variaciones aleatorias van a dar origen al denominado error experimental, que no es más que la cuantificación estadística de la heterogeneidad o variabilidad, atribuible a causas desconocidas (ignorancia), cuyo mayor valor implicará mayor imprecisión, es decir, menores posibilidades de detectar diferencias entre las medias de los tratamientos aplicados.

3.1.2. Los ensayos de uniformidad

A fin de caracterizar las tendencias en la fertilidad de los lotes a emplear en la experimentación y cuantificar el grado de heterogeneidad del suelo, se recurre a los "ensayos en blanco" o ensayos de uniformidad, (*) Consisten en la siembra del lote de interés, con una variedad tan pura como sea posible, la cual recibe durante su período vegetativo prácticas muy uniformes de manejo, de tal manera que las diferencias en producción se puedan atribuir, en lo fundamental, a la heterogeneidad del suelo.

Se recomienda eliminar, al momento de la cosecha, una zona de borde de al menos un metro de ancho en cada uno de los cuatro costados del lote, a fin

(*).- Sobre esta temática está en proceso de elaboración una unidad audiotutorial.

de eliminar o reducir posibles influencias por espacios no sembrados.

Antes de la cosecha el lote se divide en pequeñas parcelas (por ejemplo de 1 m^2) denominadas unidades básicas o unidades primarias, sobre las cuales se realiza la cosecha; se identifica la producción de las parcelas en base a un sistema de coordenadas (hilera y columna). Es fácil comprender los altos costos por mano de obra que se requiere para cosechar las H parcelas resultantes de H hileras x C columnas.

En las zonas en las cuales el crecimiento, desarrollo y producción de las plantas haya sido limitado conviene tomar muestras de suelo a fin de identificar posibles causas físico-químicas. No descartar la posibilidad de emplear estos ensayos para precisar algunas relaciones de interés como la existente entre número de plantas y producción.

Aunque los ensayos de uniformidad han sido ampliamente utilizados por los agrónomos en muchos suelos y cultivos, es preciso anotar como desventajas: son costosos, requieren abundante mano de obra, consumen bastante tiempo para su cosecha, evaluación y análisis, sus resultados sólo son aplicables al lote experimental en el cual se realizó el ensayo.

3.1.3. Manejo de la información



La información proveniente de los ensayos de uniformidad se dirige principalmente a:

- Visualizar las tendencias del lote mediante mapas de fertilidad.
- Estimar el índice o coeficiente de heterogeneidad del suelo.
- Calcular el tamaño-forma de parcela y el número de repeticiones a emplear en futuros experimentos.

3.1.3.1. Mapas de fertilidad

Al no desligar el rendimiento de la posición relativa (hileras, columna) que ocupaba en el campo, la información permite elaborar mapas o contornos de fertilidad, muy útiles para un adecuado manejo del lote. Los rendimientos se agrupan en clases o categorías (muy bajo, bajo, medio, alto, muy alto) las cuales se mapean con colores o se recurre a técnicas similares a las empleadas por los topógrafos, delimitando contornos en los cuales la producción es similar (líneas de isoproducción).

Desde el punto de vista práctico el conocimiento de los mapas de fertilidad ayuda a evitar confusiones, atribuyendo a los tratamientos de un futuro experimento, efectos que no son más que la resultante de la posición que ocupó la parcela dentro del lote. El mapa de fertilidad permite:

- Excluir ciertas áreas en futuros experimentos.
- Realizar estudios especiales, por ejemplo al detectar un parche salino (corroborado en base al análisis químico del suelo), emplearlo para evaluar resistencia varietal.
- Tener en cuenta las tendencias de fertilidad para formar estratos o bloques, que representan condiciones de suelo relativamente homogéneas, con lo cual se mejora la precisión.

3.1.3.2. Índice de heterogeneidad del suelo

Previo a la estimación del coeficiente de heterogeneidad se diseñan arreglos diferentes en cuanto a forma y tamaño, mediante la suma de

rendimientos de parcelas unitarias adyacentes, para lo cual la ayuda del computador es muy valiosa. Cada arreglo origina un tipo de parcela o unidad secundaria, formada al unir varias unidades primarias en sentido horizontal y vertical, por ejemplo: dos hileras, una columna; tres hileras, una columna; dos hileras, dos columnas; etc.

Para cada uno de los arreglos se calcula: la media aritmética (\bar{Y}_1), la varianza del rendimiento entre unidades secundarias (S_i^2), el coeficiente de variación ($(S_i/\bar{Y}_i) \times 100$) y la varianza por área unitaria ($V_{X_i} = S_i^2/X_i^2$), siendo X_i el tamaño (m^2) de la unidad secundaria o el número de unidades primarias que conforman una secundaria.

Graficando en el eje de las abscisas el tamaño de parcela (X_i) y en el eje de ordenadas las varianzas por área unitaria (V_{X_i}), se puede apreciar el comportamiento de la relación funcional entre estas dos variables. La relación empírica entre el tamaño de parcela y la varianza por área unitaria, denominada "ley de varianza Smith", está definida por:

$$V_{X_i} = V_1 / X_i^b \dots\dots\dots (1)$$

Expresión que puede ser linealizada en términos de logaritmos. La pendiente (b) de la recta fue propuesta por Fairfield Smith desde 1938 como una medida o índice de la heterogeneidad del suelo(25)

$$\text{Log } V_{X_i} = \text{Log } V_1 - b \text{ Log } X_i \dots\dots (2)$$

siendo:

V_1 = varianza del rendimiento entre parcelas unitarias

V_{X_i} = varianza del rendimiento entre parcelas de X_i m^2 , expresada por unidad de área ($V_{X_i} = S_i^2/X_i^2$).

X_i = área de las parcelas secundarias (en m^2)

b = índice de heterogeneidad del suelo

La estimación del coeficiente de heterogeneidad permite hacer comparaciones entre lotes para un mismo cultivo y entre cultivos o sistemas de cultivo para un mismo lote. El índice de heterogeneidad interviene en expresiones matemáticas desarrolladas para calcular el número de repeticiones y el tamaño de parcela.

Los parámetros de la ecuación (2) (ordenada al origen y pendiente) se estiman mediante el Método de Mínimos Cuadrados. Puesto que las varianzas por área unitaria (V_{X_i}) son estimadas en base a arreglos con diferente número de parcelas secundarias, Federer(*) propuso estimar el coeficiente de heterogeneidad, ponderando los logaritmos de las varianzas por los grados de libertad asociados a cada arreglo, como se indica en (3)

$$b = \frac{\Sigma(W_i Q_i P_i) - \Sigma(W_i Q_i) \Sigma(W_i P_i) / \Sigma W_i}{\Sigma W_i P_i^2 - \Sigma(W_i P_i)^2 / \Sigma W_i} \dots \dots (3)$$

donde:

Q_i = Log V_{X_i}

P_i = Log X_i

W_i = grados de libertad asociados con la varianza V_{X_i}

El valor de "b" es una medida de la heterogeneidad con límites teóricos $0 \leq b \leq 1$. Valores de b cercanos a cero son indicativos de suelos homogéneos, presentando alta correlación entre parcelas adyacentes, mientras

(*).-Federer, W.T. Experimental Design. Theory and Application. New York, The Macmillan Company, 1955.

que los cercanos a uno indican suelos heterogéneos, es decir, baja correlación entre parcelas adyacentes. En la práctica la experiencia demuestra que los valores oscilan con mayor frecuencia entre 0.20 y 0.85 .

La información requerida del ensayo de uniformidad para emplear la metodología propuesta por Smith, son los estimadores de varianza entre unidades de diferente tamaño, dentro de un área experimental dada. Tal información puede ser obtenida de otros tipos de experimentos, planeados con diferente finalidad. Un método ha sido propuesto por Koch y Rigney (21) en base a experimentos que emplean unidades de diferente tamaño como son por ejemplo, los arreglos de parcelas divididas (repetición, parcela principal, subparcela) o los diseños de Láttice (repetición, bloque incompleto, parcela). Este método mucho más económico, tiene la limitación del reducido número de parcelas de diferente tamaño (2 en el caso de bloques completos al azar, 4 en el caso de parcelas subdivididas) que intervienen para el cálculo del coeficiente y que el área cubierta por un experimento normal es usualmente más reducida que la sembrada en los ensayos de uniformidad.

3.1.3.3. Tamaño de parcela y número de repeticiones

Existen varias metodologías para determinar el tamaño de parcela; una de las más conocidas es la de "máxima curvatura" que relaciona el tamaño de la parcela con el coeficiente de variación y encuentra el tamaño óptimo en el punto donde, al incrementar en una unidad el tamaño de parcela, se reduce en 1% el coeficiente de variación.

Otro de los métodos usados es el propuesto por F. Smith (25) teniendo en cuenta el coeficiente de heterogeneidad del suelo y los costos asociados al trabajo experimental y el área de terreno ocupada por tratamiento. De manera general se ha establecido que "si los costos de la tierra son relativamente altos y el trabajo relativamente bajo, se podrían usar parcelas pequeñas; si los costos de la tierra son bajos, y el trabajo relativamente alto, se podría usar parcelas grandes" (19).

En 1961 W.H. Hatheway (18) publicó "Convenient plot size" artículo en el cual estableció una de las metodologías más completas para calcular el tamaño óptimo de parcela, al conjugar la "Ley de varianza de Smith" con la fórmula de Cochran y Cox (14) para calcular el número de repeticiones. Definió la relación matemática entre: el tamaño de la parcela, el número de repeticiones y la diferencia entre tratamientos que espera ser detectada, expresada como porcentaje de la media general.

La relación encontrada por Hatheway es:

$$x^b = 2(t_1 + t_2)^2 c_1^2 / r d^2 \dots \dots (4)$$

en donde:

- x = tamaño óptimo de la parcela útil
- b = coeficiente de heterogeneidad del suelo (ponderado)
- r = número de repeticiones
- d = diferencia que se desea detectar entre dos tratamientos, expresada como % de la media (+)
- t₁ = valor de "t" en las tablas para un nivel α dado y (r-1) (t-1) grados de libertad, siendo t = número de tratamientos.
- t₂ = valor de "t" en las tablas para (r-1) (t-1) grados de libertad y un nivel $\alpha = 2(1-p)$, donde p es la probabilidad estimada por el experimentador de obtener un resultado significativo.
- c₁ = coeficiente de variación entre parcelas unitarias.

(*) Por ejemplo, si se asume un promedio razonable de producción de frijol de 1500 kg/ha, en experimentos de prueba de variedades, diferencias de 300 kilos entre materiales representan un 20%.

La expresión (4) establece que el tamaño de parcela es directamente proporcional a la variabilidad e inversamente proporcional al número de repeticiones y a la diferencia a detectar entre tratamientos. Diferencias pequeñas (por ejemplo, menores de 10% de la media general) van a requerir tamaños muy grandes de parcela, a no ser que se emplee un elevado número de repeticiones (ocho o más).

Los valores de t_1 y t_2 dependen de niveles de probabilidad seleccionados por el investigador y los grados de libertad del error experimental; con frecuencia para el cálculo se asume: un nivel de significancia del 5% , el deseo de detectar diferencias significativas, si existen, en ocho de cada diez experimentos ($p = 0.8$) y ensayos con más de 14 grados de libertad en la estimación del Error Experimental. Bajo tales consideraciones el valor $(t_1 + t_2)^2$ se aproxima a 9, convirtiéndose la expresión (4) en:

$$\boxed{x^b = 18 \frac{C_1^2}{rd^2}} \dots \dots (5)$$

para cuyo empleo se requiere disponer de la estimación de los valores C_1 y b , calculables a partir del ensayo de uniformidad.

3.2. Ejemplos

3.2.1. Un ensayo de uniformidad con frijol arbustivo

Para describir aspectos metodológicos e ilustrar resultados del manejo estadístico de la información, se recurre a uno de los varios ensayos de uniformidad conducidos en la Granja Experimental del CIAT-Palmira, realizado en el segundo semestre de 1976 con la variedad ICA-GUALI (rojo, Hábito 1), en el lote Q2, el cual había estado sembrado de arroz el semestre anterior (3).

La siembra de frijol fue en camas de 1m de ancho, con dos surcos por cama (a 50 cm). Del área inicial de 1600 m² (40m x 40m) se desechó al momento de la cosecha un borde de dos metros en cada lado, para eliminar posibles influencias por espacios no sembrados. El área restante se fragmentó en unidades primarias de 1m² (1m de largo x 1m de ancho), procediéndose a obtener y registrar la producción, generando un arreglo de 36 hileras x 36 columnas, para un total de 1296 unidades básicas.

En la tabla 3 se resumen resultados obtenidos para algunos arreglos. La producción arrojó un promedio de 183.8 gr/parcela unitaria (equivalente a 1838 kg/ha) con un coeficiente de variación (CV₁) del 21.58%. Los valores CV_i decrecen rápidamente al aumentar el área de parcela (X_i), para estabilizarse en un valor aproximado de 9% a partir de tamaño de parcela de 10m².

Mediante el Método de Mínimos Cuadrados se obtuvieron los estimadores de los parámetros de la expresión (2) - Sección 3.1.3.2. - arrojando:

$$\text{Log } V_{X_i} = 3.1764 - 0.7562 \text{ Log } X_i$$

de donde: b = 0.7562 coef de heterogeneidad (sin ponderar).

El valor de b (ponderado), calculado como se indicó en (3) arroja un valor de 0.768, indicando en ambos casos una elevada heterogeneidad del lote.

Reemplazando los valores particulares de CV₁ = 21.58% y b = 0.768 en la expresión (5), se obtendría para el Método de Hatherway:

$$x^{0.768} = 8382.5352 / r d^2 \dots \dots (6)$$

expresión que permite resolver la siguiente pregunta: ¿Cuál es el tamaño

Tabla 3 Estadísticos obtenidos para algunos arreglos en cuanto a tamaño y forma de parcela, en base a rendimiento (gr/parcela)

Arreglo		Area de parcela	No. de parcelas para el arreglo	Rendimiento promedio (gr/parcela)	Varianza S_i^2	Coficiente variación $CV_i\%$	Varianza x area unit. $V_{X_i} = S_i^2 / X_i^2$
Hor. Ver.		X_i					
m	m	m^2	N_i				
1	1	1	1296	183.8	1573.34	21.58	1573.34
1	2	2	648	367.6	3471.64	16.03	867.91
1	3	3	432	551.4	5775.33	13.78	641.70
1	4	4	324	735.2	8522.55	12.56	532.66
1	6	6	216	1102.8	14375.81	10.87	399.33
1	9	9	144	1654.2	23435.53	9.25	289.33
2	1	2	648	367.6	3587.31	16.29	896.83
3	1	3	432	551.4	5910.05	13.94	656.67
4	1	4	324	735.2	7908.08	12.09	494.26
6	1	6	216*	1102.8	14005.28	10.73	389.04
9	1	9	144	1654.2	24386.45	9.44	301.07
2	2	4	324	735.2	8237.13	12.34	514.82
3	3	9	144	1654.2	22148.47	9.00	273.44
3	2	6	216	1102.8	13689.75	10.61	380.27
2	3	6	216	1102.8	14175.96	10.80	393.78
4	2	8	162	1470.4	18201.44	9.17	284.40
2	4	8	162	1470.4	21925.36	10.07	342.58
4	3	12	108	2205.6	29829.98	7.83	207.15
6	2	12	108	2205.6	33808.75	8.34	234.78
4	4	16	81	2940.8	48646.40	7.50	190.03
3	6	18	72	3308.4	58505.01	7.31	180.57

FUENTE: BAENA, D. et al (3).

de parcela útil a emplear, para detectar diferencias entre medias del 20%, en experimentos con 4 repeticiones?

$$x^{0.768} = 8382.5352/4(20)^2 = 5.24$$

da. donde:

$$\text{Log } X = \text{Log } 5.24/0.768 = 0.719331/0.768$$

$$\text{Log } X = 0.936629 \rightarrow \therefore X = 8.64 \text{ m}^2$$

En la tabla 4 se resume la expresión (6) para variadas alternativas en cuanto al porcentaje de la diferencia a detectar (entre 10 y 25%) con un número de repeticiones entre 2 y 8. Se destaca en la tabla los casos que arrojan tamaños de parcela útil mayores de 3 y menores de 20 m², por ser situaciones de más uso potencial en la práctica.

En la Fig. 4 se ilustra la representación gráfica de la tabla 3 enfatizando la idea de que el tamaño de parcela no es independiente del número de repeticiones y que el técnico tiene versatilidad para fijarlo, dependiendo del tipo de factor a estudiar o tratamiento a emplear. Por ejemplo, si se desea detectar diferencias entre medias de tratamientos del 20%, se podría emplear tamaños de parcela de: 21.3, 8.6 ó 4.2 m² para 2, 4 y 7 repeticiones, respectivamente (véase Fig. 4).

3.2.2. Ensayos de uniformidad con frijol voluble (monocultivo y asociación).

En el primer semestre de 1978 se sembró en CIAT-Palmira dos ensayos de uniformidad con el material P-589 (color crema beige, hábito 4), uno en monocultivo y otro asociado con maíz ICA H-210, híbrido comercial braquítico con 1.8 m de altura (15).

En la asociación el maíz se sembró en hileras separadas 1 m y entre plantas

Tabla 4 Tamaños de parcela (en m²) calculados para distintas combinaciones de número de repeticiones y diferencias a detectar como porcentaje de la media

Para: $\alpha = 5\%$; $p = 0.80$; $CV_1 = 21.58\%$; $b = 0.768$

Grados de libertad del error > 14 .

No. de repeticiones "r"	Diferencia a detectar como % de la media: "d"			
	10	15	20	25
2	129.5	45.1	21.3	11.9
3	76.4	26.6	12.6	7.0
4	52.5	18.3	8.6	4.8
5	39.3	13.7	6.5	3.6
6	31.0	10.8	5.1	2.9
7	25.4	8.8	4.2	2.3
8	21.3	7.4	3.5	1.9

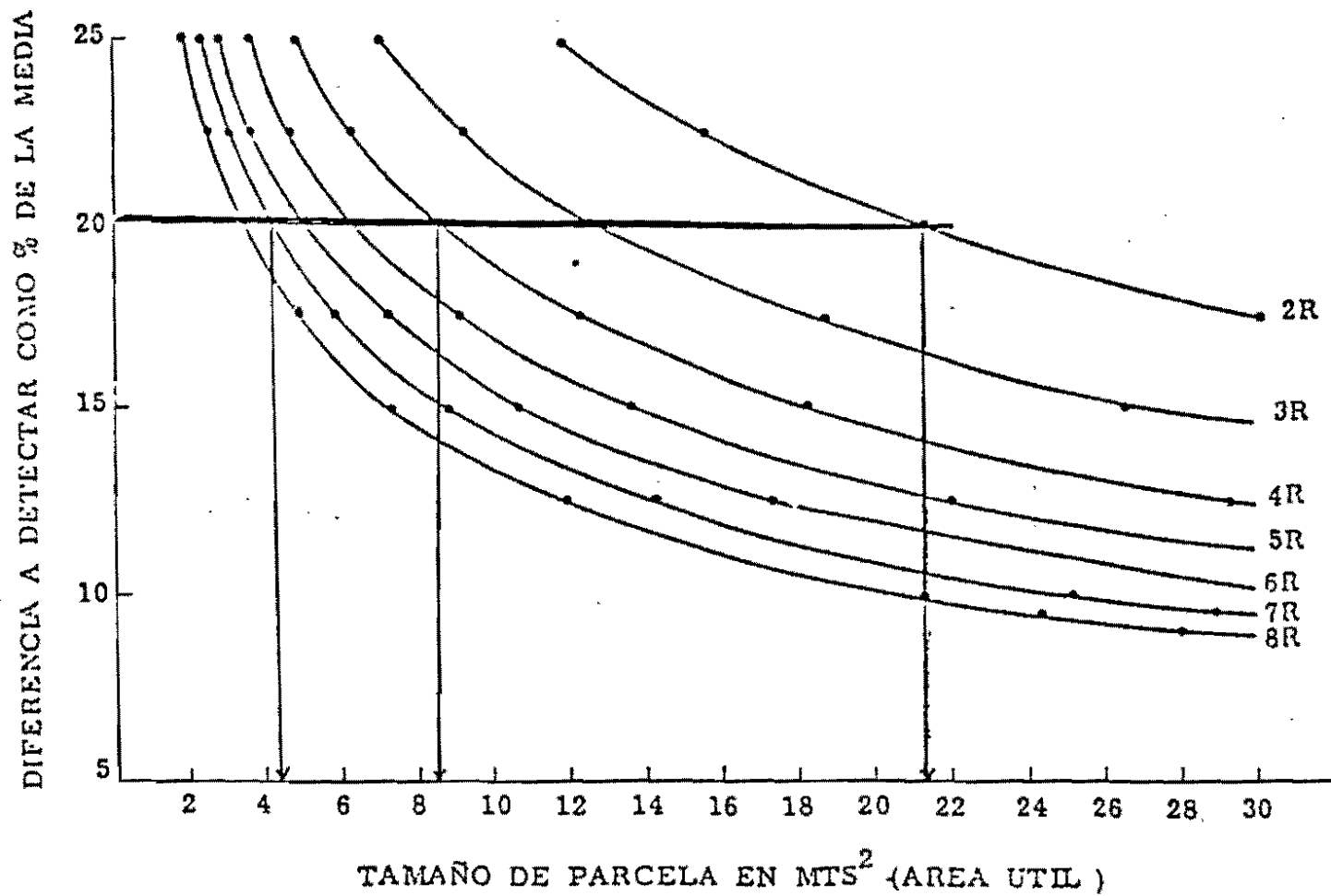


Fig. 4: RELACION ENTRE TAMAÑO DE PARCELA, NUMERO DE REPETICIONES (R) Y DIFERENCIA A DETECTAR COMO PORCENTAJE DE LA MEDIA (METODO DE HATHEWAY)

25 cm, para una densidad de 40.000 pl/ha. El frijol⁺ ubicó a cada lado del maíz, separado de éste 15 cm, y 16 cm entre plantas, para una densidad de 120.000 pl/ha. Para el monocultivo se empleó la misma densidad de siembra, usando espaldera de 1.8 m de alto para el soporte del frijol, construida con postes de bambú⁺, alambre y cordeles. En ambos casos la siembra se realizó en camas, recogiendo la cosecha sobre parcelas unitarias de 1 m², para 121 unidades básicas (11 camas de 11 m de longitud), replicadas 4 veces (15).

El coeficiente de variación del rendimiento^{de frijol} entre parcelas unitarias y el coeficiente de heterogeneidad del suelo (coef. de regresión ponderado) fue:

Sistema	b = índice de heterogeneidad	CV ₁ %
Monocultivo	0.73	20.94
Asociado	0.87	27.15

Bajo similares consideraciones a las planteadas para el caso de frijol arbustivo, se empleó la fórmula de Hatheway para calcular el tamaño de parcela, haciendo variar el número de repeticiones entre 2 y 6 y el porcentaje de la diferencia a detectar entre 15 y 30%.

En la Fig. 5 se representan los resultados para cada sistema de cultivo (Monocultivo = A, Asociación = B) expresando la diferencia que se quiere detectar como porcentaje de la media y el tamaño de parcela útil en m². Se puede apreciar que la asociación requiere mayor tamaño de parcela que el monocultivo para lograr el mismo nivel de precisión. Por ejemplo, para lograr detectar una diferencia $d = 24\%$ si se emplean 3 repeticiones, sería

+ Guadua angustifolia, Kunth.

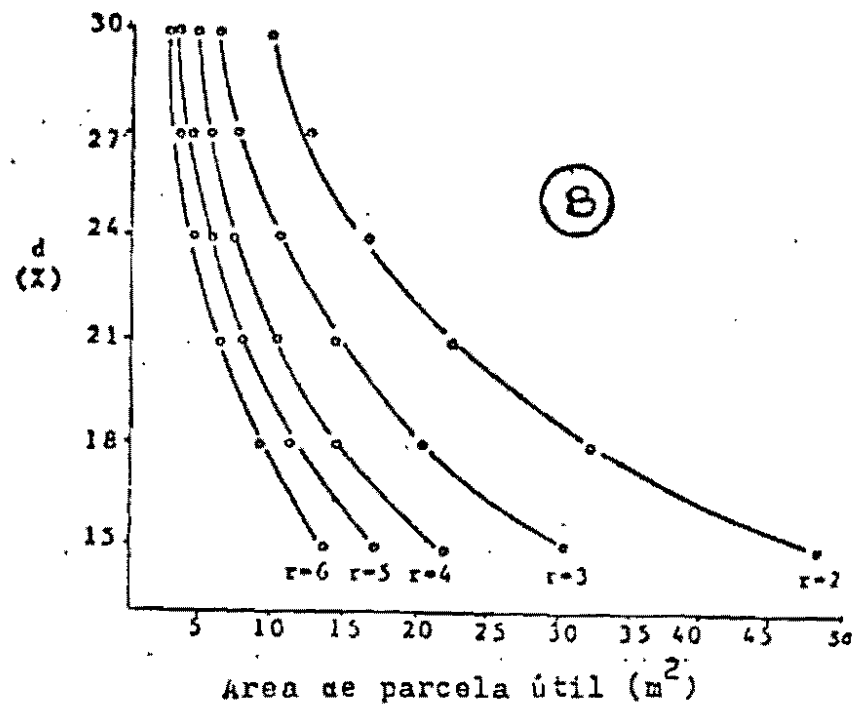
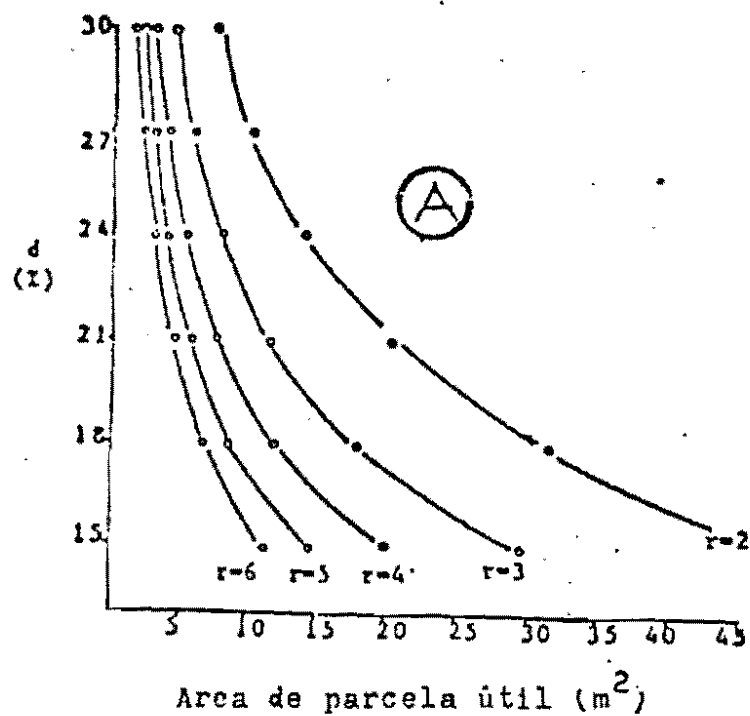


FIG. 5 RELACION ENTRE TAMAÑO DE PARCELA, NUMERO DE REPETICIONES Y DIFERENCIA A DETECTAR COMO PORCENTAJE DE LA MEDIA, PARA FRIJOL VOLUBLE EN A) MONOCULTIVO ; B) ASOCIACION (tomado de DAVIS et al (15)).

necesario una parcela útil de 8 m^2 en monocultivo, contra 11 m^2 en la asociación (15).

3.3. Efecto de bordes (aspecto teórico)

El efecto de bordes es reconocido en la experimentación agrícola y se manifiesta a través de un cambio en el patrón de crecimiento y en el rendimiento de las plantas cerca del perímetro de la parcela, con relación a las plantas de la parte central.

Cuando se establecen calles separando parcelas, bloques o repeticiones, las plantas de los surcos laterales y de cabecera están en situación relativamente ventajosa (menor competencia por luz y nutrientes), si las calles se mantienen limpias. Parcelas largas y angostas se exponen con mayor intensidad a este efecto, al tener mayor proporción del área influida por orillas, al tener mayor perímetro a igualdad de superficie.

Además del efecto de bordes por espacios no sembrados (ancho de calles), se presenta competencia entre parcelas adyacentes cuando se prueban variedades de diferente hábito de crecimiento, o cuando la misma variedad recibe diferentes tratamientos de fertilización.

Para eliminar o reducir estos efectos, se acostumbra dejar un margen no experimental de una magnitud predeterminada. La determinación del efecto de bordes es importante, pues si estos existen y no son tomados en cuenta producen sobre o sub-estimación del rendimiento, introducen sesgo en las comparaciones, y contribuyen a que el "error experimental" aumente.

Aunque existen varias posibilidades de arreglos espaciales en el campo para estudiar el efecto de competencia, una alternativa es cosechar la unidad experimental por segmentos de surco en forma individual, lo cual permite realizar en la oficina varios arreglos en cuanto al tamaño y forma de la parcela útil. Experimentos convencionales de comparación entre variedades permiten, al momento de la cosecha, pesar separadamente los surcos laterales

y las cabeceras, a fin de generar algunos arreglos de tamaño y forma de parcela, para estimar el efecto de bordes.

El efecto se analiza en base a los diferentes arreglos de parcela teniendo en cuenta:

- Efecto de sesgo, (sobreestimación del rendimiento).
- Grado de precisión logrado (menor valor de la desviación estandar o coeficiente de variación).
- Sensibilidad para detectar diferencias entre tratamientos (mayor valor de la F_c para tratamientos en el análisis de la varianza).

3.4. Ejemplos

3.4.1. Efecto de bordes en frijol arbustivo

En 1976 en CIAT-Palmira se evaluó el efecto de bordes sobre un ensayo de variedades de frijol negro de similar hábito de crecimiento, empleando un diseño experimental de látice 5 x 5 balanceado (6 repeticiones). La unidad experimental era de 12 m² (6 surcos de 4 m de largo), efectuando la cosecha por surcos individuales, dejando bordes de cabecera de 50 cm, los cuales fueron cosechados por separado. El rendimiento se evaluó para cuatro alternativas de parcela útil, realizando el análisis estadístico de la producción ^{por} separado para cada uno de ellos (22)

En la tabla 5 se resumen los resultados para cada tipo de parcela útil; los rendimientos de parcela cosechando y sin cosechar bordes de cabecera (A_1 y A_3 vs A_2 y A_4) mostraron diferencias estadísticamente significativas (340.8 kg/ha), no así los promedios de parcela cosechando y sin cosechar bordes laterales (25.3 kg/ha), sin mostrar interacción entre "bordes de cabecera" x "bordes laterales".

La significancia del efecto de "bordes de cabecera" se explica porque ahí las plantas tienen menor competencia por luz y nutrientes debido a la adyacencia a espacios no sembrados. La no significancia del efecto de "bordes laterales" se explicó en parte por la uniformidad genética de las variedades probadas y es un indicativo de no competencia varietal bajo similar hábito (arbustivo). El rendimiento se incrementó significativamente (13.4% en promedio) al cosechar bordes de cabecera, siendo el efecto consistente en todas las variedades (22).

Como consecuencia del ensayo mencionado, para materiales de hábito arbustivo el segundo arreglo: cosechando bordes laterales y excluyendo 50 cm de bordes de cabecera (9 m²), se considera recomendable desde el punto de vista de exactitud (no sesgo) y precisión (desviación estandar estimada en 217 kg/ha).

Tabla 5 Rendimiento promedio de parcelas con y sin bordes laterales y de cabecera, sobre 25 variedades de frijol de igual hábito de crecimiento

Arreglo	Descripción	Area de parcela	Rendimiento promedio (kg/ha)	D. E. kg/ha	C. V. %
A ₁	Cosechando bordes laterales y de cabecera	12 m ²	2867.3	211.5	7.4
A ₂	Cosechando bordes laterales y excluyendo 50 cm de bordes de cabecera	9 m ²	2524.1	217.0	8.6
A ₃	Sin cosechar bordes laterales y cosechando bordes de cabecera	8 m ²	2890.2	231.9	8.0
A ₄	Sin cosechar bordes laterales y ni bordes de cabecera	6 m ²	2551.8	244.8	9.6

FUENTE: MUÑOZ, et al (22)

3.4.2. Efecto de bordes en
Variedades de distinto hábito de crecimiento

Para estudiar el efecto de competencia entre variedades de distinto hábito de crecimiento, se realizó en el segundo semestre de 1977 un ensayo para el cual se seleccionaron tres variedades: Diacol Calima (rojo, hábito 1), Porrillo Sintético (negro, hábito 2) y Puebla-152 (café, hábito 3), las cuales se sembraron simulando 9 diferentes casos de competencia, consigo mismo y con las otras dos, conforme se indica a continuación (24).

1) 1 1 1	4) 1 2 1	7) 1 3 1
2) 2 1 2	5) 2 2 2	8) 2 3 2
3) 3 1 3	6) 3 2 3	9) 3 3 3

Arreglos de Competencia

El diseño experimental empleado fue de Bloques Completos al Azar, con 4 bloques y 9 tratamientos (Arreglos de competencia). La unidad experimental para cada arreglo era de 20 m² (4 m x 5 m), con cinco camas de dos surcos de frijol cada una. Los seis surcos centrales fueron ocupados por la variedad central en el arreglo de competencia y los dos laterales sembrados con la variedad vecina correspondiente (véase Fig. 6).

La cosecha se realizó por surcos, únicamente sobre los seis surcos centrales (C, D, E, F, G, H) correspondiente a la variedad sobre la cual se deseaba medir el efecto de bordes laterales*. A continuación se resumen las medias de producción (6 surcos centrales excluyendo 25 cm de bordes de cabecera) en kg/ha al 14% de humedad, para los diferentes arreglos de competencia: (24).

* El rendimiento se evaluó para diferentes combinaciones de borde lateral y de bordes de cabecera, pero tales resultados se omiten aquí.

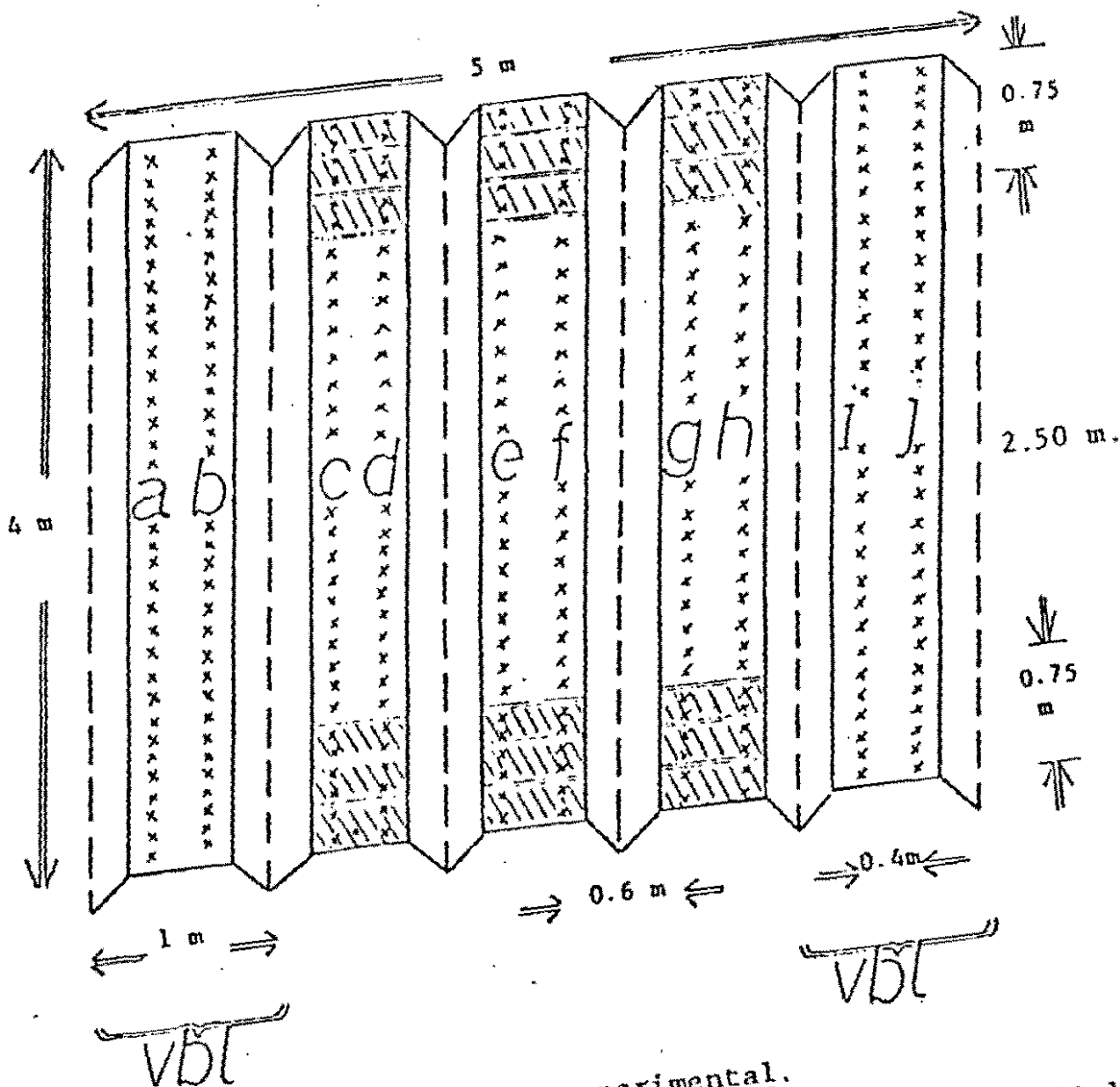


Fig. 6: Esquema de la parcela experimental.

Ensayo sobre efecto de bordes en variedades de frijol
de distinto hábito de crecimiento.

Área de Borde Superior total = $3 \times 0.75 = 2,25 \text{ m}^2$

Área Central de la Parcela = $3 \times 2,50 = 7,50 \text{ m}^2$

Área de Borde Inferior total = $3 \times 0,75 = 2,25 \text{ m}^2$

Área Total Bordos Laterales = $2(1 \times 4) = 8,00 \text{ m}^2$

VBL = Variedad borde lateral (a,b) y (j,i)

1) 1, 1, 1 (2142)	4) 1, 2, 1 (2556)	7) 1, 3, 1 (2804)
2) 2, 1, 2 (1846)	5) 2, 2, 2 (2489)	8) 2, 3, 2 (2717)
3) 3, 1, 3 (1953)	6) 3, 2, 3 (2561)	9) 3, 3, 3 (2793)

Las variedades de hábitos 3 y 2 fueron significativamente más rendidoras (2.77; 2.54 ton/ha) que la variedad Diacol Calima (1.98 ton/ha). Aunque el análisis estadístico no detectó diferencias significativas entre arreglos con la misma variedad central, la variedad de hábito 1 fue la más afectada en su rendimiento al estar rodeada por variedades de hábito diferente al suyo, reduciendo en promedio su producción en 242.5 kg/ha.

Se recomienda para el caso de ensayos de variedades de distinto hábito de crecimiento, la utilización de 1 surco de borde lateral a cada lado de la parcela y se considera que 25 cm de borde de cabecera son suficientes para amortiguar el efecto de las áreas no sembradas (24).

3.4.3. Efecto de bordes en frijol voluble asociado con maíz

Para definir el efecto de bordes (laterales y de cabecera) en frijol voluble, en asociación con maíz, se efectuó en el segundo semestre de 1977 un ensayo con 36 variedades ^{de frijol,} empleando en la asociación maíz braquítico ICA H-210. El diseño experimental fue un Látice 6 x 6 con 3 repeticiones. La unidad experimental consistió de 4 camas de 6 m de longitud, con una hilera de frijol a cada lado de la hilera del maíz, en cada una de las camas (15).

El rendimiento de cada unidad experimental fue evaluado bajo cuatro arreglos de parcela útil. En la tabla 6 se describen las características y se resumen resultados. El efecto de bordes laterales ($Y_2 - Y_4$) no fue significativo, indicando que no existe competencia significativa entre parcelas adyacentes. Los efectos de bordes de cabecera sobre dos

Tabla 6 Rendimiento promedio de parcelas con y sin cosechar bordes laterales y de cabecera, sobre 36 variedades de frijol voluble en asociación con maíz

Descripción	Area de parcela m ²	Rendimiento promedio kg/ha	Relación F _c * 35/70 G.L.	Coefficiente de variación
Y ₁ = Cosecha sobre parcela completa (4 camas)	24	1034	9.06	10.5
Y ₂ = Cosecha sobre 4 camas excluyendo 50 cm por bordes de cabecera	20	736	7.64	13.0
Y ₃ = Cosecha sobre 2 camas centrales completas	12	1008	5.92	12.4
Y ₄ = Cosecha sobre 2 camas centrales excluyendo 50 cm por bordes de cabecera	10	742	4.35	16.5

FUENTE: DAVIS, et al (15)

* Relación de varianzas para la prueba de variedades, como un indicativo de sensibilidad; a mayor valor F_c mayor sensibilidad para detectar diferencias entre tratamientos.

camas ($Y_3 - Y_4$) evaluado en 266 kg/ha, es significativo y el efecto sobre cuatro camas ($Y_1 - Y_2$) evaluada en 298 Kg/ha, resultó altamente significativo. Desde el punto de vista de la relación de varianzas para la prueba de variedades, la parcela de dos camas excluyendo bordes de cabecera (10 m^2) arrojó la menor sensibilidad ($F_c = 4.35$), presentando el más alto coeficiente de variación (16.5%).

El experimento mostró la existencia de un gran efecto de bordes de cabecera e indicó que algunas variedades de frijol pueden tomar ventaja adicional por la luz que penetra a través del maíz. Las variedades ^{de frijol} menos productivas son en las que más se sobre-estima el rendimiento al incluir bordes de cabecera, en comparación con los materiales más productivos (mayor habilidad competitiva con el maíz).

En la actualidad se recomienda dejar bordes de cabecera de 1 m en cada extremo de la parcela, cosechando una parcela útil de 11 m^2 con no menos de tres repeticiones, en experimentos para comparación de variedades de frijol voluble, sembradas en asociación con maíz (15).

3.5. Comentarios finales

El tamaño de parcela y el número de repeticiones empleados por el Programa de Frijol del CIAT no es uniforme; depende del estado de desarrollo de la investigación y las necesidades específicas de las disciplinas del Programa. Entre los factores prácticos y estadísticos que inciden sobre el tamaño de parcela pueden considerarse:

- Disponibilidad de semilla. Especialmente importante en la caracterización del germoplasma y en las primeras fases del mejoramiento.
- Tipo de experimento. Los tamaños de parcela calculados en base a ensayos de uniformidad representan condiciones aplicables a experimentos sobre comparación de variedades; si se trata de experimentos

sobre el uso eficiente de los fertilizantes, es probable que se requiera mayor tamaño.

- Grado de precisión requerido, en las primeras etapas del proceso investigativo no se requiere una alta precisión, usándose parcelas pequeñas (por ejemplo de 3 m²) con dos repeticiones. En fases más avanzadas se requiere mayor precisión empleando parcelas más grandes (8 a 10 m²) con no menos de cuatro repeticiones.
- Heterogeneidad del suelo. En suelos muy heterogéneos se necesita mayor tamaño de parcela y de repeticiones, para lograr cierto grado de precisión (por ejemplo del 20% de la media). Si el área de terreno es limitada es conveniente parcelas pequeñas con el mayor número de repeticiones posibles. En suelos heterogéneos sin un gradiente definido de fertilidad se sugiere el uso de parcelas cuadradas. En suelos con un gradiente de fertilidad definido se recomienda el uso de bloques rectangulares, ubicados en dirección perpendicular al gradiente.
- Diseño experimental a emplear. Algunos diseños permiten el control de fuentes de variación sistemática, que de no ser controladas pasan a ser parte de la cuantificación del error experimental, disminuyéndose la precisión.

Si se recurre a los arreglos de Parcelas Divididas, en donde los materiales o variedades se sortean al azar en las sub-parcelas, las consideraciones de tamaño presentadas en este capítulo son aplicables a las variedades y la Parcela Mayor queda determinada por la sumatoria de las sub-parcelas.

El uso de parcelas demasiado pequeñas, aparte de dificultar ciertas labores de manejo del cultivo, suele producir coeficientes de variación muy altos (mayores del 25%); el empleo de parcelas muy grandes ocasiona gastos innecesarios en tiempo y recursos. Parcelas cuadradas tienen el mínimo perímetro y por lo tanto menor número de plantas expuestas al efecto de bordes.

Cada técnico dentro de su institución y programa, puede autocontrolar y evaluar el proceso experimental y cuidar la "calidad estadística" de los ensayos, resumiendo para diferentes cultivos y tipos de experimentos, información relativa a:

- Diseño experimental empleado
- Tamaño de parcela empleado (total y útil)
- Número de repeticiones usadas
- Producción promedio de cada ensayo
- Coeficiente de variación
- Diferencia Mínima Significativa (DMS)
- DMS como porcentaje de la media general

La información anterior, para una amplia gama de ensayos permitirá hacer un diagnóstico y evaluación de las técnicas experimentales empleadas.* La ayuda de un especialista en estadística le permitirá hacer los ajustes necesarios para futuros trabajos, a fin de satisfacer razonables exigencias experimentales.


* Véase por ejemplo el resumen de información experimental que aparece en la tabla 9 (pág. 81)

CAPITULO CUARTO

Diseños Experimentales de Más Frecuente Uso

4.1. Aspectos básicos

Por diseño experimental se entiende la forma o manera de agrupar las unidades experimentales y el procedimiento a seguir para asignar los tratamientos a ellas.

La forma de agrupar o estratificar las parcelas depende de las fuentes de variación  que se prevea importantes de controlar (heterogeneidad del suelo) y para la asignación de los tratamientos se procede al azar, en el caso de los Diseños Aleatorios, a los cuales nos referimos en este capítulo. Por un lado se garantiza mayor precisión, al reducir la variación extraña (tendencias) y por otro lado se asegura validez de la estimación del error experimental y de las pruebas de hipótesis a realizar.

Desde el punto de vista estadístico para que un diseño experimental sea válido se requiere:

- Aleatorización en la asignación de los tratamientos
- Adecuado número de repeticiones
- Máximo control del error experimental

La aleatorización o asignación al azar de los tratamientos, evita introducir involuntarios errores sistemáticos. De acuerdo a Steel y Torrie (28), la función de la aleatorización es asegurar la disponibilidad de una estimación válida e insesgada, tanto del error experimental como de las medias de tratamientos y sus diferencias.

Cochran y Cox (14) consideran que la aleatorización es similar a un seguro, siendo una precaución contra disturbios que pueden o no ocurrir, y que pueden o no ser graves cuando ellos ocurren. Sir Ronald Fisher, considerado

el padre de los Diseños Experimentales y quien introdujo la técnica del Análisis de Varianza, demostró en 1947 que la aplicación al azar de los tratamientos es una base adecuada para obtener pruebas de significancia e intervalos de confianza.

Por su parte las repeticiones proveen posibilidades de estimar el error experimental, incrementan el alcance de la inferencia o generalización de los resultados y mejoran la precisión experimental, por la reducción de la desviación estandar de la media de los tratamientos.

El error experimental se minimiza mediante un adecuado control de las fuentes causales de heterogeneidad sistemática y mediante un eficiente manejo que evite desuniformidades en el montaje y conducción del experimento (selección de semilla, uniformidad en la profundidad de siembra, precauciones en la aplicación del riego, distribución uniforme del fertilizante).

Teóricamente buena parte de la variación es susceptible de controlarse mediante adecuada estratificación del material experimental y eficiente montaje y manejo del ensayo, por lo cual el diseño de los experimentos no es más que el arte de separar la variabilidad debida a factores controlados (variación explicada), de la variabilidad atribuible a factores no controlados (variación aleatoria).

El experimentador que ponga en práctica los principios de: aleatorización, adecuado número de repeticiones y control del error experimental, está minimizando la probabilidad de cometer error tipo II (no rechazar una hipótesis falsa).

No existen "buenos" ni "malos" diseños experimentales, aunque se reconoce que algunos son más eficientes o de más frecuente uso en la investigación agrícola o en programas específicos. La experiencia de la Unidad de Servicio de Datos del CIAT que brinda consultoría y procesa la información generada por el Programa de Frijol indica que se utiliza con mayor frecuen-

cia los diseños:

- Completamente al azar
- Bloques completos al azar
- Cuadro Latino
- Parcelas Divididas (y Subdivididas)
- Franjas Divididas (y Subdivididas)
- Látices

Cada diseño tiene sus características y condiciones de uso, las cuales deben ser revisadas por el técnico en la fase de planeación, en el momento de la selección del diseño experimental.

Asociado a cada diseño experimental existe un modelo estadístico en el cual se representan simbólicamente los diferentes componentes que supuestamente integran una observación. En el modelo estarán representados además de los efectos de tratamientos (experimento unifactor) o los efectos principales de los factores en estudio y su interacción (experimento factorial), los efectos atribuidos a los criterios de estratificación (efectos de bloques o efectos de hileras y columnas) y los efectos de la variación aleatoria o error experimental.

Asociado a cada modelo estadístico existe un procedimiento de descomposición de la suma de cuadrados total (con N grados de libertad), en una serie de partes (sumas de cuadrados y grados de libertad) relacionadas con cada componente considerado en el modelo estadístico. Este procedimiento es el denominado Análisis de Varianza (ANDEVA).

Una de las contribuciones de la estadística en la toma de decisiones relacionadas con los resultados experimentales es la Prueba de Significación; ésta en el ANDEVA es básicamente una regla para resolver si se rechaza o no la hipótesis nula (sobre igualdad de medias de tratamientos) conforme al examen de los datos. Como resultado de la variación aleatoria los datos nunca están exactamente de acuerdo con la hipótesis y "el problema es decidir si la discrepancia entre los datos y la hipótesis va a ser atribuida a esas variaciones (aleatorias) o al hecho de que la hipótesis es falsa" (14).

Si la hipótesis (sobre igualdad de medias de tratamientos) es verdadera, los Cuadrados Medios de Tratamientos y del Error Experimental tienden a ser iguales y su cociente (en promedio) tiende a ser igual a la unidad. Por el contrario si la hipótesis es falsa, el Cuadrado Medio de Tratamientos (CM. TRAT) tiende a ser mucho mayor que el Cuadrado Medio del Error Experimental (CM. EE) y su relación se aleja de la unidad.

Para decidir qué tan grande debe ser la relación (CM. TRAT/CM. EE), para concluir con razonable seguridad que las diferencias observadas entre las medias de los tratamientos son debidas a los tratamientos y no al azar, el valor de la relación (denominado F calculado) se compara con el valor F tabulado, estableciéndose la siguiente regla de decisión: Rechace la hipótesis, al nivel de significancia de α , si y solo si el valor F calculado es mayor que el F tabulado (valor que se obtiene de "la tabla de F" para los grados de libertad de tratamientos (numerador) y los del error experimental (denominador)).

Como ha sido señalado por Cochran y Cox (14) "en muchos experimentos parece obvio que los diversos tratamientos deben producir alguna diferencia, aunque pequeña, en sus efectos. Así, la hipótesis de que no hay diferencia es ficticia: el problema real consiste en obtener las estimaciones de la magnitudes de las diferencias".

El investigador de acuerdo a los objetivos formulados podrá estimar y decidir respecto a la importancia relativa de ciertas diferencias (entre medias de

dos tratamientos o entre medias de grupos de tratamientos), realizando pruebas específicas, construyendo intervalos de confianza o estableciendo relaciones funcionales entre las entradas (variables independientes) y las respuestas (variables dependientes).

En las secciones siguientes se presentarán los diseños experimentales de más frecuente uso, para cuya exposición se tendrá en cuenta:

- Características generales, usos, forma de aleatorizar, modelo estadístico
- Ejemplo con los pasos para la partición de la suma de cuadrados total, tabla de análisis de varianza
- Comentarios sobre el análisis estadístico

4.2. Diseño Completamente al Azar

4.2.1. Características generales

- Su uso requiere disponer de unidades experimentales relativamente homogéneas, siendo muy empleado en ambientes controlados (laboratorio, invernadero, cuarto de crecimiento) o semicontrolados (casas de malla y de anjeo).
- Es muy flexible, permitiendo probar cualesquier número de tratamientos (unifactor o factoriales) y emplear igual o diferente número de repeticiones.
- Es el único diseño que en caso de no ser balanceado (diferente número de repeticiones) puede analizarse de manera convencional, sin que ello introduzca complicaciones al análisis de varianza.
- Ante igualdad en el número de tratamientos y repeticiones, es el diseño que suministra mayor número de grados de libertad para la estimación del error experimental: $t(r-1)$, característica muy útil en experimentos pequeños (*).

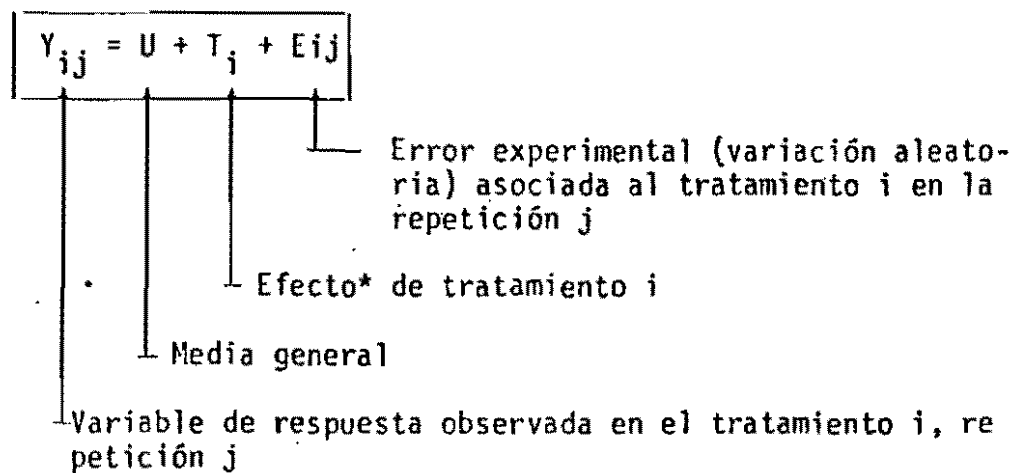
(*) Para cualesquier experimento la confianza en la estimación del error experimental está relacionada con el número de grados de libertad; éstos dependen del diseño experimental, el número de tratamientos y el número de repeticiones. Se desea tener para la estimación al menos 15 grados de libertad.

El valor de t (de Student) presenta sensibles cambios entre 1 y 15 grados de libertad, para cualesquier nivel de significancia; a partir de 15 su valor tiende a estabilizarse. Por ejemplo para 5% de nivel de significancia se tendría:

G.L.:	<u>1</u>	<u>3</u>	<u>8</u>	<u>15</u>	<u>20</u>	<u>30</u>	<u>60</u>	<u>100</u>
"t" :	12.71	3.18	2.31	2.13	2.09	2.04	2.00	1.98

- La asignación de los tratamientos a las unidades experimentales se realiza al azar, sin ninguna restricción. Por ejemplo, si se dispone de 10 tratamientos y 3 repeticiones, las unidades experimentales se numeran de 1 a 30 y en una bolsa se ubican papeletas conteniendo tres veces cada tratamiento y estos se asignan en el orden de aparición en el sorteo.
- Salvo contadas excepciones, en situaciones de campo es muy limitada su aplicabilidad pues el material experimental (parcelas) es con frecuencia heterogéneo.

El modelo estadístico asociado al diseño es:



4.2.2. Ejemplo.

Microbiología - Inoculación con cepas de Rhizobium en el invernadero

Una interesante alternativa al problema de la obtención de fertilizantes nitrogenados está representada por la solución biológica, mediante la asociación simbiótica de frijol y Rhizobium. El Programa de Frijol investiga cómo lograr una más eficiente asociación ("autofertilización"), teniendo diferentes frentes de trabajo, uno de los cuales es la prueba en invernadero de cepas aisladas ó intercambiadas, para la selección preliminar de aquellas de

(*) El efecto de tratamiento es la diferencia entre la media poblacional del tratamiento (U_i) y la media general (U).

de mayor potencial.

En un ensayo de invernadero, plantas de frijol de la variedad P566 (Porri-
llo Sintético, color negro, hábito 2) se inocularon con diferentes cepas
de *Rhizobium* en jarros de Leonard. En la tabla 7 se presentan los datos
de peso seco de la parte aérea (grs/planta) 30 días después de la siembra.

Tabla 7 Peso seco parte aérea de plantas de frijol (variedad Porrillo
Sintético) inoculadas con cepas de *Rhizobium* en jarros de
Leonard. Datos en g/planta

# i	Cepa No.	Plantas				Total cepa	\bar{Y}_i
		1	2	3	4		
1	40	2.95	2.36	2.62	4.15	12.08	3.02
2	45	4.27	6.63	7.89	5.39	24.18	6.04
3	73	1.07	1.34	0.70	0.40	3.51	0.88
4	75	4.06	5.23	4.60	0.24	14.13	3.53
5	96	3.46	4.33	3.96	3.89	15.64	3.91
6	117	5.30	5.28	5.52	5.45	21.55	5.39
7	126	5.40	4.14	4.20	5.88	19.62	4.90
8	127	3.31	5.33	6.57	0.28	15.49	3.87
9	131	0.85	2.39	1.84	3.48	8.56	2.14
10	132	3.00	4.49	3.37	4.30	15.16	3.79
11	152	1.72	0.57	1.40	4.53	8.22	2.05
12	158	0.65	2.38	1.73	1.18	5.94	1.48
13	166	4.71	4.76	5.61	3.84	18.92	4.73
14	167	5.17	4.45	4.79	6.06	20.47	5.12
15	248	2.30	6.32	2.99	2.10	13.71	3.43
16	255	3.79	3.54	4.62	5.00	16.95	4.24
Gran total						243.13	
Media general							3.66

Para la partición de la suma de cuadrados total se tendría:

Paso 1. Cálculo de la suma de cuadrados total
 $SC. TOT = 2.95^2 + 2.36^2 + \dots + 4.62^2 + 5.00^2 = 1065.55$

Paso 2. Cálculo de la suma de cuadrados de la media*
 $F.C. = (234.13)^2/64 = 856.51$

Paso 3. Cálculo de la suma de cuadrados total corregida
 $SC. TOT (C) = S.C. TOT - F.C. ** = 209.04$

Paso 4. Cálculo de la suma de cuadrados de tratamientos(cepas)
 $SC. TRAT = ((12.08^2 + 24.18^2 + \dots + 16.95^2)/4) - F.C. = 127.16$

Paso 5. Suma de cuadrados del error experimental
 $SC. TOT (C) - SC. TRAT = 209.04 - 127.16 = 81.88$

Análisis de varianza para la variable seco parte aérea
 (grs/planta)

Fuente de variación	GL	SC	CM	F _c	F _t 0.01
Entre cepas	15	127.16	8.48	4.96**	2.48
Entre plantas/cepas ("error experimental")	48	81.88	1.71		
Total (c)	63	209.04			

$\bar{Y}_{..} = 3.66 \text{ gr/planta}$ $S = 1.31 \text{ gr/planta}$ $CV = 35.8\%$

$DMS_{(0.05)} = t_{\alpha/2}^{(48)} \sqrt{2 C: E/r} = 2.00 \sqrt{2(1.71)/4} = 1.84 \text{ gr/planta}$

* La suma de cuadrados de la media con frecuencia recibe el nombre de "factor de corrección" y se denotará por F.C.

** En las tablas de ANDEVA se omiten las sumas de cuadrados total y de la media, indicando tan solo la suma de cuadrados total corregida.

4.2.3. Comentarios

El ANDEVA detecta diferencias altamente significativas entre las medias de los tratamientos (cepas), las cuales oscilaron entre 0.88 y 6.04 gr/pl. La Diferencia Mínima Significativa* al 5% arroja un valor de 1.84 gr/pl, lo cual equivale al 50% en términos de la media general. El coeficiente de variación del experimento fue de 35.8%.

Antes que comparaciones generales o específicas entre medias, interesa seleccionar para futuros trabajos aquellas cepas que producen plantas con mayor peso, pudiéndose adoptar variados criterios, como por ejemplo:

- Seleccionar aquellas cepas que produzcan plantas con peso promedio superior a la media general (3.66 grs/planta).
- Seleccionar aquellas cepas que produzcan plantas con peso promedio superior a un valor fijado de antemano por el técnico, en base a la experiencia y conocimiento previo que tenga sobre el material P 566 (por ejemplo, 4.0 grs/planta).
- Seleccionar aquellas cepas que produzcan plantas cuyo promedio no difiera significativamente de aquella que produjo el mayor peso promedio:

$$\bar{Y}_{sel} \geq (\bar{Y}_{max} - DMS)$$

Para el caso considerado: $6.04 - 1.84 = 4.20$ grs/planta.

Obviamente mientras más elevado sea el límite, menor será el porcentaje de cepas seleccionadas. El criterio peso seco parte aérea se complementa con otras evaluaciones relativas al peso fresco de nódulos, reducción de acetileno, % de N en la parte aérea.

*Diferencia mínima que debe existir entre medias de tratamientos para ser considerados estadísticamente diferentes

4.3. Diseño de bloques completos al azar

4.3.1. Características generales

- Para su uso se reconoce que el material experimental es heterogéneo pero posible de estratificar en grupos o clases de parcelas relativamente homogéneas, las cuales reciben el nombre de bloques.
- Su empleo eficiente requiere que las Unidades que integran un bloque sean lo más homogéneas posibles (variación aleatoria), quedando la mayor heterogeneidad (variación sistemática) entre los bloques.
- Cada bloque debe contener todos los tratamientos los cuales se asignan al azar, repitiendo el sorteo tantas veces cuantos bloques haya. El diseño permite emplear cualesquier número de repeticiones. En este caso el término bloque es sinónimo de repetición.
- Aunque en teoría no existen limitaciones en el número de tratamientos por bloque, en la práctica la homogeneidad dentro del bloque es más fácil de lograr en experimentos con doce o menos tratamientos(★)
- No es necesario que los bloques estén físicamente juntos, ni que las parcelas que lo integran queden adyacentes. Si parcelas separadas tienen la misma condición, ellas pueden integrar un bloque.
- El modelo estadístico asociado al diseño supone aditividad de los efectos de bloque y tratamiento (dos criterios de clasificación sin interacción); es decir, si el bloque implica condición adversa se perjudicará el comportamiento de todos los tratamientos; cuando la condición del bloque es fa-

(★) Kempthorne, O . The design and analysis of experiments, Wiley and Sons. New York . 1952

vorable se beneficiará el comportamiento de todos los tratamientos.

Cuando de antemano se sospeche interacción bloque x tratamiento, se deben disponer repeticiones (de todos o algunos) de los tratamientos dentro de cada bloque, a fin de poder estimar el error experimental en forma independiente de la interacción (dos criterios de clasificación con interacción). En este caso bloque no es sinónimo de repetición.

El diseño de Bloques Completos al Azar es el de más frecuente uso en la investigación agrícola; su eficiencia en controlar heterogeneidad del suelo no siempre es adecuada. Si la fuente de variación "entre bloques" en el análisis de la varianza no resulta significativa, es una indicación de que el técnico no logró con éxito el agrupamiento.

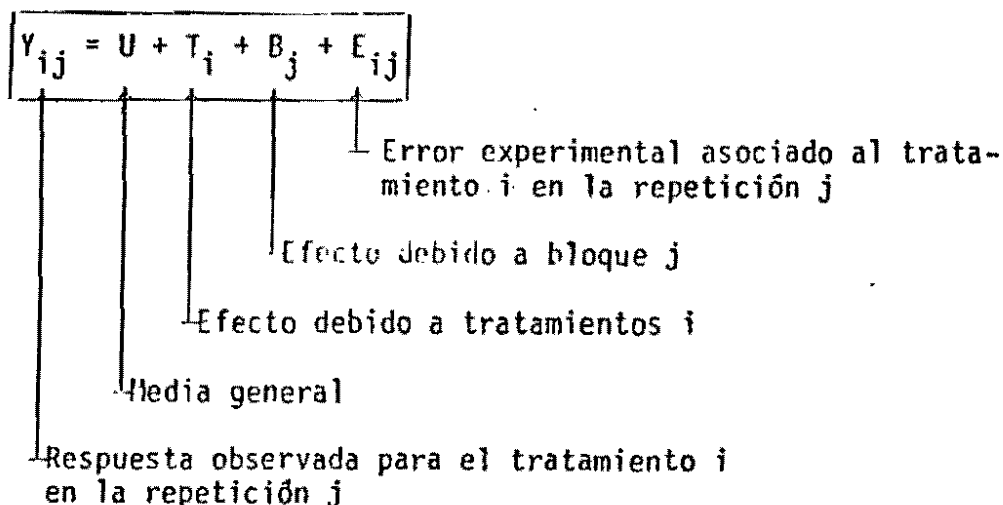
Cuando la heterogeneidad del suelo presenta una clara tendencia (gradiente) los bloques se deben ubicar perpendiculares a la gradiente, con forma rectangular. Cuando la heterogeneidad del suelo no presenta tendencias definidas se recomienda emplear bloques de forma cuadrada.

Lo ideal en un experimento es manejar todas las parcelas en la forma más uniforme. De no ser posible, se recomienda al menos manejar las que integran un bloque; si se requiere intervención de personal para alguna labor, procúrese que la misma persona se encargue de las unidades del mismo bloque. Si se tuviera diferencias en fechas de siembra, aplicación de riegos o época de cosecha, se recomienda no abandonar la actividad hasta tanto no se haya completado la labor en todas las unidades que integran un bloque.

Al aumentar el número de tratamientos existen pocas posibilidades

de lograr homogeneidad dentro del bloque, debiéndose recurrir a diseños con bloques incompletos (látices).

Tratándose de bloques completos al azar, el modelo estadístico sería:



4.3.2. Ejemplo (Caso No. 1)

Vivero Internacional de Rendimiento y Adaptación de Fríjol

Desde 1973 se sugirió la creación de una red latinoamericana de investigación en frijol y en 1976 entró en operación bajo el nombre de Vivero Internacional de Rendimiento y Adaptación de Fríjol. Entre sus objetivos se pretende la evaluación de germoplasma bajo un amplio rango de condiciones ambientales; sus resultados constituirán la fuente de información básica para los estudios de adaptación.

Los viveros internacionales, para arbustivos y volubles en asociación o relevo con maíz, han venido evolucionando tanto en su método (en lo concerniente al diseño experimental, tamaño de parcela y número de repeticiones), como en su especificidad, haciendo separación en cuanto a color y tamaño del grano, lo cual tiene mayor atractivo para los programas nacionales.

Como ilustración se presenta información relativa a un experimento de la se-

rie IBYAN realizado en 1980A en CIAT-Palmira, empleando diseño de bloques completos al azar con 21 materiales y 3 repeticiones. Entre los materiales se incluye como testigos internacionales: Porrillo Sintético (El Salvador); ICA-Pijao (Colombia) y Jamapa (México).

En la tabla 8 aparece la lista de materiales, su origen y rendimiento (ton/ha) con ajuste de humedad al 14%. En la Fig. 7 se presenta el plano de campo sugerido para el montaje del experimento a los colaboradores de la red de investigación en frijol.

Para la partición de la suma de cuadrados total se tendrían los siguientes pasos:

Paso 1. Cálculo de la suma de cuadrados total
 $SC. TOT = 2.05^2 + 2.14^2 + \dots + 1.28^2 + 1.72^2 = 219.5611$

Paso 2. Cálculo de la suma de cuadrados de la media
 $F.C. = (114.17)^2/63 = 206.9014$

Paso 3. Cálculo de la suma de cuadrados total corregida
 $SC. TOT (C) = SC. TOT - F.C. = 12.6597$

Paso 4. Cálculo de la suma de cuadrados de tratamientos
 $((5.76^2 + 6.00^2 + \dots + 4.89^2)/3) - F.C. = 6.5963$

Paso 5. Cálculo de la suma de cuadrados de bloques
 $((39.12^2 + 39.24^2 + 35.81^2)/21) - F.C. = 0.3609$

Paso 6. Cálculo de la suma de cuadrados del error experimental
 $SC. EE = SC. TOT (C) - SC. TRAT - SC. BLQ = 5.7025$

TABLA 8. RENDIMIENTOS DE FRIJOL (ton/Ha) SIN PROTECCION, CON AJUSTE DE HUMEDAD AL 14%. IBYAN - GRANO NEGRO

No. de tratamiento	Nombre	Origen	REPETICION			TOTAL	MEDIA
			(1)	(2)	(3)		
1	Porrillo sintético ^L	El Salvador	2.05	2.14	1.57	5.76	1.92
2	BAT 140	CIAT	2.35	2.30	1.35	6.00	2.00
3	BAT 179	CIAT	1.64	0.95	1.55	4.14	1.38
4	BAT 240	CIAT	2.23	2.18	1.57	5.98	1.99
5	TESTIGO LOCAL *	-	1.89	1.40	1.99	5.28	1.76
6	BAT 261	CIAT	0.82	1.40	1.65	3.87	1.29
7	BAT 271	CIAT	2.45	2.77	2.97	8.19	2.73
8	BAT 304	CIAT	1.27	1.62	2.06	4.95	1.65
9	BAT 58	CIAT	2.02	1.46	1.95	5.43	1.81
10	BAT 445	CIAT	0.81	1.57	1.87	4.25	1.41
11	ICA pijao ^L	COLOMBIA	2.02	2.27	1.49	5.78	1.92
12	BAT 448	CIAT	1.72	1.51	1.09	4.32	1.44
13	BAT 450	CIAT	2.11	2.08	1.72	5.91	1.97
14	BAT 76	CIAT	1.79	1.79	1.03	4.61	1.53
15	TESTIGO LOCAL *	-	1.77	1.65	2.04	5.46	1.82
16	BAT 518	CIAT	2.10	2.50	1.48	6.08	2.02
17	BAT 64	CIAT	1.85	2.18	1.15	5.18	1.72
18	DOR 15	CIAT	2.01	2.16	2.00	6.17	2.05
19	G 1753	COSTA RICA	2.13	1.39	1.56	5.08	1.69
20	TESTIGO LOCAL *	-	2.20	2.64	2.00	6.84	2.28
21	JAMAPA ^L	MEXICO	1.89	1.28	1.72	4.89	1.63
TOTAL			39.12	39.24	35.81	114.17	
MEDIA			1.86	1.86	1.70		1.81

-76-

* Se emplearon como testigos locales los materiales L.10103, BAT 15 y BAT 7

^L testigos internacionales

No. de hileras por parcela : 4
 Longitud de hilera : 4 m.
 Distancia entre hileras : 0.6 m.

Diseño Experimental : Bloques completos al azar
 No. de repeticiones : 3
 No. de tratamientos : 21

Area Neta del experimento : 604.8 m²
 Area de parcela : 9.6 m² (0.6m x 4m x 4)
 Area neta de la parcela : 4.2 m² (0.6m x 3.5m x 2)

PLANO DE CAMPO

REP. I

16	1	12	11	18	3	10
115	116	117	118	119	120	121

13	19	14	15	5	20	6
114	113	112	111	110	109	108

2	4	21	7	9	17	8
101	102	103	104	105	106	107

REP. II

16	11	13	6	10	8	19
215	216	217	218	219	220	221

4	20	18	2	1	21	9
214	213	212	211	210	209	208

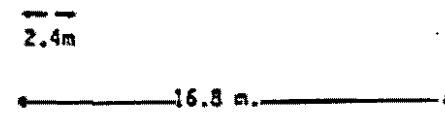
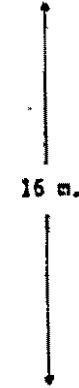
17	7	14	15	12	5	3
201	202	203	204	205	206	207

REP. III

20	4	9	13	11	12	14
315	316	317	318	319	320	321

6	5	7	8	19	17	2
314	313	312	311	310	309	308

15	18	10	21	16	3	1
301	302	303	304	305	306	307



* No. de tratamiento
 ** No. de parcela

Fig. 7. Plano de campo sugerido para el Vivero Internacional de Rendimiento y Adaptación de Frijol

Análisis de varianza para la variable rendimiento
(ton/ha) - Experimento IBYAN - Grano negro

Fuente de variación	GL	SC	CM	F _c	F _{0.05}
Entre bloques	2	0.3609	0.1805	1,27ns	3.23
Entre tratamientos	20	6.5963	0.3298	2.31*	1.84
Error experimental	40	5.7025	0.1426		
Total (c)	62	12.6597			
$\bar{Y}.. = 1.81$ ton/ha		$S = 0.378$ ton/ha		CV % = 20.88	

4.3.3. Comentarios

La serie de Viveros Internacionales permite evaluar en cada localidad las mejores variedades regionales (testigos locales) comparándolas con germoplasma selecto. Existirá interés en comparaciones no solo de dos variedades específicas sino también entre grupos de materiales, como sería el grupo "testigo local" contra el grupo de "testigos internacionales", la cual puede realizarse por medio de la prueba de t (de student)*.

Para el caso se plantearía como hipótesis:

H_0 : no existe diferencia en producción entre promedios del grupo "testigo local" y el grupo "testigo internacional".

H_a : Los rendimientos entre promedios de "testigos" (local e internacional) son diferentes.

* Existe la posibilidad de realizar la prueba por F en el ANDEVA, mediante la descomposición de la Suma de Cuadrados de tratamientos. Véase Snedecor y Cochran (26) sección 11.6 pág. 308.

Simbólicamente se plantearía:

$$H_0 : U_{TL} = U_{Ti} \implies U_{TL} - U_{Ti} = 0$$

$$H_a : U_{TL} \neq U_{Ti} \implies U_{TL} - U_{Ti} \neq 0$$

Como la hipótesis alternante es de tipo bidireccional (diferente de cero) la prueba es de dos colas. Si el nivel de significancia seleccionado fuese de 5%, el valor de "t" calculado bajo la hipótesis nula (t_{c_0}) deberá exceder de 2.02 para rechazar (no aceptar) la hipótesis nula. Se establecería como regla de decisión: Acepto la hipótesis nula si $t_{c_0} \leq 2.02$.

La diferencia paramétrica planteada en la hipótesis nula fue estimada en el experimento en:

$$(\bar{Y}_{TL} - \bar{Y}_{Ti}) = \bar{d}_T = (5.28 + 5.46 + 6.84/9) - (5.76 + 5.78 + 4.89/9)$$

$$\bar{d}_T = 0.127 \text{ ton/ha}$$

Como la estadística juzga teniendo en cuenta no solo la diferencia entre medias sino también el grado de variabilidad asociada, se debe calcular la desviación estandar de la diferencia de medias ($S_{\bar{d}_T}$) la cual es una función de la desviación estandar del experimento (S).

$$S_{\bar{d}_T} = S \sqrt{(1/n_L) + (1/n_i)}$$

donde n_L y n_i representan el número de parcelas incluidas en el cálculo de \bar{Y}_{TL} y \bar{Y}_{Ti} , respectivamente. Para el presente caso se tendría:

$$S_{\bar{d}_T} = 0.378 \sqrt{(1/9) + (1/9)} = 0.178 \text{ ton/ha}$$

El valor de t calculado bajo la hipótesis nula sería:

$$t_{c_0} = \bar{d}_T / S_{\bar{d}_T} = 0.127/0.178 = 0.713$$

inferior a 2.02 definido en la regla de decisión, lo cual induce a la aceptación de la hipótesis nula.

Por otra parte amerita destacar la amplia diferenciación entre promedios de producción de materiales (rango de medias de 1.44 ton/ha) y que el BAT 271*, con producción promedio de 2.73 ton/ha resulta significativamente superior, tanto al grupo de testigos locales como internacionales:

En la tabla 9 se resumen las principales características estadísticas del experimento tomado para ilustración, pudiendo el esquema servir de guía para la información que conviene almacenar, a fin de efectuar posteriores comparaciones entre experimentos en relación al grado de precisión lograda y definir criterios objetivos para la planeación de futuros trabajos.

4.3.4. Ejemplo (Caso No. 2)

Economía - Validación de tecnología

Antes de iniciar la fase de transferencia de la nueva tecnología (germoplasma y prácticas agronómicas) a cargo de las agencias de extensión o de la asistencia técnica particular, la investigación debe cumplir el proceso de validación de la nueva tecnología, debiendo probar su "bondad" a nivel de finca. En ella la experimentación debe adaptarse a los sistemas ^{Particulares} de producción, sacrificando repeticiones dentro de la finca en busca de un mayor cubrimiento de las variadas condiciones de suelo y manejo.

*Genealogía: Porrillo Sintético x MEX 309.

TABLA 9.- EXPTO IBYAN-GRANO NEGRO (SIN PROTECCION)
Resumen para archivo

CODIGO	150256
PAIS	Colombia
CIUDAD	Palmira
ESTACION	CIAT
FECHA DE SIEMBRA	Marzo 25 de 1980
DISEÑO EXPERIMENTAL	BCAA
No. TRATAMIENTO	21
No. REPETICIONES	3
PARCELA TOTAL	9.6 m ² (0.6 m x 4.0 m x 4)
AREA COSECHADA	4.2 m ² (0.6 m x 4.0 m x 2)
AREA NETA DEL EXPTO	604.8 m ²

MEDIA GENERAL	1.81 ton/Ha
DESVIACION ESTANDAR	0.378 ton/Ha
COEF.DE VARIACION (%)	20.88
F.CAL.PARA BLOQUES	1.27 (n.s.)
F.CAL.PARA TRATAMIENTO	2.31 *
DIF.MAXIMA OBSERVADA	(2.73 - 1.29) = 1.44 ton/Ha
DIF.MINIMA SIGNIF (0.05)	0.622 ton/Ha
D MAX/D.M.S.	2.32
DMS COMO % DE LA MEDIA	34.36

En 1978B se realizó una serie de pruebas a nivel de finca en la zona cafetera de Restrepo, Valle, Colombia (27). En ella se reconoce como limitantes de la producción de frijol: enfermedades (antracnosis, mancha angular y roya), insectos (Empoasca), fertilidad del suelo (2.5 ppm de P) y escasez estacional de la mano de obra durante la cosecha de café (9).

En cada una de nueve fincas se probaron seis tratamientos (paquetes tecnológicos) los cuales se contrastan económicamente con los resultados logrados por los agricultores con su propia tecnología, quienes alcanzaron un promedio de producción de 1.0 ton/ha. En todos los casos se empleó la variedad Diacol-Calima en monocultivo con parcelas de 15 m² (27). En la tabla 10 se presentan los rendimientos obtenidos en kg/ha; para el análisis de varianza se asume un diseño de bloques completos al azar considerando fincas como bloques, a fin de extraer la variación atribuible a las diferencias en fertilidad y/o manejo.

Tabla 10 Rendimiento de frijol Diacol-Calima en fincas de agricultores en la zona de Restrepo, Valle, Colombia, 1978B

Fincas	Tratamientos						Total finca	Medias
	1	2	3	4	5	6		
1	1972	2348	1810	2487	2208	2714	13539	2256.5
2	1025	1244	1608	1860	1997	2146	9870	1645.0
3	1696	1255	2262	2737	1521	1751	11222	1870.3
4	662	403	710	1005	925	1025	4730	788.3
5	1497	1414	1898	1921	1657	2111	10498	1749.7
6	615	522	1007	2089	1747	2014	7994	1332.3
7	2339	2305	1978	2176	1243	2087	12128	2021.3
8	1603	1571	1661	1393	967	1440	8635	1439.2
9	2203	1965	2069	1805	1522	2187	11751	1958.5
T. TRAT	13612	13027	15003	17473	13777	17475	90367	
Media	1512.4	1447.4	1667.0	1941.4	1530.8	1941.7		1673.46

Partición de la suma de cuadrados total

$$\begin{aligned}
 \text{SC. TOT} &= 1972^2 + 2348^2 + \dots + 1522^2 + 2187^2 &= 168063161.0 \\
 \text{SC. MED} &= (90367)^2 / 9 \times 6 &= 151225827.5 \\
 \text{SC. TOT (C)} &= \text{SC. TOT} - \text{F.C.} &= 16837333.5 \\
 \text{SC. FINCAS} &= ((13539^2 + 9870^2 + \dots + 11751^2) / 6) - \text{F.C.} &= 9253715.0 \\
 \text{SC. TRAT} &= ((13612^2 + 13027^2 + \dots + 17475^2) / 9) - \text{F.C.} &= 2170435.2 \\
 \text{SC. EE} &= \text{SC. TOT (C)} - \text{SC. FINCAS} - \text{SC. TRAT} &= 5413183.3
 \end{aligned}$$

Análisis de varianza para la variable rendimiento
(en kg/ha)

Fuente de variación	GL	SC	CM	F _c	F _t	
					0.05	0.01
Entre fincas	8	9.253.715.0	1.156.714.37**	8.55		2.99
Entre tratamientos	5	2.170.435.2	434.087.04*	3.21	2.45	
Error experimental	40	5.413.183.3	135.329.58			
Total (C)	53	16.837.333.5				

$\bar{Y}.. = 1673.46 \text{ kg/ha};$
 $S = 368 \text{ kg/ha};$
 $CV \% = 22$

4.3.5. Comentarios

El análisis detecta diferencias altamente significativas entre producciones de fincas, las cuales oscilaron entre 788.3 y 2256.5 kg/ha y diferencias significativas entre medias de tratamientos con rendimientos entre 1447.4 (T₂) a 1941.7 (T₆). El coeficiente de variación fue del 22% y el valor de la Diferencia Mínima Significativa fue de 350 kg/ha.

Una estricta comparación entre tratamientos debe realizarse en términos de Ingreso ileto y no en términos de producción física puesto que cada trata-

miento requiere costos de producción diferentes. En la tabla 11 se indican los tratamientos empleados, los costos de producción e ingresos, expresados éstos en términos de kilogramos de frijol, para lo cual se asumió un precio de \$30 Col, por kilo de frijol Calima.

En el juzgamiento de los tratamientos deberá tenerse en cuenta no solo las diferencias en producción, sino también las diferencias en ingreso neto y sobre todo el beneficio económico por peso invertido. La relación ingreso neto/costo de producción osciló entre 0.78 para el tratamiento que incluye mejores prácticas agronómicas y semilla "limpia", hasta 1.32 para el tratamiento que adiciona al manejo anterior la fertilización con 333 kg/ha de abono comercial 10-30-10. Por lo tanto, el análisis económico muestra la no rentabilidad de los tratamientos T_2 y T_5 , ni las prácticas del agricultor.

El análisis estadístico y el económico no son excluyentes sino complementarios y el ANDEVA puede realizarse en términos económicos de \$/ha. Se calcula el ingreso neto (N_{ij}) asociado al tratamiento (i) en la repetición (j), cuando existan apreciables diferencias en los costos de producción asociados a los tratamientos y precios diferenciales de venta para el frijol, por consideraciones de color y tamaño de grano en los diferentes materiales.

En tales casos se analizaría el ingreso neto calculando:

$$N_{ij} = Y_{ij} P_{Y_i} - CF - CV_i$$

En donde:

Y_{ij} = Rendimiento (kg/ha) del tratamiento (i) en la repetición (j)

P_{Y_i} = Precio de venta del frijol obtenido en el tratamiento (variedad) (i), el cual puede variar por razones de color y tamaño de grano

CF = Costos fijos (preparación del suelo, vigilancia, etc.)

CV_i = Costos variables asociados al tratamiento (i)

Tabla 11. Rendimientos, costos de producción e ingresos netos de los tratamientos empleados en Restrepo-Valle, con la variedad Diacol-Calima, 1978 B

DESCRIPCION	Expresado en Kg/ha			IN/CP
	Rend.	Costos Produc+)	Ingreso Neto+)	
T ₀ Prácticas del agricultor	1000	541.9	458.1	0.84
T ₁ Mejores prácticas agronómicas semilla del agricultor	1512	729.7	782.3	1.07
T ₂ Mejores prácticas agronómicas semilla "limpia"	1447	811.3	635.7	0.78
T ₃ Mejores prácticas agronómicas semilla "limpia", 167 Kg/ha de 10-30-10	1667	799.1	887.9	1.11
T ₄ Mejores prácticas agronómicas semilla "limpia", 333 Kg/ha de 10-30-10	1941	836.8	1104.2	1.32
T ₅ Mejores prácticas agronómicas semilla "limpia", herbicida y 333 Kg/ha de 10-30-10	1531	805.8	725.2	0.90
T ₆ Mejores prácticas agronómicas semilla "limpia", 500 Kg/ha de 10-30-10	1942	894.7	1047.3	1.17

+) Se consideró \$30 Kg de frijol Calima

- Mejores prácticas agronómicas incluye: mayor densidad de población (200.000 pl/ha), aplicación foliar de micronutrientes, control de plagas y enfermedades 30 y 50 días después de emergencia, incluyen do el fungicida benlate
- Semilla "limpia" es aquella producida bajo condiciones de riego artificial y raleo de plantas enfermas
- Para el análisis sólo se incluyeron las fincas con información completa para todos los tratamientos

FUENTE: Elaborado en base a STABILE, M.F. (27) Apéndice A "Field trials" p: 94-99 .

4.4. Diseño Cuadro Latino

4.4.1. Características generales

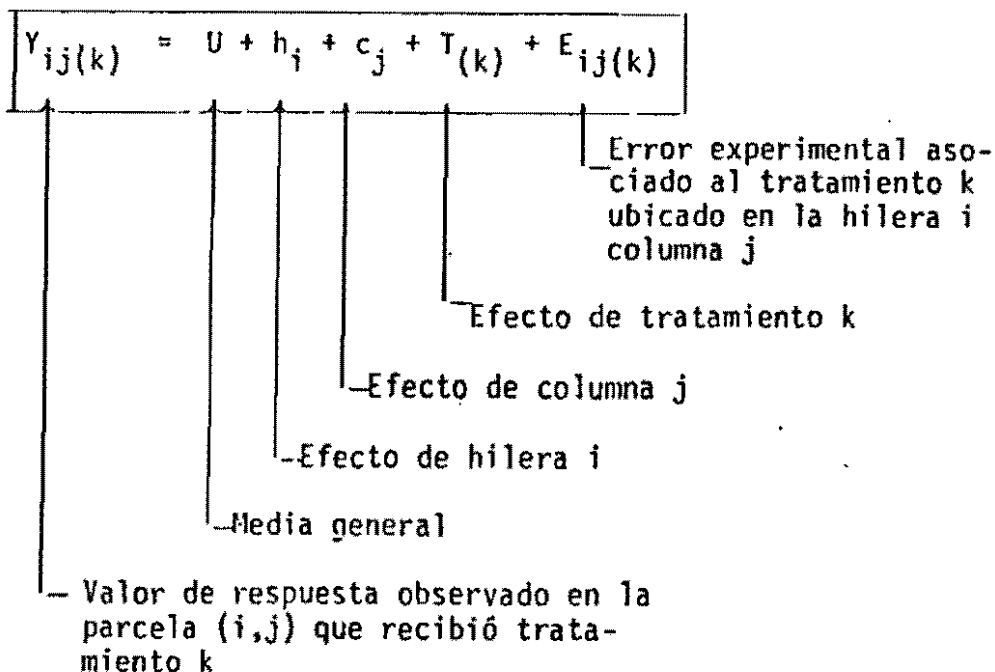
- En este diseño los tratamientos se arreglan en bloques en dos diferentes formas denominadas genéricamente como hileras y columnas; cada tratamiento aparecerá una sola vez en cada hilera y una sola vez en cada columna.
- Tanto hileras como columnas constituyen un bloque completo, necesitándose que haya homogeneidad dentro de las hileras y dentro de las columnas, pero con existencia de heterogeneidad entre hileras y entre columnas.
- En experimentos de campo la variabilidad debida a la heterogeneidad del suelo puede ser removida mediante el bloqueo bidireccional. El material experimental deberá arreglarse y el experimento conducirse de tal manera que las diferencias entre hileras y entre columnas representen las mayores fuentes de variación.
- La principal limitación del Cuadro Latino es que el número de tratamientos es igual al número de repeticiones; si el número de tratamientos es elevado (más de diez) el número de repeticiones se vuelve impracticable. Los tamaños más usuales están entre 5 x 5 hasta 8 x 8. Cuadros Latinos pequeños proporcionan pocos grados de libertad para la estimación del error experimental.
- El uso del Cuadro Latino presupone la inexistencia de interacción entre todos los criterios de clasificación (tratamientos,

hileras, columnas).

- El Cuadro Latino puede ser útil en investigaciones preliminares para identificar fuentes de variación atribuible a operarios de campo o máquinas o equipos empleados en las evaluaciones.
- La aleatorización se realiza en forma secuencial; primero se selecciona un "cuadro base", de acuerdo al Cuadro Latino deseado. Se procede luego a la aleatorización de las hileras y posteriormente a la aleatorización de las columnas; la resultante del proceso sirve para el montaje del experimento, como se ilustra para el caso de un Cuadro Latino 5 x 5

C D E A B	E A B C D	B A E D C
B C D E A	C D E A B	E D C B A
A B C D E	D E A B C	A E D C B
E A B C D	B C D E A	D C B A E
D E A B C	A B C D E	C B A E D
Cuadro base	aleatorización de hileras (4,1,5,2,3)	aleatorización de columnas (3,2,1,5,4)

El modelo estadístico asociado al diseño de cuadro latino es:



4.4.2. Ejemplo

Alternativas para intercalar maíz y frijol

Con la finalidad de estudiar alternativas para intercalar maíz y frijol, se sembró un ensayo preliminar empleando un diseño Cuadro Latino, con tratamientos consistentes en:

- T_1 = Monocultivo de maíz. Población de 44.400 pl/ha. Siembra de un surco de maíz en el centro de la cama
- T_2 = Monocultivo de frijol. Población 222.000 pl/ha. Siembra de dos surcos (a 30 cm) de frijol por cada cama
- T_3 = Maíz / frijol intercalados en surco común. Población de maíz 44.400 pl/ha; población de frijol 111.000 pl/ha. Un surco de maíz y de frijol en el centro de la cama

T₄ = Maíz / frijol intercalados, surcos paralelos. Población de maíz 44.400 pl/ha y población de frijol 111.000 pl/ha. En cada cama un surco de maíz y un surco de frijol separados 30 cm

T₅ = Maíz / frijol intercalados. Población de maíz 44.400 pl/ha y población de frijol 222.000 pl/ha. En cada cama dos surcos de frijol separados 30 cm y un surco de maíz en el centro de la cama (combinación de T₁ y T₂)

Para la siembra se emplearon parcelas de 4 camas (a 0.90 m entre camas) de 17 m de largo (61.2 m²) para cosechar un área útil de 30.6 m². Se utilizó Frijol Guali y un material de maíz braquítico amarillo, sembrando éste 15 días después del frijol.

A continuación se presenta el plano de campo y las producciones obtenidas en cada una de las parcelas, expresando los rendimientos en kg/ha con humedad constante al 14%.

Esquema del arreglo de los tratamientos en el campo

		Columnas				
HILERAS		T ₃	T ₅	T ₁	T ₄	T ₂
		T ₂	T ₄	T ₅	T ₃	T ₁
		T ₁	T ₃	T ₄	T ₂	T ₅
		T ₅	T ₂	T ₃	T ₁	T ₄
		T ₄	T ₁	T ₂	T ₅	T ₃

Rendimientos de maíz y frijol en (kg/ha)

		Columnas				
Hileras		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
I)	F	743	847		541	1481
	M	4292	5049	4142	3316	
II)	F	964	579	991	667	
	M		4303	5001	4839	4421
III)	F		1003	522	1599	1145
	M	3807	3780	4051		3858
IV)	F	1162	1506	919		885
	M	4123		4410	3950	5688
V)	F	681		1125	867	988
	M	4522	3581		4245	3456

F = frijol ; M = maíz

Para el análisis de varianza consideremos una variable de respuesta derivada, convirtiendo la producción de maíz en términos de frijol mediante:

$$\text{REND. EQUIVALENTE} = \text{PROD. FRIJOL} + \text{PROD. MAIZ} (\text{PRECIO MAIZ/PRECIO FRIJOL})$$

Se asume en vía de ilustración una relación de precios igual a (1/2). En la tabla 12 se presentan los rendimientos equivalentes.

Tabla 12. Producción de frijol en términos de rendimiento equivalente expresado en kg/ha

	(1)	c o l u m n a s			(5)	Total H11.
		(2)	(3)	(4)		
I) H	2889	3371	2071	2199	1481	12011
II) i	964	2730	3491	3086	2210	12481
III) l	1903	2893	2547	1599	3074	12016
IV) e	3223	1506	3124	1975	3729	13557
V) r a	2942	1790	1125	2989	2716	11562
Total Col.	11921	12290	12358	11848	13210	61627

Rendimiento equivalente para tratamientos (kg/ha)

	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
Total Trat.	9949	6675	14708	14147	16148
Medias .	1989.8	1335.0	2941.6	2829.4	3229.6

Para la partición de la suma de cuadrados total se seguirían los siguientes pasos:

Para la partición de la suma de cuadrados total se tendría :

- Paso 1. Cálculo de la suma de cuadrados total
 $SC. TOT = 2889^2 + 3371^2 + \dots + 2989^2 + 2716^2 = 166146155.0$
- Paso 2. Cálculo de la suma de cuadrados de la media
 $F.C. = (61227)^2/25 = 151915485.1$
- Paso 3. Cálculo de la suma de cuadrados total corregida
 $SC. TOT (C) = SC. TOT - F.C. = 14230669.9$
- Paso 4. Cálculo de la suma de cuadrados de hileras
 $SC. HIL = ((12011^2 + 12481^2 + \dots + 11562^2)/5) - F.C. = 463681.1$
- Paso 5. Cálculo de la suma de cuadrados de columnas
 $SC. COL = ((11921^2 + 12290^2 + \dots + 13210^2)/5) - F.C. = 235256.7$
- Paso 6. Cálculo de la suma de cuadrados de tratamientos
 $SC. TRAT = ((9949^2 + 6675^2 + \dots + 16148^2)/5) - F.C. = 12236315.5$
- Paso 7. Cálculo de la suma de cuadrados del error experimental
 $SC. EE = SC. TOT (C) - (SC. HIL + SC. COL + SC. TRAT) = 1295416.6$

Análisis de varianza para la variable rendimiento
equivalente de frijol (kg/ha)

Fuente de variación	Gl	SC	CM	F _C	F _{0.01}
Hileras	4	463681.1	115920.3	1.07	
Columnas	4	235256.7	58814.2	< 1	
Tratamientos	4	12236315.5	3059078.9	28.34**	5.41
Error experimental	12	1295416.6	107951.4		
Total (c)	24	14230669.9			

$\bar{Y}.. = 2465 \text{ kg/ha}; \quad S = 328 \text{ kg/ha}; \quad CV\% = 13.3$

4.4.3. Comentarios

Los criterios de agrupamiento (hilera, columna) no resultaron significativos; el análisis detecta diferencias altamente significativas entre medias de tratamientos, cuyas producciones oscilan entre 1.33 y 3.23 ton/ha de frijol equivalente, mostrándose en las medias una clara superioridad de las asociaciones (T_3 , T_4 , T_5) con relación a los monocultivos (T_1 , T_2). El coeficiente de variación fue del 13.3% y la Diferencia Mínima Significativa al 0.05 resulta de 452 kg/ha.

El sistema de siembra T_5 , considerado como una combinación de los sistemas normales de siembra de los monocultivos, presenta el mayor rendimiento equivalente y el mejor índice de uso eficiente de la tierra, como se indica a continuación:

$$(1002/1335) + (4455/3980) = 1.87$$

Tratamiento No.	Rendimiento maíz frijol kg/ha		Rendimiento equivalente (frijol)	Índice uso eficiente de la tierra
T_1	3980	-	1990	1.00
T_2	-	1335	1335	1.00
T_3	4155	864	2942	1.69
T_4	4376	642	2830	1.58
T_5	4455	1002	3230	1.87

4.5. Diseño de parcelas divididas (y subdivididas)

4.5.1. Características generales

Su empleo presupone el deseo de estudiar simultáneamente varios factores (estructura factorial) existiendo al menos uno que pa-

ra su adecuado manejo requiere parcelas de mayor tamaño que los otros factores. El factor asignado a las parcelas mayores se estima con menor precisión que aquellos asignados a las subparcelas.

- El procedimiento ^{para} asignar los niveles o modalidades del primer factor a las parcelas mayores es al azar en cada repetición; se procede luego a asignar, también al azar, los niveles o modalidades del segundo factor dentro de cada parcela mayor (en caso de parcelas subdivididas los niveles o modalidades del tercer factor se asignarían igualmente al azar).
- Las recomendaciones sobre tamaño óptimo de parcela son aplicables a la unidad experimental de menor tamaño, obteniéndose la parcela grande por adición de subparcelas. Cada parcela mayor contendrá tantas subparcelas cuantos niveles o modalidades tenga el segundo factor.
- En experimentos agronómicos de campo el procedimiento de subdivisión de una unidad grande en varias subparcelas y éstas en varias sub-subparcelas, es muy flexible y frecuente, pero no es necesario tener tantas divisiones de parcela cuantos factores en estudio haya. Por ejemplo, si se desea estudiar cuatro factores simultáneamente:

A = Riego (con y sin riego)

B = Protección contra insectos (con y sin protección)

C = Germoplasma (cinco materiales de frijol, hábito arbustivo, color rojo, grano grande)

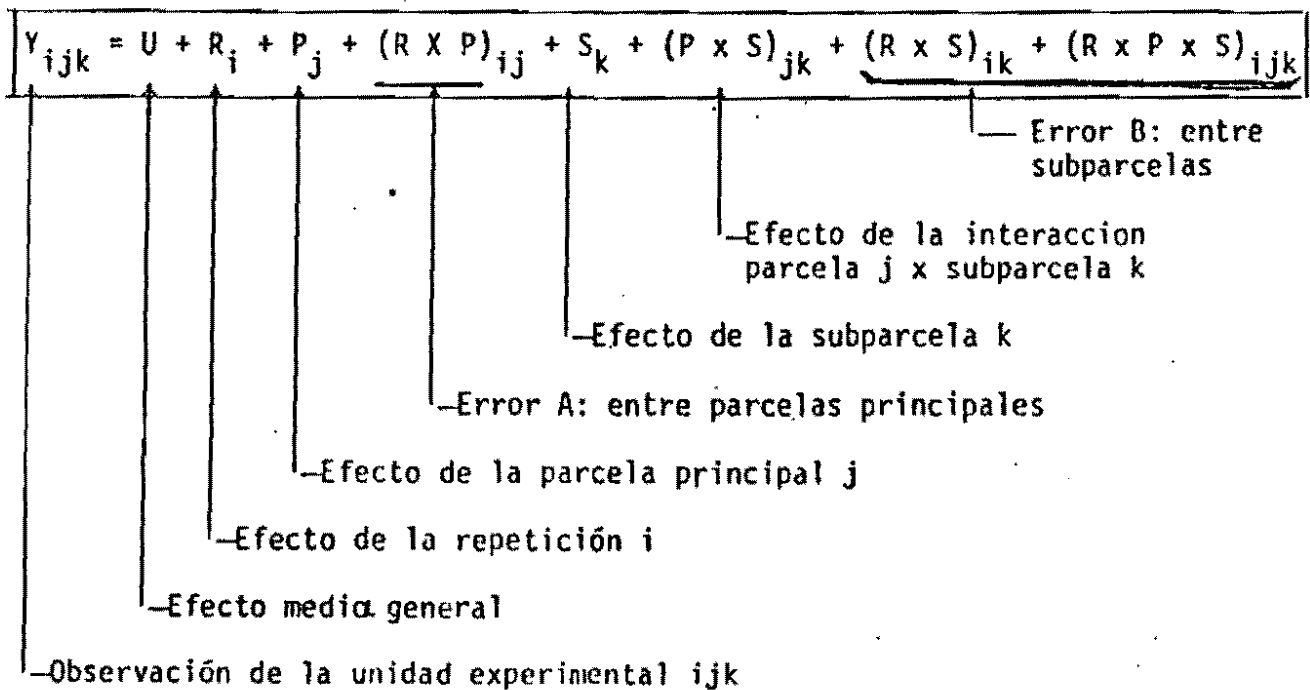
D = Inoculación (con y sin inoculación)

Las cuatro combinaciones del factorial A x B pueden definir las parcelas grandes. Cada una de ellas se subdividirá en

diez parcelas menores para asignar al azar las combinaciones resultantes del factorial C x D.

Una limitación de las parcelas divididas es el escaso número de grados de libertad asociados al error (a) cuando se tiene pocas repeticiones y/o pocas parcelas mayores, dando con frecuencia estimaciones con menos de 10 grados de libertad. Lo anterior contribuye a que solo se puedan declarar como significativas diferencias relativamente grandes entre niveles o modalidades del factor asignado a las parcelas mayores.

El modelo estadístico asociado al diseño de parcelas divididas incluye dos errores experimentales; el uno relacionado con las parcelas mayores (error (a)) y el otro con las subparcelas (error (b)).



4.5.2. Ejemplo

Entomología - Pérdidas por Empoasca

El saltahojas o lorito verde (Empoasca kraemeri) es una de las plagas de ma-

por importancia económica y el Programa de Frijol adelanta un sistemático trabajo de evaluación y selección. Por ejemplo, en el año de 1979 se evaluaron por su resistencia a Empoasca más de 4000 materiales en diversos viveros del Programa de Frijol.

Para medir las pérdidas en rendimiento y evaluar el avance en mejoramiento, en 1980 se realizó una serie de ensayos con ^{varios materiales y} diferentes épocas de siembra (a fin de asegurar altos niveles de infestación), encontrándose en ellos amplias diferencias en el nivel de población (sobrepasando a veces niveles de 3 ninfas/hoja y 2 adultos/planta).

El ensayo tomado para ilustración se realizó en un arreglo de Parcelas Divididas con cuatro repeticiones.

Las subparcelas estaban constituidas por 15 materiales y las Parcelas Mayores por dos niveles de protección (sin y con protección química); para la protección se efectuaron aplicaciones semanales de azodrin (0.5 litros/ha). Sobre las parcelas sin protección se evaluó en tres oportunidades el daño por Empoasca; el rendimiento de los materiales se obtuvo sobre parcela útil de 7.2 metros cuadrados. A fin de asegurar niveles altos de infestación y distribución lo más uniforme de la plaga en el ensayo, éste se rodea por los cuatro costados, entre repeticiones y entre parcelas mayores, de un material susceptible (BAT 41).

En la tabla 13 se presentan los rendimientos (ton/ha) ajustados al 14% de humedad. Para las parcelas sin protección se indica entre paréntesis la calificación de daño, 40 días después de la siembra. Para la evaluación se utiliza una escala visual de daño de 0 a 5, promediándose las lecturas de dos observadores independientes. (Para la partición de la suma de cuadrados total constrúyanse tablas auxiliares 13A y 13B).

Para la partición de la suma de cuadrados total se tendría:

Paso 1. Cálculo de la suma de cuadrados total

$$SC. TOT = 0.97^2 + 1.28^2 + \dots + 1.07^2 + 0.92^2 = 286.2193$$

- Paso 2. Cálculo de la suma de cuadrados de la media
F.C. = $(162.43)^2/120$ = 219.8625
- Paso 3. Cálculo de suma de cuadrados total corregida
SC. TOT (C) = SC. TOT - F.C. = 66.3568
- *Paso 4. Cálculo de la suma de cuadrados de repeticiones
SC. REP = $((42.34^2 + \dots + 37.70^2)/30) - F.C.$ = 0.4571
- *Paso 5. Cálculo de la suma de cuadrados del factor asociado a parcela mayor (protección)
SC. PROT = $((121.08^2 + 41.35^2)/60) - F.C.$ = 52.9740
- *Paso 6. Cálculo de la suma de cuadrados Error (a)
SC. E (a) = $((30.16^2 + 31.08^2 + \dots + 8.21^2)/15) - F.C.)$
- (SC. REP + SC. PROT) = 0.1952
- **Paso 7. Cálculo de la suma de cuadrados del factor asociado a las subparcelas. (variedades)
SC. VAR = $((6.32^2 + 10.71^2 + \dots + 13.56^2)/8) - F.C.$ = 5.4361
- **Paso 8. Cálculo de la suma de cuadrados de la interacción
SC. PRO x VAR = $((4.70^2 + 1.62^2 \dots + 9.17^2 + 4.49^2)/4)$
- F.C.) - (SC. PROT + SC. VAR) = 3.5785
- Paso 9. Cálculo de la suma de cuadrados Error (b)
SC. E (b) = SC. TOT (C) - $\left[(SC. REP + SC. PRO + SC. E (a) + SC. VAR + SC. P \times V) \right]$ = 3.7159

* Véase tabla auxiliar 13A.
** Véase tabla auxiliar 13B.

Tabla 13 Rendimientos (ton/ha) de 15 materiales* de frijol con y sin protección contra E. kraemeri

P M	s u b	R E P E T I C I O N								TOT Sub.	TOT P M
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)		
P R O T E G I D O	1	0.97		1.28		1.39		1.06		4.70	
	2	2.00		1.90		1.77		1.65		7.32	
	3	2.07		2.38		2.35		2.25		9.05	
	4	2.00		2.06		2.27		1.78		8.11	
	5	2.06		1.94		1.83		2.11		7.94	
	6	2.20		1.33		1.79		1.69		7.01	
	7	2.82		2.73		2.46		2.23		10.24	
	8	2.19		2.32		2.06		2.14		8.71	
	9	2.21		2.19		1.60		2.53		8.53	
	10	1.38		1.99		1.93		2.09		7.44	
	11	1.56		1.90		1.95		2.12		7.53	
	12	2.08		2.09		2.29		1.85		8.31	
	13	2.13		1.85		1.95		1.89		7.82	
	14	2.33		2.39		2.37		2.11		9.20	
	15	2.16		2.73		2.29		1.99		9.17	121.08
<hr/>											
N O P R O T E G I D O	1	0.52	(3.5)	0.35	(3.5)	0.39	(3.5)	0.36	(3.5)	1.62	
	2	0.77	(3.0)	1.10	(2.5)	1.07	(2.5)	0.45	(3.0)	3.39	
	3	0.29	(5.0)	0.52	(5.0)	0.28	(5.0)	0.20	(5.0)	1.29	
	4	0.74	(4.5)	0.39	(4.5)	0.86	(5.0)	0.50	(5.0)	2.49	
	5	0.34	(4.0)	0.42	(3.5)	0.45	(4.0)	0.44	(4.0)	1.65	
	6	1.37	(2.5)	1.27	(2.5)	0.86	(3.5)	0.60	(3.5)	4.10	
	7	1.14	(3.5)	1.12	(3.5)	1.00	(3.5)	0.59	(4.0)	3.85	
	8	0.96	(3.5)	0.52	(4.0)	0.80	(3.5)	0.81	(4.0)	3.09	
	9	0.87	(3.0)	1.01	(2.5)	0.79	(3.5)	0.71	(3.5)	3.38	
	10	1.02	(3.5)	1.07	(3.0)	0.56	(3.5)	0.53	(4.0)	3.18	
	11	0.61	(3.5)	0.59	(4.0)	0.63	(4.0)	0.55	(4.0)	2.38	
	12	0.75	(3.5)	0.73	(3.5)	0.30	(4.0)	0.45	(4.0)	2.23	
	13	0.85	(3.0)	0.51	(3.5)	0.61	(3.0)	0.81	(3.5)	2.78	
	14	0.69	(4.0)	0.26	(4.5)	0.29	(3.5)	0.29	(4.5)	1.53	
	15	1.26	(3.5)	1.14	(3.5)	1.07	(4.0)	0.92	(3.5)	4.39	41.35
<hr/>											
		42.34		42.08		40.31		37.70		162.43	

Area útil de la Subparcela 7.2 m². El número entre paréntesis indica la evaluación de daño por Empoasca.

*Véase en tabla 14 la identificación de los materiales

Tablas auxiliares para el cálculo de sumas de cuadrados.

En todos los casos se utilizan los totales.

(13A) Repeticiones x parcela mayor

Parcela mayor	Repeticiones				Total parcela mayor
	1	2	3	4	
Protegido	30.16	31.08	30.35	29.49	121.08
No protegido	12.18	11.00	9.96	8.21	41.35
Total repetición	42.34	42.08	40.31	37.70	162.43

(13B) Parcela mayor x subparcela

Subparcelas Variedades	Parcelas mayores		Total Variedades
	Protegido	No protegido	
1	4.70	1.62	6.32
2	7.32	3.39	10.71
3	9.05	1.29	10.34
4	8.11	2.49	10.60
5	7.94	1.65	9.59
6	7.01	4.10	11.11
7	10.24	3.85	14.09
8	8.71	3.09	11.80
9	8.53	3.38	11.91
10	7.44	3.18	10.62
11	7.53	2.38	9.91
12	8.31	2.23	10.54
13	7.82	2.78	10.60
14	9.20	1.53	10.73
15	9.17	4.39	13.56
Total P.II	121.08	41.35	162.43

Experimento sobre pérdidas por Emposca
 Tabla de análisis de varianza para la variable rendimiento
 (ton/ha)

Fuente de variación	GL	SC	CM	F_c	F_t 0.01
Entre repeticiones	3	0.4571	0.1524	2.34	29.46
Entre protección	1	52.9740	52.9740	813.73**	34.12
Error (a)	3	0.1952	0.0651		
Entre variedades	14	5.4361	0.3883	8.78**	2.31
Interac. Prot x Var	14	3.5785	0.2556	5.78**	2.31
Error (b)	84	3.7159	0.0442		
Total (c)	119	66.3568			
<hr/>					
$\bar{Y}_{..} = 1.35$	$S_{(b)} = 0.210$		$CV_{(b)} = 15.55\%$		

4.5.3. Comentarios

No obstante los pocos grados de libertad para la estimación del error (a), el ANDEVA detecta diferencias altamente significativas entre rendimientos con y sin protección, debido a la amplia diferencia entre sus promedios (2.02 ton/ha con protección vs. 0.69 ton/ha sin protección). Existen también diferencias altamente significativas entre variedades con promedios que oscilan entre 0.79 ton/ha (para BAT 15) y 1.76 ton/ha (para EMP 9), pero el comportamiento varietal depende del nivel de protección, es decir, existe interacción entre los factores en estudio.

En los experimentos en Parcelas Divididas convenientemente diseñados, el Error Experimental (b) relacionado con variaciones aleatorias entre sub-parcelas, suele ser menor que el Error (a), el cual está asociado a las

variaciones aleatorias entre parcelas mayores. Las respuestas entre subparcelas de la misma parcela principal tienden a estar positivamente correlacionados y reaccionan más similarmente que subparcelas de diferente parcela mayor.(28)

Las diferencias entre variedades sin protección (denominadas genéricamente como: dos medias de B (subparcela) para el mismo nivel de A) pueden considerarse como significativas a un nivel $\alpha = 0.05$, si exceden el valor de:

$$DMS_{0.05} = t_{\frac{\alpha}{2}}^{(84)} \sqrt{(2/r) CME (b)}$$

$$DMS_{0.05} = 1.99 \sqrt{(2/4) 0.0442}$$

$$DMS_{0.05} = 0.295 \text{ ton/ha} = 295 \text{ kg/ha}$$

Si se toma como material sobresaliente aquel que supera significativamente el rendimiento del testigo (BAT 41), se consideraría como límite: $(322 + 295) = 617 \text{ kg/ha}$, el cual es sobrepasado por 9 de los materiales ensayados.

Para precisar el comportamiento del germoplasma en el experimento, cada material se puede ubicar espacialmente tomando como coordenadas el rendimiento con protección y el rendimiento sin protección (\bar{Y}_{CP} , \bar{Y}_{SP}). Al hacer una translación de ejes a los valores promedios obtenidos bajo las dos condiciones (con protección = 2.02 ton/ha y sin protección = 0.69 ton/ha) se obtienen los cuadrantes del plano cartesiano, situándose en el cuadrante I los materiales sobresalientes desde el punto de vista de los mejores rendimientos bajo ambas condiciones (véase Fig. 8).

En la tabla 14 se resume el rendimiento sin protección y el porcentaje de reducción debido a Empoasca, la cual alcanzó en promedio el 65.4% y 3.7 como calificación de daño, comportándose prácticamente todos los materiales como susceptibles (evaluación promedio de daño superior a tres), debido al "rompimiento" de la resistencia, por los altos niveles de incidencia de la plaga (siembra de verano).

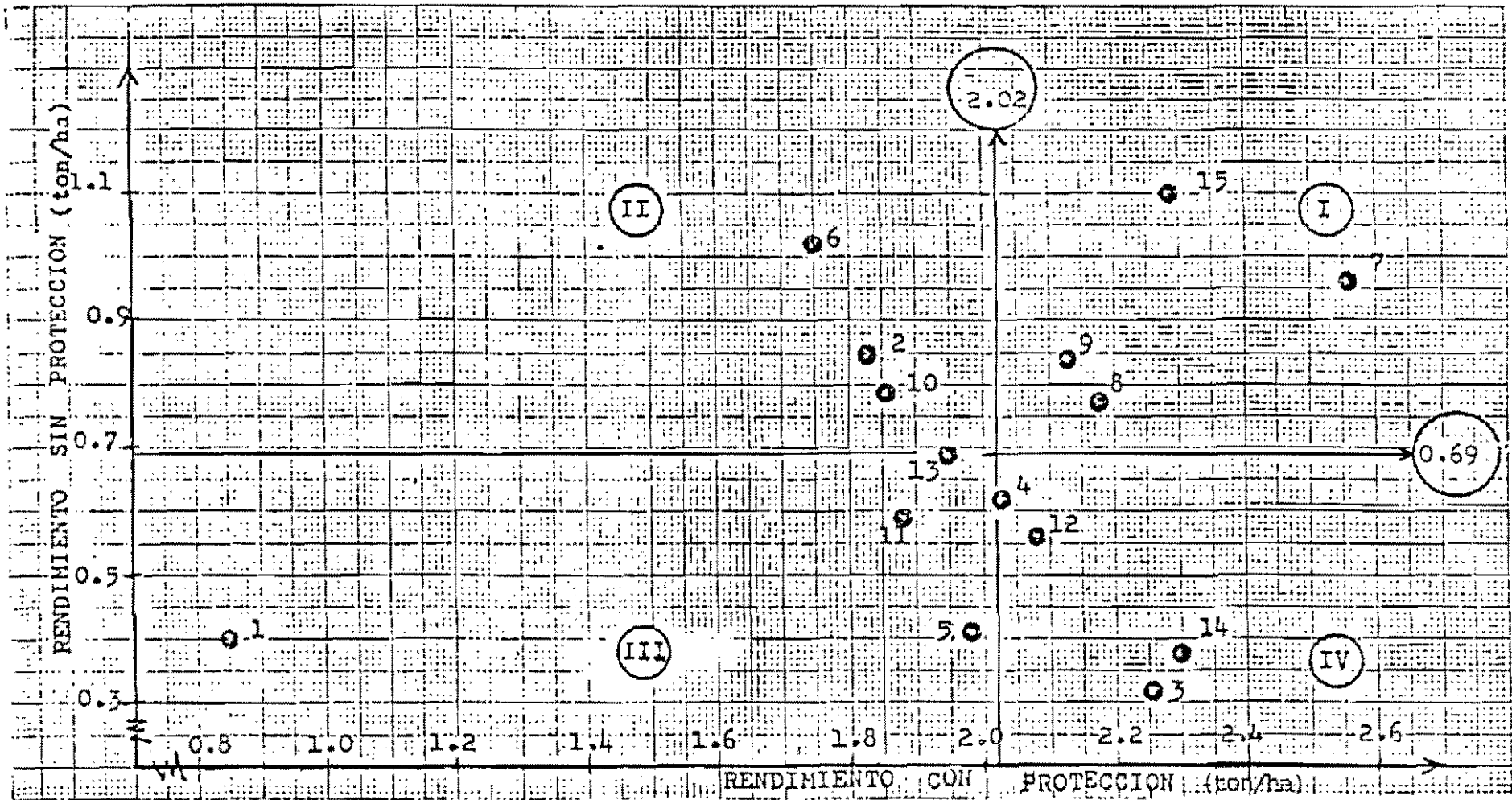


Fig. 8 Ubicación espacial de los 15 materiales en base al rendimiento con y sin protección.

Algunas modificaciones a los criterios de selección y refinamiento en los sistemas de evaluación han permitido obtener al Programa, aún bajo fuertes niveles de infestación (5.8 ninfas/hoja y 3.8 adultos/planta), material no negro que exhibe interesantes potencialidades, lográndose en la serie de experimentos realizados en 1980B, rendimiento no protegido superior a 1.9 ton/ha y porcentaje de pérdida del orden de 16.8 (*).

Tabla 14 Reducción porcentual de la producción por Empoasca y rendimiento promedio sin protección en 15 materiales de frijol

No.	Identificación	% reducción debido a Empoasca	Rendimiento promedio sin protección kg/ha	Evaluación promedio de daño
1	BAT 15	65.53	405	3.50
2	GOO124	53.69	847	2.75
3	BAT 41	85.74	322	5.00
4	BUNSI	69.29	622	4.75
5	ICA-Tui	79.22	412	3.87
6	EMP 40	41.51	1025	3.00
7	EMP 9	62.40	962	3.62
8	EMP 30	64.52	772	3.75
9	EMP 43	60.37	845	3.12
10	EMP 42	57.26	795	3.50
11	EMP 73	68.39	595	3.87
12	EMP 68	73.16	557	3.75
13	EMP 74	64.45	695	3.25
14	EMP 76	83.37	382	4.12
15	EMP 70	52.13	1097	3.62
Promedios generales		65.40	689	3.70

(*) Dr. César Cardona, Entomólogo del Programa de Frijol. Comunicación personal.

4.6. Diseño de franjas divididas (y subdivididas)

4.6.1. Características generales

Su empleo implica el uso de tratamientos con estructura factorial, cuando los factores en estudio requieren, por razones de manejo, parcelas relativamente grandes. Sería el caso, entre otros, de factores como: láminas o sistemas de riego, arreglos espaciales de siembra (en cultivos asociados), sistemas de preparación del suelo, fechas de siembra.

Para su arreglo en campo la repetición se divide en tantas franjas horizontales cuantos niveles o modalidades tenga uno de los factores, asignándolos al azar. Los niveles o modalidades del segundo factor se asignan al azar a las franjas verticales. Se repite el proceso de aleatorización para cada una de las repeticiones.

En el diseño de Franjas Divididas se sacrifica precisión en la estimación de los efectos principales de ambos factores, pero se estima con mayor precisión la interacción entre ellos. En el análisis de la varianza existen tres tipos de "error experimental", los dos primeros para la prueba de los efectos principales de los factores y el tercero para la prueba de la interacción entre factores.

Este diseño se considera una alternativa útil en casos en donde por consideraciones de manejo los factores requieran parcelas grandes y/o cuando la interacción entre factores es el principal objetivo del estudio.

En caso de que se requiera el estudio simultáneo de varios factores, como por ejemplo:

A: Protección contra Empoasca (sin control, con control hasta floración, con control todo el ciclo)

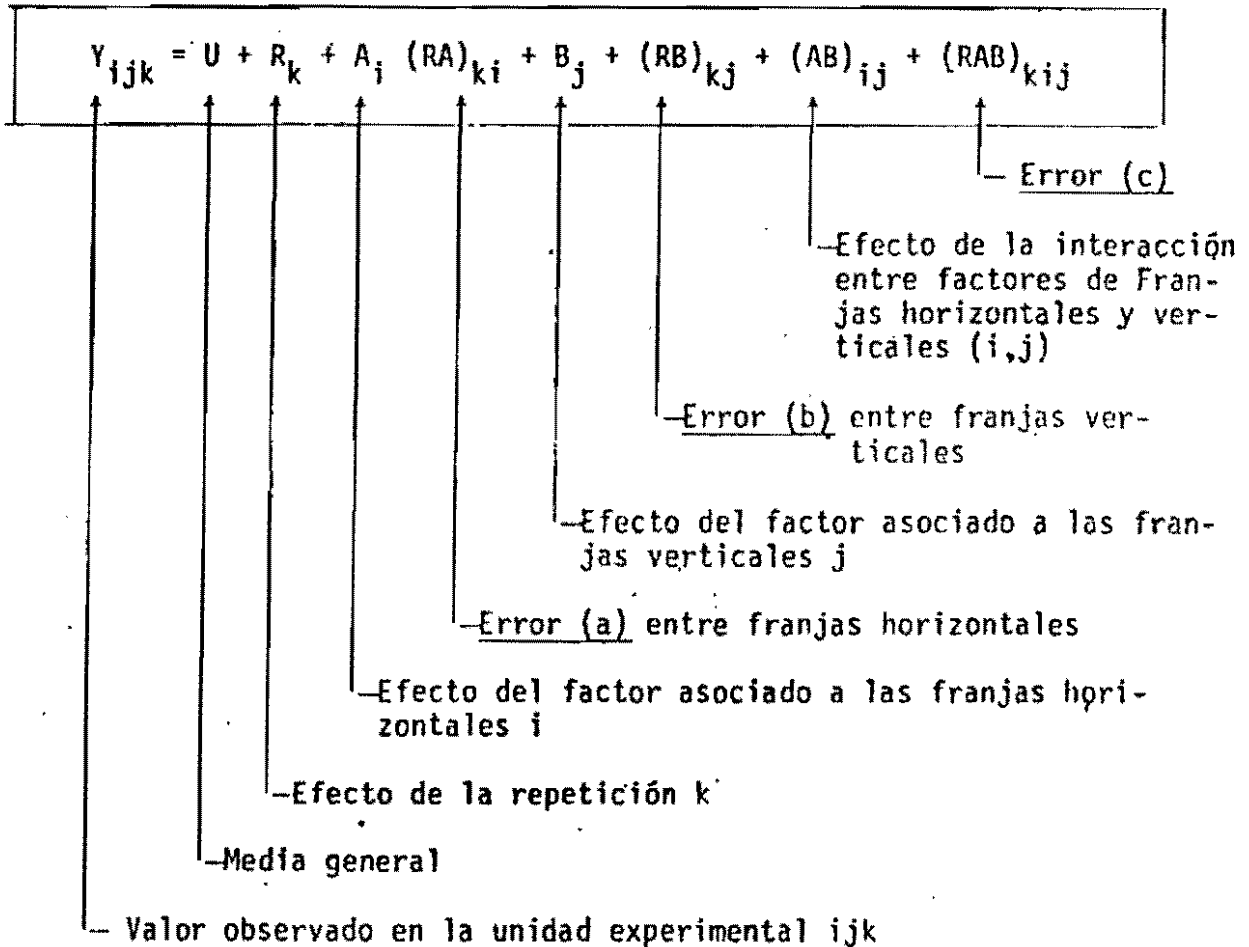
B: Densidad de siembra (150 y 220 miles de pl/ha)

C: Germoplasma (tres materiales de frijol arbustivo)

Las tres modalidades del factor A podrían asignarse al azar a las franjas horizontales y las seis combinaciones del factorial B x C constituir las franjas verticales.

Cuando en un diseño de Franjas Divididas las subparcelas se dividen en k parcelas para asignar a ellas las modalidades o niveles de un tercer factor, se originan las denominadas Franjas Subdivididas. En estos casos el factor asignado a las parcelas más pequeñas es medido con la mayor precisión. Por ejemplo, las franjas horizontales podrían estar constituidas por el sistema de siembra (en camas y en plano); las franjas verticales por el factor Riego (con y sin riego) y dividir las subparcelas para asignar en ellas al azar tres variedades de frijol.

El modelo estadístico asociado al diseño de Franjas Divididas es:



4.6.2. Ejemplo

Poblaciones y arreglos espaciales en la siembra de la asociación caupí-yuca

Para estudiar el efecto de tres arreglos espaciales y tres densidades de población (80, 110 y 140 mil pl/ha) de caupí (*Vigna unguiculata*) variedad TVX 1836-9E sembrada simultáneamente en asociación con yuca -- variedad M VEN 218 -- se realizó un ensayo en CIAT-Quilichao, empleando un diseño de Franjas Divididas con 4 repeticiones (17)

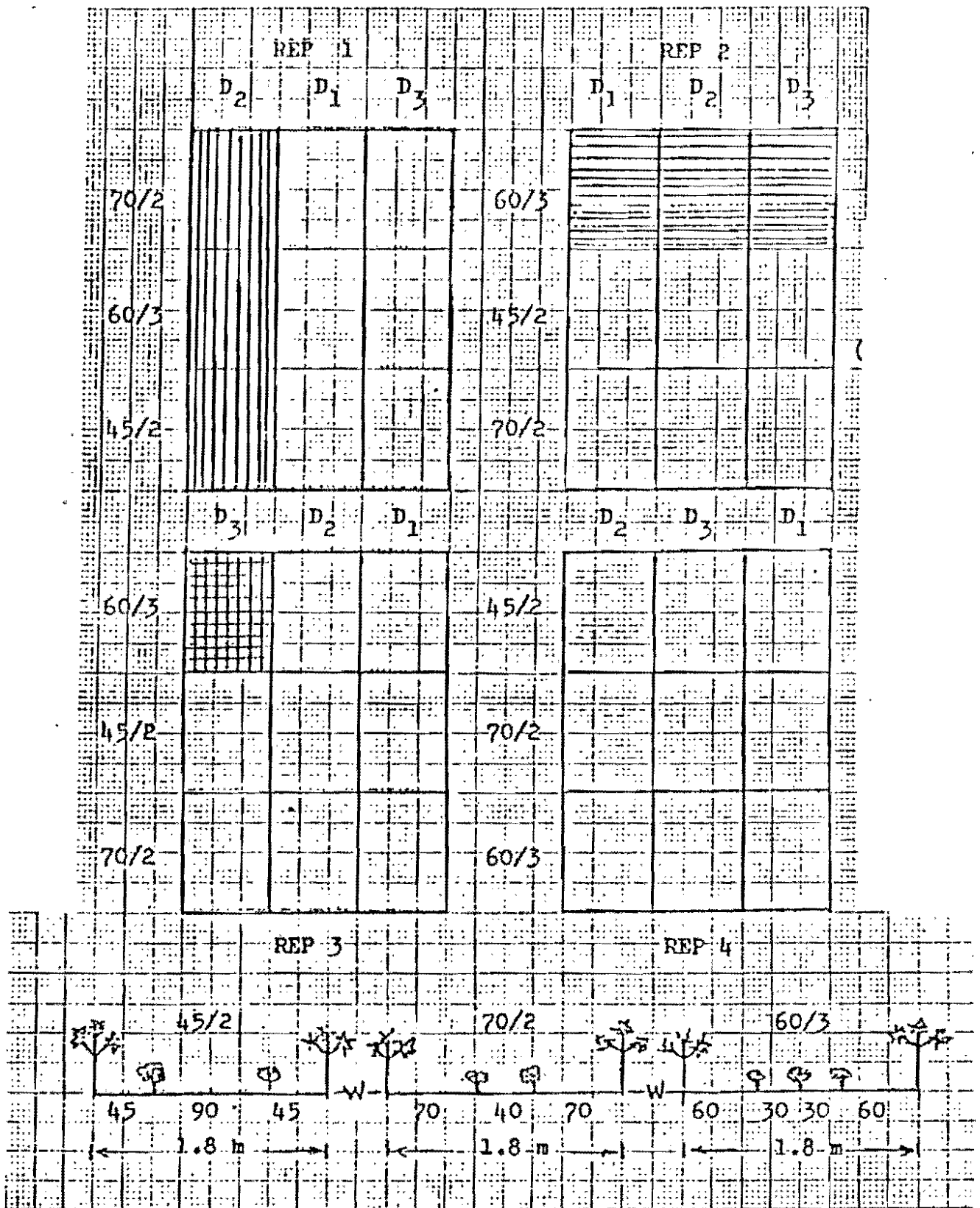
La densidad de la yuca fue constante para todos los tratamientos (1.8 m entre surcos y 0.6 m entre plantas) con sistema de siembra en plano con estacas en posición vertical. Los arreglos espaciales de caupí consideraban tanto la distancia entre los surcos de las dos especies, como el número de surcos de la leguminosa. En la Fig. 9 se esquematiza el plano de campo y los arreglos espaciales.

En la tabla 15 se resumen los rendimientos de peso total de raíces de yuca y el peso de grano del caupí al 14% de humedad (para la partición de la suma de cuadrados total considérese también las tablas auxiliares 15A, 15B y 15C). Para el análisis de varianza se podrían considerar varias alternativas en cuanto a la variable de respuesta; en vía de ilustración analizaremos el rendimiento de la leguminosa, ya que la densidad de siembra de la yuca fue constante en el ensayo.

Tabla 15 Efecto de poblaciones y arreglos espaciales en la asociación yuca-caupí. Peso total de raíces en yuca y peso de grano al 14% de humedad en caupí.
(en kg/ha)

R E P	Arreglo espacial siembra	Densidad de población (miles de pl/ha)					
		80		110		140	
		Yuca	Caupí	Yuca	Caupí	Yuca	Caupí
1	45/2	13689	1160	14815	1300	11667	1110
2		10864	992	9630	1176	10432	1131
3		13827	1356	12901	1328	15000	1253
4		13148	1151	10309	1125	9568	1131
1	60/3	10370	1083	9938	1238	8765	1218
2		17037	1206	12716	1267	13951	1299
3		15370	1350	11852	1296	10185	1629
4		11543	1254	7901	1250	10741	1281
1	70/2	15679	1023	12160	1049	11049	977
2		14506	1296	9876	1234	11728	1310
3		13518	1147	11481	1214	8889	1312
4		12407	1253	10802	1135	11420	1221

↑ ↑ ↑
Observaciones para ejemplificar el análisis de varianza en el diseño de franjas divididas



Arreglos Espaciales

Fig. 9 Esquema del plano de campo en un diseño de franjas divididas (F.H. = arreglo espacial; F.V. = densidad de población).

Tablas auxiliares para el cálculo de las sumas de cuadrados.
En todos los casos se utilizan los totales.

(15A) Repeticiones x arreglos espaciales

Arreglos	Repeticiones				Total arreglos
	1	2	3	4	
45/2	3570	3299	3937	3407	14213
60/3	3539	3772	4275	3785	15371
70/2	3049	3840	3673	3609	14171
Total repetición	10158	10911	11885	10801	43755

(15B) Repeticiones x densidad de población

Densidades	Repeticiones				Total densidades
	1	2	3	4	
80	3266	3494	3853	3658	14271
110	3587	3677	3838	3510	14612
140	3305	3740	4194	3633	14872
Total repetición	10158	10911	11885	10801	43755

(15C) Arreglos espaciales x densidad de población

Arreglos	D e n s i d a d e s			Total arreglos
	80	110	140	
45/2	4659	4929	4625	14213
60/3	4893	5051	5427	15371
70/2	4719	4632	4820	14171
Total densidad	14271	14612	14872	43755

Para la partición de la suma de cuadrados total se tendría:

Paso 1. Cálculo de la suma de cuadrados total
 $SC. TOT = 1160^2 + 1300^2 + \dots + 1135^2 + 1221^2 = 53703489.00$

Paso 2. Cálculo de la suma de cuadrados de la media
 $SC. MED \text{ o } F.C. = (43755)^2/36 = 53180556.25$

Paso 3. Cálculo de la suma de cuadrados total corregida
 $SC. TOT (C) = SC. TOT - F.C. = 522932.75$

*Paso 4. Cálculo de la suma de cuadrados de repeticiones
 $SC. REP = ((10158^2 + 10911^2 \dots + 10801^2)/9) - F.C. = 169411.63$

*Paso 5. Cálculo de la suma de cuadrados de arreglos
(franjas horizontales)
 $SC. ARREG = ((14213^2 + 15371^2 + 14171^2)/12) - F.C. = 77298.00$

*Paso 6. Cálculo de la suma de cuadrados del Error (a)
 $SC. E (a) = ((3570^2 + 3299^2 + \dots + 3673^2 + 3609^2)/3) - F.C.) - (SC. REP + SC. ARREG) = 122095.78$

**Paso 7. Cálculo de la suma de cuadrados de densidades
(franjas verticales)
 $SC. DENS = ((14271^2 + 14612^2 + 14872^2)/12) - F.C. = 15141.16$

**Paso 8. Cálculo de la suma de cuadrados del Error (b)
 $SC. E (b) = ((3266^2 + 3494^2 + \dots + 4194^2 + 3633^2)/3) - F.C.) - (SC. REP + SC. DENS) = 47409.96$

***Paso 9. Cálculo de la suma de cuadrados de la interacción
arreglos x densidad
 $SC. ARREG X DENS = ((4659^2 + 4929^2 + \dots + 4632^2 + 4820^2)/4 - F.C.) - (SC. ARREG + SC. DENS) = 40782.34$

* Véase tabla auxiliar 15A

** Véase tabla auxiliar 15B

*** Véase tabla auxiliar 15C

Paso 10. Cálculo de la suma de cuadrados del Error (c)

$$SC. E (c) = SC. TOT (C) - [(SC. REP + SC. ARREG + SC. E (a) + SC. DENS + SC. E (b) + SC. ARREG \times DENS)] = 50793.88$$

Análisis de varianza para la variable rendimiento de caupí (Vigna unguiculata) en kg/ha. Diseño en franjas divididas.

Fuentes de variación	GL	SC	CM	F _c	F _{0.05}
Repetición	3	169411.63	56470.54		
Arreglo espacial	2	77298.00	38649.00	1.90	5.14
Error (a)	6	122095.78	20349.30		
Densidad	2	15141.16	7570.58	<1	5.14
Error (b)	6	47409.96	7901.66		
Arreglo x densidad	4	40782.34	10195.59	2.41	3.26
Error (c)	12	50793.83	4232.82		
Total (c)	35	522932.75			

$$\bar{Y}_{..} = 1215.4 \text{ kg/ha} \quad S_{(c)} = 65.1 \text{ kg/ha} \quad CV_{(c)} = 5.35\%$$

4.6.3. Comentarios

Como se observa en el siguiente resumen de medias del experimento, las producciones de caupí fueron bastante uniformes en las diferentes combinaciones empleadas; la diferencia extrema en producción por efecto de densidad fue de sólo 50 kg/ha y la diferencia extrema por efecto del arreglo espacial de siembra fue de 100 kg/ha. Estas diferencias no son detectadas como significativas en el análisis de varianza, debiéndose considerar que las diferencias son atribuibles a variaciones aleatorias.

Medias de producción de caupí (kg/ha) en la asociación con yuca

Arreglos	Densidades			Medias arreglos
	80000	110000	140000	
70/2	1180	1158	1205	1181
45/2	1165	1232	1156	1184
60/3	1223	1263	1357	1281
Medias dens.	1189	1218	1239	1215

La información experimental puede complementarse con el análisis de la variable rendimiento equivalente:

$$\text{REND. EQUIV} = \text{Rend. Caupí} \times \text{Rend. Yuca} \left(\frac{\text{Precio Yuca}}{\text{Precio Caupí}} \right)$$

en forma similar a la ya presentada para el caso de la asociación frijol + maíz, o en términos de producción de proteína/ha, dependiendo de los objetivos fijados. Considerando por ejemplo, el tratamiento consistente en el arreglo espacial 60/3 con 80000 pl/ha, se tendría:

Tratamiento (60/3, 80.000)

Descripción	Yuca	Caupí
Rendimiento (kg/ha)	13580	1223
% proteína	0.71	23.6
kg. proteína/ha	96.4	288.6

un total de producción de 385 kg proteína por hectárea.

4.7. Diseño en látice

4.7.1. Características generales

- Fueron desarrollados para la experimentación en mejoramiento y selección de material genético, casos en los cuales resulta un elevado número de tratamientos, que originarían bloques completos demasiado grandes.
- Estos diseños hacen parte de un amplio grupo: "Diseños en Bloques Incompletos", en los cuales con la finalidad de un mayor control de la heterogeneidad del suelo, se fracciona cada repetición en varios subgrupos o bloques incompletos; se recomienda que éstos sean lo más homogéneos posible.
- Para los diseños en látice es más importante la homogeneidad dentro del bloque incompleto, que la homogeneidad dentro de la repetición.
- Los látices pueden ser balanceados, cuando todos los pares de tratamientos se comparan con la misma precisión; parcialmente balanceados cuando no todos los pares se comparan con la misma precisión.
- El látice balanceado requiere:
 - Que el número total de tratamientos sea un cuadrado perfecto (K^2)
 - Los tratamientos se ubican en bloques incompletos de tamaño k (parcelas), con k bloques incompletos por repetición
 - El número de repeticiones debe ser $(K + 1)$

Los látices parcialmente balanceados permiten mayor flexibilidad en la elección del número de repeticiones, denominándose látice simple cuando $r = 2$ y látice triple cuando $r = 3$. En este grupo están incluidos los látices rectangulares en los cuales el número de tratamientos no necesita ser un cuadrado perfecto.

Para la aleatorización se procede por etapas, basándose en el plano de distribución de tratamientos para cada látice específico (Proyectos de látices se encuentran en los textos clásicos como Cochran y Cox (14)).*

- Aleatorizar los bloques incompletos separada e independientemente en cada una de las repeticiones
- Aleatorizar los tratamientos dentro de los bloques incompletos
- Numerar los tratamientos a emplear al azar, con lo cual se decide cuales tratamientos conforman los bloques del diseño.

En general el análisis estadístico resulta más complicado en los látices parcialmente balanceados, limitación superable con las mayores facilidades de computación.

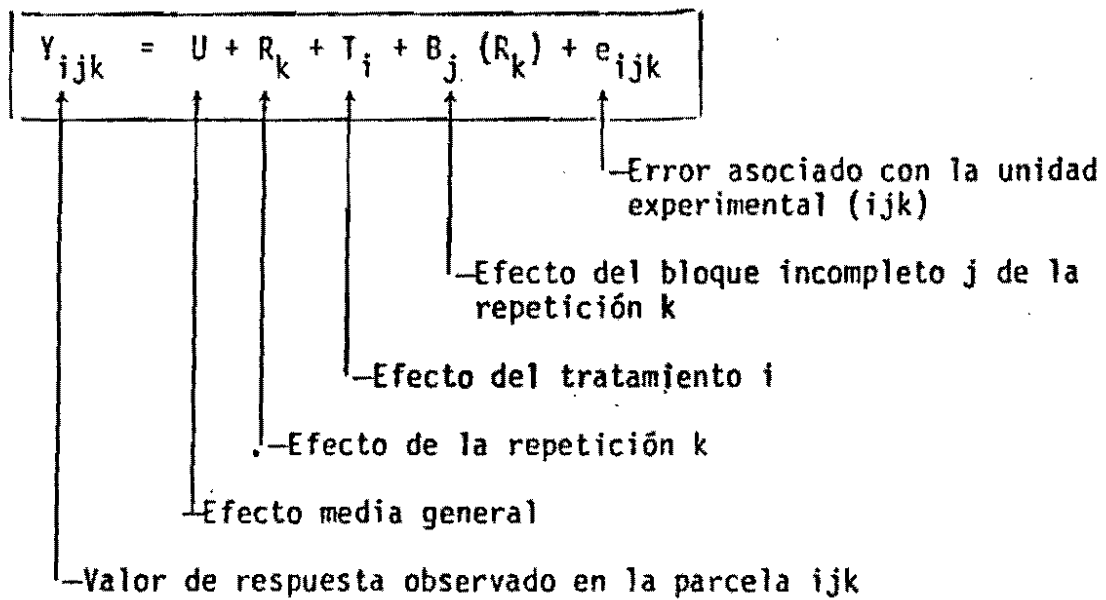
Los diseños de látice se pueden analizar en forma preliminar conforme al modelo del diseño de bloques completos al azar, considerando las repeticiones como bloques completos. Este hecho permite hacer comparaciones en relación a la ganancia en precisión (reducción del error experimental).

La ganancia en precisión del látice sobre el diseño de bloques completos al azar depende del tipo de material experimental (características del lote) y es de esperarse que aumente en la medida en que el número de tratamientos se incrementa.

(*).- Para la aleatorización Véase Cochran y Cox pag.447 y los proyectos específicos que aparecen en las pags 471 a 481

Cuando la ganancia en precisión ha sido tradicionalmente pequeña o cuando el número de repeticiones pueda aumentarse sin mayores dificultades, el técnico puede preferir tener repeticiones adicionales con un diseño más simple evitando laboriosidad operativa y cálculo de ajustes en las medias de tratamientos.

El modelo estadístico para representar una observación está expresado como:



4.7.2. Ejemplo

Vivero Internacional de Rendimiento y Adaptación de Frijoles Volubles (VIRAF) en asociación o relevo con maíz

Hasta 1978 los viveros internacionales empleaban como diseño experimental látices triple 5 x 5. Dado que el número de tratamientos era alto, se consideró difícil conseguir bloques completos homogéneos para localizar en ellos 25 variedades, por lo cual cada repetición se fragmentaba en cinco bloques incompletos, conteniendo cada uno cinco variedades. En la Fig. 10 se ilustra el plano de campo para uno de los ensayos realizados

Código: 81013
 País: Perú, Estación Experimental Cajamarca
 Fecha siembra: 22 noviembre 1978
 Fecha cosecha: 25 marzo 1979

Diseño experimental: Látice (5 x 5) 3
 Área parcela total: 12 m²
 Área parcela útil: 8 m²
 Datos en g/parcela útil

Producciones de frijol IBYAN volubles en asociación - otros colores. Plano de campo.

El número superior hace referencia al tratamiento, enseguida el rendimiento y el último el número de la parcela.

# del bloque incompleto	X					# del bloque incompleto	Y					# del bloque incompleto	Z				
	Repetición (1)						Repetición (2)						Repetición (3)				
	16	18	20	19	17		24	4	19	9	14		13	10	16	2	24
(4)	960	458	487	654	407	(4)	480	291	585	510	750	(2)	425	206	409	512	335
	21	22	23	24	25		46	47	48	49	50		71	72	73	74	75
	2	4	5	1	3		7	17	22	12	2		14	25	6	17	3
(1)	1300	375	285	1155	668	(2)	1027	305	722	912	1229	(3)	1050	1452	735	418	663
	20	19	18	17	16		45	44	43	42	41		70	69	68	67	66
	23	22	21	25	24		16	6	1	21	11		7	15	21	4	18
(5)	809	678	1478	1285	970	(1)	908	808	1405	1438	385	(4)	750	539	1440	545	540
	11	12	13	14	15		36	37	38	39	40		61	62	63	64	65
	8	6	9	7	10		25	10	15	5	20		8	11	22	19	5
(2)	610	890	845	885	1690	(5)	1090	1350	630	363	428	(5)	615	790	625	960	716
	10	9	8	7	6		35	34	33	32	31		60	59	58	57	56
	12	13	14	11	15		18	23	8	3	13		12	20	9	1	23
(3)	1190	382	1040	465	507	(3)	256	575	390	488	770	(1)	1022	498	979	1460	962
	1	2	3	4	5		26	27	28	29	30		51	52	53	54	55

Fig. 10 Plano de campo de un vivero internacional de rendimiento y adaptación de frijol (diseño látice triple 5 x 5).

en Perú, con la colaboración de la Estación Experimental de Cajamarca.

A continuación se presenta el análisis de varianza para la variable producción de frijol (en grs/parcela). Las sumas de cuadrados para el diseño en Látice se calculan en la forma acostumbrada, a excepción de aquella correspondiente a bloques incompleto/repetición (ajustada), la cual requiere cálculos adicionales. Previo al análisis obtengase las tablas auxiliares 16A, 16B y 16C.

Análisis de varianza para la variable producción de frijol (g/parcela)
 IBYAN volubles. Diseño de látice (5 x 5) 3

Fuente de variación	GL	SC	CM
Entre repeticiones	2	114146.59	57073.29
Entre tratamientos (sin ajustar)	24	7105341.25	296055.88
Entre bloque incompl/repet(ajust)	12	1428452.32	119037.69 = E _b
Error (intra bloque)	36	610948.43	16970.79 = E _e
Total (c)	74	9258888.59	

Tablas auxiliares para el calculo de las Sumas de Cuadrados
Diseño en Látice

(16A) Producción total por variedad										Total hilera (X)
(1)	4020	(2)	3041	(3)	1819	(4)	1211	(5)	1364	11455
(6)	2433	(7)	2702	(8)	1615	(9)	2334	(10)	3846	12930
(11)	1640	(12)	3124	(13)	1577	(14)	2840	(15)	1676	10857
(16)	2277	(17)	1130	(18)	1254	(19)	2209	(20)	1413	8283
(21)	4356	(22)	2025	(23)	2346	(24)	1786	(25)	3828	14341
Total columna (Y)										57866
Producción total por variedad										Total letras(Z)
(1)	4020	(9)	2334	(12)	3124	(20)	1413	(23)	2346	13237
(2)	3041	(10)	3846	(13)	1577	(16)	2277	(24)	1786	12527
(3)	1819	(6)	2433	(14)	2840	(17)	1130	(25)	3828	12050
(4)	1211	(7)	2702	(15)	1676	(18)	1254	(21)	4356	11199
(5)	1364	(8)	1615	(11)	1640	(19)	2209	(22)	2025	8853

Nota.- El número entre paréntesis hace referencia al tratamiento. La producción total por variedad se obtiene directamente de la información consignada en el plano de campo, por ejemplo :

Trat (1) 4020 = 1155 + 1405 + 1460

TOTALES DE BLOQUES INCOMPLETOS EN CADA UNA DE LAS REPETICIONES

(16B) REPETICION (1)	REPETICION (2)	REPETICION (3)
B(1) = 3783	B (1) = 4944	B(1) = 4921
B(2) = 4920	B (2) = 4195	B(2) = 2488
B(3) = 3584	B (3) = 2479	B(3) = 4318
B(4) = 2976	B (4) = 2616	B(4) = 3854
B(5) = 5221	B (5) = 3861	B(5) = 3706
TOT.REP(1)=20484	TOT.REP(2)=18095	TOT.REP(3)=19287

Obtención de los valores C_x , C_y , C_z , para el calculo de la suma de Cuadrados de Bloques incompletos/repetición (ajustado)

16C

Total hileras	-3 Total bloques	=	C_x
11455	-3 (3783)	=	106
12930	-3 (4920)	=	-1830
10857	-3 (3584)	=	105
8283	-3 (2976)	=	-645
14341	-3 (5221)	=	-1322

$$R_x = \sum C_x = -3586$$

Total columnas	-3 Total bloques	=	C_y
14726	-3 (4944)	=	-106
12022	-3 (4195)	=	-563
8611	-3 (2479)	=	1174
10380	-3 (2616)	=	2532
12127	-3 (3861)	=	544

$$R_y = \sum C_y = 3581$$

Total letras	-3 Total bloques	=	C_z
13237	-3 (4921)	=	-1526
12527	-3 (2488)	=	5063
12050	-3 (4318)	=	-904
11199	-3 (3854)	=	-363
8853	-3 (3706)	=	-2265

$$R_z = \sum C_z = 5$$

↑ número de repeticiones

Nota.- Verifique que $(R_x + R_y + R_z) = 0$ siempre

Para el Calculo de las sumas de cuadrados se seguirian los siguientes pasos:

Paso 1. Calculo de la suma de cuadrados total

$$SC.TOT = 1190^2 + 382^2 + \dots + 512^2 + 336^2 = 53905208$$

(súmese los cuadrados de los rendimientos obtenidos en las parcelas 1 a 75). Ver plano de campo

Paso 2. Calculo de la suma de cuadrados de la media

$$F.C. = (57866)^2 / 75 = 44646319.41$$

Paso 3. Calculo de la suma de cuadrados total corregida

$$SC.TOT(C) = SC.TOT - F.C. = 9258888.59$$

Paso 4. Calculo de la suma de cuadrados de repeticiones

$$SC.REP = ((20484^2 + 18095^2 + 19287^2) / 25) - F.C. = 114146.59$$

Paso 5. Calculo de la suma de cuadrados de tratamientos (sin ajustar)

$$SC.TRAT(\text{sin ajuste}) = ((4020^2 + 3041^2 + \dots + 3828^2) / 3) - F.C. = 7105341.25$$

Paso 6. Calculo de la suma de cuadrados de Bloques Incompletos/repetición (ajustado)

$$SC.BLQ = \frac{\sum C^2}{kr(r-1)} - \frac{\sum R^2}{k^2r(r-1)} = \frac{\sum C^2}{5(3)(2)} - \frac{\sum R^2}{25(3)(2)}$$

$$SC.BLQ = ((106)^2 + (-1830)^2 + \dots + (-2265)^2) / 30 - ((-3586)^2 + (3581)^2 + (5)^2) / 150 = 1428452.32$$

Paso 7. Calculo de la suma de cuadrados del Error (intra bloque)

$$SC.Error = SC.TOT(C) - (SC.REP + SC.TRAT(c.a) + SC.BLQ(a)) = 9258888.59 - (114146.59 + 7105341.25 + 1428452.32) = 610948.43$$

* Véase tabla auxiliar 15B

** Véase tabla auxiliar 16A

*** Véase tabla auxiliar 16C

Para obtener los totales de tratamientos ajustados por los efectos de bloques incompletos, se calcula un factor de ponderación (u) en la siguiente forma:

$$u = (E_b - E_e) / E_b(r-1)k$$

en donde E_b y E_e son los cuadrados medios para bloques incompletos y error intrabloque, respectivamente. Para el caso ilustrado el factor de ponderación es :

$$u = (119037.69 - 169070.79) / 119037.69(2)(5) = 0.0857$$

En el caso en que E_b sea menor que E_e , el factor de ponderación se toma como cero y no se realiza ajuste de los totales de tratamientos, siendo analizado el experimento como Bloques completos al azar (14)

El mismo experimento analizado en forma preliminar conforme al modelo de un diseño de Bloques completos al azar arroja los siguientes resultados, teniendo en cuenta que:

$$SC.Error (en BCA) = SC.Error(en látice) + SC.Bloque Incompl/repet(ajus)$$

Fuente de variación	GL	SC	CM	F_c	$F_{t,0.01}$
Entre repeticiones	2	114146.59	57073.29		
Entre tratamientos	24	7105341.25	296055.88	6.97	2.20
Error experimental	48	2039400.75	42487.52		
Total (c)	74	9258888.59			

$$\bar{Y}_{..} = 771.5 \text{ g/parcela} \quad S = 206 \text{ g/parcela} \quad CV\% = 26.7$$

La eficiencia del diseño en látice (con bloques incompletos de 5 parcelas) con relación al diseño de Bloques completos al azar (con 25 parcelas) puede medirse relacionando:

$$CM.Error (en BCA) / CM.Error efectivo (en látice)$$

relación que se espera sea mayor que uno, en la medida que aumente la eficiencia.

el CM.Error Efectivo se obtiene mediante la expresión:

$$CM.Error Ef = E_e \left(1 + \frac{rku}{R+1} \right) = 16970.79 \left(1 + \frac{(3)(5)(0.0857)}{6} \right) = 20606.78$$

4.7.3. Comentarios

Para fines prácticos dos diseños experimentales se consideran equivalentes, si las varianzas de las medias de tratamientos son iguales. El teorema del límite central indica que la varianza de la media es igual a la varianza de la población de la cual se extrajo la muestra, sobre el número de repeticiones. La varianza de la población de la cual se extrajo la muestra está estimada por el Cuadrado Medio del Error (CME) en el análisis de la varianza; por consiguiente si dos diseños A y B son equivalentes (igualmente eficientes) se tendrá la siguiente igualdad :

$$\frac{\text{CME (diseño A)}}{\text{Número repet. en A}} = \frac{\text{CME (diseño B)}}{\text{Número repet. en B}}$$

de donde:

$$\frac{\text{CME (diseño A)}}{\text{CME (diseño B)}} = \frac{r_A}{r_B}$$

relación denominada "Eficiencia Relativa" del diseño B con relación al diseño A (*).

Para el ejemplo considerado la eficiencia relativa del látice triple (diseño B) con relación al diseño de bloques completos al azar (diseño A) es $42487.52/20606.78 = 2.06$, indicando que para lograr la misma varianza de la media hubiera sido preciso emplear $3 \times 2.06 = 6$ repeticiones, con el diseño de bloques completos al azar.

En reciente trabajo de AMEZQUITA y GARCIA (1) en el cual se resumen las principales características estadísticas de tres ciclos de los Viveros Internacionales de Rendimiento y Adaptación de Frijol (IBYAN), efectuados en látice 5×5 y parcela total de 12 m^2 , se obtuvieron los siguientes resultados en cuanto a eficiencia relativa del látice con relación al diseño de bloques completos al azar.

(*) Para un cálculo más exacto debe tenerse en cuenta un factor de ajuste relacionado con los grados de libertad asociados a cada estimación del error experimental.

Tabla 16 D Características del diseño de látice (5 x 5) empleado en tres ciclos del IBYAN - Eficiencia relativa

Ciclos	Parcela útil m ²	Repeticiones	Número sitios	Eficiencia relativa promedio	% de ensayos con E.R. menor de 1.10
1976	6.0	4	54	1.14	66.7
1977 negro	6.0	3	33	1.19	39.4
1977 color	6.0	3	21	1.06	71.4
1978 negro	5.4	3	22	1.21	45.5
1978 color	5.4	3	27	1.15	48.1

FUENTE: Amézquita y García (1), en base a cuadros 1, 5, 6. Incluye solo las localidades procesadas hasta octubre de 1979. En todos los casos parcela total de 12 m²

De acuerdo al precitado estudio, la eficiencia relativa promedio fue de 1.15 y en el 55.4% de los 157 sitios considerados, la eficiencia fue inferior a 1.10. No se observó relación alguna entre la eficiencia del diseño de látice y el nivel de rendimiento de la localidad.

Los autores atribuyen la baja eficiencia del látice con relación al diseño de bloques completos al azar a dos causas principales:

«

1. La homogeneidad del suelo dentro de replicación, lo cual hace que la varianza extraída por el efecto "bloque incompleto" sea no significativa.
2. La asignación no apropiada de bloques incompletos dentro de la replicación, lo cual puede ocasionar que la varianza dentro de bloques incompletos no sea mínima ni la varianza entre bloques incompletos sea máxima.

En el primer caso, la utilización del diseño en látice no es necesaria. En el segundo, el bloqueo inadecuado demerita la capacidad potencial del diseño en látice para extraer el efecto de heterogeneidad del suelo " (1).

Como consecuencia de la poca eficiencia promedio obtenida con el diseño en látice, a partir de 1979 los Viveros Internacionales emplean diseños en Bloques Completos al azar. Por otra parte, debido a la especificidad que los viveros han tenido, el número de tratamientos (materiales) se puede reducir en cada ensayo, al considerar factores tales como hábito de crecimiento, color y tamaño del grano y el clima al cual se adapta.

CAPITULO QUINTO

ORGANIZACION DEL PROGRAMA DE FRIJOL

5.1. Problemática del cultivo

Existe para el cultivo de frijol una gran diferencia entre el potencial de rendimiento (logrado a nivel experimental) y los rendimientos obtenidos por los productores. Más de 5 ton/ha han sido reportadas bajo condiciones experimentales y con variedades tradicionales en cultivo intensivo, se han logrado producciones entre 2 y 4 ton/ha en la sede del CIAT-Palmira. En contraste, los promedios nacionales son del orden de 600 kg/ha y de una ton/ha en las mejores regiones frijoleras de América Latina (7,12).

Entre los factores que inciden para una diferencia tan marcada pueden señalarse (4, 7, 8)

- La planta de frijol es atacada severamente por muchas enfermedades y plagas, ampliamente distribuidas. La mayoría de las enfermedades principales del cultivo son transmitidas por la semilla, lo cual contribuye a la mala germinación de la semilla utilizada por los agricultores y al brote de epifitóticos masivos.
- Deficiencias en la arquitectura de las variedades criollas. En unas el tallo es débil y las vainas entran en contacto con el suelo; en otras, no existe un mecanismo de compensación para superar la baja densidad de población ni capacidad de recuperación cuando la floración inicial coincide con época de sequía o de alta temperatura.
- El cultivo de frijol puede ser atacado por muchas plagas insectiles, las cuales reducen la población sembrada, causan defoliación o pérdidas en vaina y semilla. Además, existen plagas que ocasionan pérdidas bajo condiciones de almacenamiento.
- Desplazamiento de la producción a tierras menos fértiles, con suelos de un bajo contenido de fósforo aprovechable y alta acidez, acompañada de altos niveles de aluminio y manganeso.

- Por otra parte, las preferencias de los consumidores (color, forma y tamaño del grano) que varían de acuerdo con los países y las regiones, dificultan o limitan la transferencia del germoplasma, incluso de variedades prometedoras.
- Factores socioeconómicos como dificultades de mercadeo, fluctuaciones bruscas en los precios, restricciones de crédito, servicios de extensión deficientes, insuficiencia e inconsistencia del apoyo investigativo, son frecuentes en la mayoría de los países latinoamericanos.

5.2. Objetivos y estrategias del Programa de Fríjol del CIAT

El Programa tiene como principal objetivo el desarrollo, en colaboración con los programas nacionales, de la tecnología que permita aumentar los rendimientos de frijol en América Latina. Las estrategias para lograr este objetivo puede agruparse en cuatro actividades (7, 8, 12):

1. Producción de germoplasma mejorado, con buena capacidad de rendimiento y con resistencia a las enfermedades y plagas más importantes del cultivo de frijol y tolerancia a estrés por humedad.
2. Desarrollo y validación de prácticas agronómicas sencillas y con mínima utilización de insumos agrícolas.
3. Adiestramiento del personal científico de instituciones nacionales (*)
4. Colaboración con los programas nacionales de frijol y con otros organismos regionales o internacionales que trabajan con el cultivo.

Para lograr su principal objetivo -- aumentar el rendimiento y productividad del frijol -- el Programa adelanta un intensivo trabajo de mejoramiento que comprende (30)

(*) El CIAT brinda oportunidad de adiestramiento mediante cursos cortos de producción, internos posgraduados en producción o en investigación y científicos posdoctorales. Para frijol está disponible una serie de aproximadamente 20 unidades audiotutoriales en una amplia gama de temas (enfermedades, insectos plaga, fisiología, morfología, control de malezas, etc.).


- Continua identificación y evaluación de fuentes de diversidad genética (++) , esenciales para corregir las deficiencias morfofisiológicas del frijol.
- Aprovechamiento de la variación genética disponible empleando procedimientos de mejoramiento más efectivos.
- El ensayo de líneas experimentales y selecciones avanzadas en condiciones ecológicas muy diversas, para satisfacer mejor las necesidades de consumo de los países cooperadores, ensayos que además permiten determinar la adaptabilidad de los materiales.

Los proyectos de mejoramiento del Programa de Frijol del CIAT aplican una doble estrategia (30).

- Se realizan esfuerzos para eliminar los caracteres genéticos que limitan la productividad del cultivo. Por ejemplo, el Programa pone énfasis en mejorar la resistencia del frijol a enfermedades, a insectos y su tolerancia a la sequía.
- Se procura la máxima expresión de la productividad potencial de la planta a la luz de los estudios sobre los procesos fisiológicos que controlan esa productividad. Proyectos específicos para mejorar individualmente algunos caracteres simples o simultáneamente dos o más caracteres que deterioren el rendimiento.

El equipo científico del Programa está conformado por: dos fitomejoradores

(++) El banco de germoplasma del CIAT dispone de más de 21000 accesiones de Phaseolus spp., principalmente P. vulgaris, obtenido en más de 20 países. Germoplasma adicional es periódicamente recolectado. La Unidad de Recursos Genéticos coordina la recolección, y es la responsable del mantenimiento, la caracterización morfológica y su distribución.

para frijol arbustivo (+), un mejorador para frijol voluble, un entomólogo, un fitopatólogo, un virólogo, un fisiólogo, un microbiólogo, un economista, un agrónomo para estudios de suelos, un agrónomo para ensayos internacionales y un agrónomo  en sistemas de cultivos. Otros cuatro miembros del Programa tienen su sede en importantes áreas productoras de frijol de América Latina, trabajando directamente con los programas nacionales (8).

5.3. Desarrollo y evaluación de germoplasma

El material parental incluye cultivares de programas nacionales, accesiones del banco de germoplasma, líneas experimentales o selecciones, en varios estados de desarrollo y evaluación (véase Fig. 11). Antes de iniciar cada ciclo de cruzamientos se pone al día la lista de progenitores aprovechando la información disponible procedente de varios viveros del Programa, y teniendo en cuenta el desempeño de progenies, requerimientos especiales de colaboradores o de la dirección del Programa.⁽⁺⁺⁾

Las cruces se realizan manualmente en casas de malla o en campos de cruzamiento en CIAT-Palmira, Bitaco y Popayán. El número de cruces para los diferentes proyectos toma en cuenta las prioridades del Programa y las facilidades disponibles para el tamizado ("screening"), empleándose aproximadamente 500 progenitores en más de 1500 cruces por año.(8,12)

(+) Uno concentra esfuerzos para incrementar niveles de resistencia a enfermedades e insectos, especialmente aquellos prevalecientes en climas cálidos. El otro se esfuerza en mejorar el potencial de rendimiento a través de mejor arquitectura de planta, incremento de la tolerancia a factores limitantes de suelo y clima y resistencia a enfermedades prevalecientes en regiones frías.

(++) El computador en que procesa la Unidad de Servicio de Datos y el Servicio de Información de Frijol (SIFRI) presta una valiosa colaboración para documentar y evaluar en conjunto, la información requerida por el Equipo de Frijol.

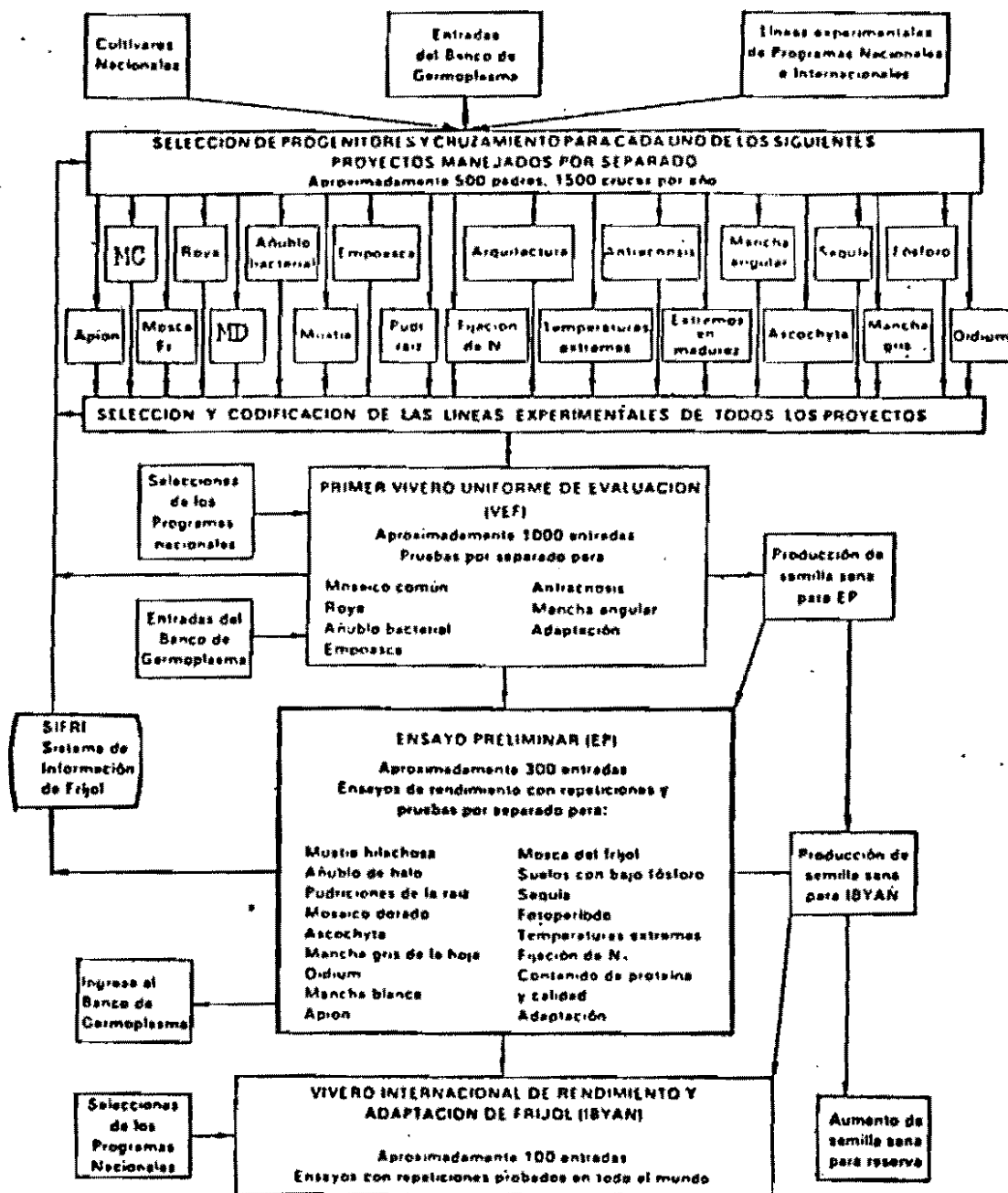


Figura 11. Desarrollo de germoplasma y esquema de evaluación del Programa de Frijol del CIAT.

Todo el material segregante y familias de generaciones tempranas son agrupadas y manejadas separadamente por cada proyecto en particular, hasta que las selecciones promisorias entran al primer vivero uniforme de evaluación (VEF).

Para el mejoramiento simultáneo o la incorporación de dos o más características, se cruzan padres que posean múltiples cualidades complementarias y las generaciones tempranas se tamizan en forma simultánea, alternante o divergente (12).

- i) Simultánea siempre y cuando las técnicas de inoculación, tamizado y selección sean compatibles. Es el caso por ejemplo de antracnosis y mancha angular; bacteriosis y roya.
- ii) Alternante por ejemplo, la población F_2 se tamiza primero para resistencia a antracnosis en Popayán y el material sobreviviente se evalúa posteriormente, en CIAT-Quilichao para tolerancia a bajo contenido de fósforo en el suelo o en CIAT-Palmira para Empoasca.
- iii) Divergente por ejemplo cuando la población es tamizada inicialmente para un carácter primario o el carácter de más alta heredabilidad -- principalmente resistencia a enfermedades -- y luego la semilla de plantas seleccionadas se divide; una parte se emplea para la prueba de confirmación de progenie y la restante se usa para evaluarse contra factores adicionales.

El Programa de Frijol conduce cada año dos viveros uniformes (VEF y EP); el término "uniforme" se refiere al tamizado y evaluación para un carácter dado, bajo similares condiciones y con igual énfasis para todos los materiales, independiente de su fuente de origen, constitución genética o estado de desarrollo. Estos viveros integran las actividades de todos los miembros del equipo de frijol y colaboradores, realizándose en pocas localidades de Colombia (véase tabla 2, pág. 21) o del exterior, que representan las prin-

principales zonas ecológicas productoras de frijol.

A continuación se resumen las principales características de los tres tipos de viveros o ensayos que integran gradualmente el proceso de desarrollo de germoplasma del Programa de Frijol del CIAT (12,13,30).

Vivero Equipo de Frijol (VEF)

1. Se desarrollan entre julio y diciembre de cada año
2. Se evalúan entre 500 y 1000 entradas provenientes de programas nacionales, del banco de germoplasma o nuevas líneas experimentales desarrolladas en el CIAT. Por ejemplo, en 1979 se evaluaron 594 materiales de los cuales 485 provenían de líneas del Programa de Frijol.
3. Se realizan evaluaciones por su adaptación a Palmira y Popayán y por su resistencia a enfermedades y plagas en cuatro viveros separados, así:

- Empoasca	- Bacteriosis y Roya
- Antracnosis y Mancha Angular	- Virus del Mosaico Común
4. Se incrementa semilla para los ensayos preliminares (EP).
5. Las líneas seleccionadas pasan al ensayo preliminar de rendimiento.

Ensayo preliminar de rendimiento (EP)

1. Este tipo de vivero dura un año, desde enero a diciembre.
2. Se reevalúa el comportamiento de los materiales con respecto a plagas y enfermedades, en adición: su rendimiento, tolerancia a factores climáticos y edáficos adversos, calidad del grano y otras características.

3. Se evalúan entre 100 y 300 materiales, todos procedentes del VEF. Por ejemplo en 1980 el EP consistió de 109 materiales seleccionados de las 594 entradas evaluadas en el VEF de 1979.
4. Los ensayos EP son replicados total o parcialmente, en dos o más localidades de Colombia (Palmira, Quilichao, Popayán, La Selva) y en otros sitios claves del mundo, especialmente por su adaptación o tolerancia a factores bióticos adversos no presentes en Colombia.
5. Se efectúan tamizados ("screening") por separado para:

<ul style="list-style-type: none"> • Mustia hilachosa • Añublo de halo • Pudriciones radicales • Virus del mosaico dorado (*) • Mancha de Ascochyta • Mancha gris • Mildew polvoso • Mancha Blanca • <u>Apion</u> (*) • Mosca del frijol (*) • Empoasca • Acaros • Brúchidos 	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo contenido de fósforo • Resistencia a sequía • Fotoperfodo • Resistencia a temperaturas extremas • Fijación de N₂ • Calidad y contenido de proteína • Adaptación (++)
---	--
6. Los estimativos de rendimiento se realizan a partir de ensayos en CIAT-Palmira, CIAT-Quilichao y Popayán. Se emplean parcelas de 3 surcos de 3 m de largo con 3 repeticiones. El área neta de la parcela es de 3.6 m², excluyendo 0.5 m de borde de cabecera.
7. Se incrementa (en Dagua-Valle) semilla limpia para los Viveros Internacionales de Rendimiento y Adaptación.

(*) Realizados fuera de Colombia.

(++) Apreciación visual del comportamiento general en Restrepo (V) y La Selva (A).

8. Los resultados de las evaluaciones sirven de pauta para escoger las líneas que integrarán el IBYAN.

Vivero Internacional de Rendimiento y Adaptación de Fríjol (IBYAN/VIRAF)

1. Se iniciaron en 1976 para fríjol arbustivo y en 1978 para fríjol voluble. Se realizan entre enero y diciembre de cada año.
2. Se prueban líneas avanzadas y materiales seleccionados de los EP, incluyéndose además testigos locales, internacionales y testigos élite.
3. En su distribución se tiende a darles mayor especificidad, teniendo en cuenta en la elección de los materiales, su hábito de crecimiento, color y tamaño de grano y el clima al que se adapta (se han sugerido 16 clases de ensayo, de los cuales 10 serían para fríjol arbustivo). Se ensayarán solo aquellos materiales que pueden convertirse en variedades comerciales o de autoconsumo en la región donde se distribuye el ensayo.
4. El número de entradas no es fijo, oscilando entre 9 y 16 materiales; se emplea el diseño de bloques completos al azar con 3 repeticiones.
5. Las evaluaciones realizadas en las diferentes regiones, servirán de base para la selección de materiales. Se incrementa (en Dagua-Valle) semilla sana para reserva y cumplir requerimientos de semilla por parte de los programas nacionales.

5.4. Sistema de información de frijol (SIFRI)

La gran cantidad de datos que se generan tanto en el Banco de Germoplasma (en la caracterización morfoagronómica del material), como en las diferentes evaluaciones realizadas en todo el proceso de desarrollo de germoplasma mejorado, deben ser manejados en forma eficiente y oportuna, para lo cual se requiere un sistema de información:

Un sistema de información es un conjunto de elementos que tienen como propósito procesar datos y elaborar reportes, que permitan tomar decisiones adecuadas para el logro de los objetivos de una institución o programa. El procesamiento se refiere al registro y manipulación necesaria para convertir los datos a una forma depurada y útil. Se entiende por información el conjunto de datos seleccionados, organizados o transformados, con respecto a las necesidades del usuario, en relación al problema en estudio.

El SIFRI proporciona asistencia para satisfacer los principales objetivos del Programa de Frijol. La asistencia incluye el mantenimiento, actualización y distribución de información, sobre las diferentes evaluaciones en las cuales participa el personal del Equipo de Frijol. El sistema permite manejar y procesar grandes volúmenes de datos, evita duplicaciones, facilita compartir la información por varias personas o disciplinas, en forma oportuna (5,12,13)

La información compilada se distribuye por intermedio del sistema a todos los miembros del Programa. Por ejemplo, los viveros preliminares (VEF y EP) producen datos cuyo procesamiento permite al SIFRI generar informes que facilitan continuar con el proceso, bien sea elaborando listados especiales sobre fuentes de resistencia a enfermedades específicas o bien resumiendo características o resultados, que facilitan la selección de material (véanse tablas 17 y 18). El sistema permite buscar cruzamientos en que intervengan determinados progenitores o contestar preguntas específicas como: Existe el híbrido entre P684 x P685 y cuál es su número?

Tabla 17. Fuentes de resistencia a enfermedades específicas del frijol.

<u>Bacteriosis común</u>	<u>Añublo de halo</u>	<u>Roya</u>	<u>Antracnosis</u>	<u>Mancha angular de la hoja</u>	<u>Mildeo polvoso</u>	<u>Mancha blanca de la hoja</u>	<u>Pudriciones de la raíz</u>
BAC 17	Aete 1/37	BAT 67	AB 136	A 21	A 40	BAT 527	BAT 527
BAC 30	G 2858	BAT 76	BAT 44	BAT 67	BAT 527	G 2618	BAT 910
BAC 57	G 3353	BAT 93	BAT 841	G 1805	BAT 858	G 2858	Porrillo-
BAC 81	G 4326,	BAT 445	G 2333	G 2335			Sintético
BAC 82	G 4391	Cocacho	G 2618	G 4721			
BAT 93		G 3834	G 2839	G 5653			
BAT 614		G 4489	G 3991				
G 11899		G 5652	G 5653				
G.N. NEBR.		G 5653	Mexico 222				
No.1-27		G 5711	T042-6P				
		G 5764	V 7917				
		Mexico 235	V 7918				
		Redlands-	V 7920				
		Pioneer					

Tabla 18. Ejemplificación de la información codificada de resultados en Ensayos Preliminares.

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS PRELIMINARES EP 1980																																				
LISTADO FINAL																																				
GRUPO 80 - MEDIANO Y GRANDE																																				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	
Identificación	Mdb	Fr	Cal	Maduración C	Rendimiento CBL	Rendimiento CSQ	Rendimiento CAL	Rendimiento QA	Rendimiento QB	Rendimiento QC	Maduración P.B.I.	Rendimiento P.B.I.	Maduración P.A.I.	Rendimiento P.A.I.	Mexico Comun	Bacterias Comun	Ahuc de Hilo	Roy	Anhacosas	Mancha Angular	Mancha Blanca	Mildew Polvoso	Mosca Hielchosa	Empoxica	Acaso Blanco	Mosca de Enjil	Fotoperido C	Adaptación V	Adaptación L	Reducción Rio CSQ	Diferencia de Temp CSQ	Pielona	Fructificación N	No EP 80	ESTAN 80	
	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
BAT0793	ZV	M	CREMA	RD	80	776	1151	1898	1822	1805	1402	90	1632	105	2492	R	4	5	5	5	2	2	4	3	4	5	13	1M	4	4	3	1	30	1.5	44	
BAT0792	ZV	M	CREMA	MT	77	1101	1404	1713	2103	2548	2135	86	1222	96	3097	R	4	1	1	5	3	5	5	5	3	7	3A	4	5	1	2	25	1.7	91	*	
BAT0861	3A	M	CANARID		83	1070	1426	1777	2501	2523	1902	92	2037	105	2884	R	3	1	5	R	5	2	5	4	5	3	20	4A	4	5	1	2	26	1.0	54	
BAT0957	3A	M	CRIS		84	1366	1453	1798	1892	1516	1495	92	1503	105	2572	R	4	1	R	5	3	5	4	4	5	3	3	5A	4	4	1	2	29	1.8	55	
BAT0858	3V	M	CRIS		84	1092	1568	1943	1785	1632	1631	95	1988	105	2904	R	5	1	1	5	5	5	4	4	5	3	9	5A	4	5	1	2	27	2.1	56	
BAT0950	VA	M	DOJO	MT	80	943	638	1400	2254	1795	1387	86	1222	101	2213	R	3	5	5	5	5	1	5	5	5	4	5	5A	4	3	4	3	27	1.2	84	
BAT0958	2A	M	DOJAO		80	903	765	1018	1686	1977	2392	87	1293	105	1521	R	4	5	5	5	4	4	4	2	5	4	0	5A	4	5	2	2	29	1.2	61	
BAT0995	3A	M	MARRON	MT	84	681	893	1378	1980	2186	1203	93	1390	105	1536	R	4	5	5	5	5	2	4	4	5	4	4	5A	4	5	2	2	30	1.3	86	
BAT1079	1	V	MARRON	MT	80	1151	861	1468	1433	1581	1233	90	1129	105	1800	R	2	5	5	5	4	2	5	5	5	3	14	1M	3	4	3	4	23	1.0	87	
BAT1081	1	M	CREMA	MT	78	1033	1027	1757	1254	1315	1277	86	1223	90	2515	R	4	5	1	5	4	1	5	5	5	4	3	1M	4	5	3	4	24	1.8	88	*
BAT1105	ZV	V	CAFE	MT	80	992	1217	1758	1733	1681	1526	93	2179	105	2686	R	3	5	5	5	4	3	3	4	3	4	5	5A	4	4	2	2	27	2.4	89	*
BAT1129	ZV	M	CRIS		80	1058	1497	2305	2078	1857	1932	99	2025	105	2228	R	5	5	5	5	3	4	4	4	5	3	0	5A	4	4	2	2	28	1.3	85	
BAT1145	VA	M	CREMA	MT	77	940	510	651	1370	1790	1866	86	1518	100	2478	R	4	1	1	5	5	5	5	5	4	3	14	2M	5	5	1	1	29		90	
ICA L22	1	C	MARRON	MT	80	492	1295	1082	1735	1595	2302	86	1029	90	2238	R	3	5	5	5	4	1	5	5	5	4	24	5A	4	4	1	1	24		82	
ICA L24	1	C	MARRON	MT	80	954	1195	1558	2093	1812	2391	86	1054	90	2351	R	4	5	5	5	5	1	5	5	5	4	25	2A	3	4	2	1	24		TE	

La colección de datos organizados en el sistema de información se amplía continuamente, especialmente en lo que respecta a los archivos de rendimiento y las evaluaciones de las accesiones del banco de germoplasma, disponiéndose entre otros de los siguientes archivos: banco de germoplasma, banco de cruzamientos, banco de variedades promisorias, reacciones a enfermedades de material promisorio (según ciclo de siembra de las diferentes localidades), porcentajes de germinación y vigor de las accesiones del banco de germoplasma, resultados de los Viveros del Equipo de Fríjol (VEF), resultados de los Ensayos Preliminares (EP). Véase por ejemplo la tabla 18.

El conjunto de la información permite al equipo de fríjol tomar decisiones en forma oportuna y confiable, siendo imposible de manejar eficientemente el programa sin la colaboración que presta el servicio de información de fríjol (SIFRI).

Bibliografía

1. AMEZQUITA, M.C. y GARCIA, J.A. Estudio descriptivo de algunos parámetros estadísticos en base a tres ciclos de información generada por el IBYAN (Vivero Internacional de Rendimiento y Adaptación de Frijol (Phaseolus vulgaris L.) Cali, Colombia. Sección de Servicios Estadísticos - USD - CIAT, 1980. 18 p (fotocopiado).
2. ARNON, I. Organización y Administración de la Investigación Agrícola. Lima, Perú. IICA-Zona Andina, 1972. 341 p.
3. BAENA, D. et al. Estudio de la heterogeneidad del suelo, del tamaño y forma de parcelas y del número de repeticiones óptimas en ensayos de uniformidad en frijol (Phaseolus vulgaris L.). Cali, Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1977. 36 p.

Trabajo presentado a la Reunión Anual del Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos Alimenticios, 23a., Panamá, 1977.
4. CIAT. Programa de sistemas de producción de frijol. Cali, Colombia. Publicación FS-5. Septiembre 1975. 40 p.
5. ——— Informe Anual 1978. Cali, Colombia. Publicación 0251-78. Sección Unidad de Servicio de Datos, Octubre 1979. p. G2 a G4.
6. ——— Lista descriptiva del germoplasma de Phaseolus Spp. II - Materiales Promisorios. Cali, Colombia. Sistema de producción de frijol, Unidad de Recursos Genéticos. 1978.
7. ——— Avances logrados en 1978. Cali, Colombia - Serie 0252-78. 1979. pp. 1-25.

8. CIAT. The Bean Program at CIAT: General programs objectives and achievements. Cali, Colombia 1979. 14 p.

Trabajo presentado al simposio sobre leguminosas de grano realizado en Nairobi, Kenya, 1979.
9. ——— Informe Anual del Programa de Frijol. 1979. Cali, Colombia. Serie 02SB1-79. 1980. 115 p.
10. ——— Hojas de Frijol para América Latina. Publicación 01SB-4. Enero-febrero, 1980.
11. ——— Informe 1980. Publicación 02SI-79. Mayo 1980. 101 p.
12. ——— The Bean Program. Cali, Colombia 1980 (Borrador).
13. ——— Ensayos preliminares EP-1980: Programa de Frijol, Cali, Colombia. ISSSN 0120-2642, Serie 20 S/E B4-80. Agosto, 1980. 37 p.
14. COCHRAN, W.G. y COX, G.M. Diseños Experimentales. México, Trillas, 1965. 661 p.
15. DAVIS, J.H.C., AMEZQUITA, M.C. y MUÑOZ, J.E. Border effects and optimal plot sizes for climbing beans (Phaseolus vulgaris L.) and Maize in association and monoculture. Experimental Agriculture (1981) vol 17, pp. 127-135.
16. ESCOBAR GIRON, J.A. Curso de Diseño Experimental. Palmira-Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias. (Notas de clase).

17. FONSECA, P.D. Efecto de poblaciones y arreglos espaciales de caupí (Vigna unguiculata) y mani (Arachis hipogea) en asociación con yuca (Manihot esculenta Crantz) sobre producción e intensidad del uso de la tierra. Tesis de grado Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Palmira, 1981.
18. HATHWAY, W.H. Convenient plot size. *Agronomy Journal* 53(4): 279-280. 1961.
19. ——— Técnicas experimentales. Conferencias en ICA-Tibaitatá. Bogotá. 15 p. Sin fecha (material mimeografiado).
20. ICA. Filosofía, elaboración y aprobación de proyectos de investigación. Bogotá, subgerencia técnica. División de investigación 1972. 137 p.
21. KOCK, E.J. y RIGNEY, J.A. A method of estimating optimum plot size for experimental data. *Agronomy Journal* 43(1): 17-21. 1951.
22. MUÑOZ, F.J.E., AMEZQUITA, M.C. y VOYSEST, O. Efecto de bordes en ensayos de rendimiento en frijol. Unidad de Biometría, CIAT.

Presentado en la Reunión Anual del Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos Alimenticios, 23a., Panamá, 1977.
23. PLUTCHIK, R. Fundamentos de Investigación Experimental. 2a. ed. México, Harla, 1975.
24. QUINTERO, E. et al. Efecto de bordes en variedades de frijol con distinto hábito de crecimiento. Unidad de Biometría. CIAT. 1978 (fotocopiado).

25. SMITH, H.F. An empirical law describing heterogeneity in the yield of agricultural crops. Journ. Agri. Sci. 28:1-23. 1938.
26. SNEDECOR, G.W. y COCHRAN, W.G. Statistical Methods. 6a. ed. Ames, IOWA University Press, 1968. 608 p.
27. STABILE, M.F. Evaluation of a diversification scheme in a marginal coffee region of Colombia utilizing new bean technologies. Mag. Sc. Thesis. Ontario, Canada. University of Guelph, 1979. pp. 94-99.
28. STEEL, R.G.D. y TORRIE, J.H. Principles and procedures of statistics, with special reference to the biological science. New York, Mc Graw-Hill, 1960. 481 p.
29. THUNG, M. Metodología simultánea de "Screening" para la eficiencia en el uso de bajos niveles de fósforo y para la tolerancia a toxicidad de Aluminio y Manganeso en suelos adversos para frijol (Phaseolus vulgaris L.). Material entregado en curso de adiestramiento de frijol. CIAT. (Fotocopiado).
30. VOYSEST, O. Viveros Internacionales de Rendimiento y Adaptación de Frijol. Cali, Colombia. CIAT 1981. 13 p. (Borrador).