



DISEÑO Y ANALISIS DE ENSAYOS
PARA EVALUACION DE PASTURAS EN FINCAS

- Séptima Reunión del Comité Asesor de la RIEPT -
CIAT, Agosto 27-29 de 1990

Maria Cristina Amézquita
Biometrista
Jefe Unidad de Servicio de Datos
CIAT

CONTENIDO

	Página no.
I. INTRODUCCION.....	1-3
II. DISEÑOS PARA LA EVALUACION DE PASTURAS CON ANIMALES.....	3-16
1. Diseños continuos vs. Diseños "Crossover".....	3-5
2. Diseños "Crossover": sus características, su aplicabilidad en ensayos en fincas.....	5-6
2.1 Complete Block Crossover.....	6-9
2.2 Balanced Complete Block Crossover.....	9-11
2.3 Latin Square Crossover.....	11-14
2.4 Latin Square Crossover, balanceado por efectos residuales.....	14-16
2.5 Otros diseños.....	16
III. PROBLEMAS EN EL ANALISIS DE DATOS DE ENSAYOS EN FINCAS DE DOBLE PROPOSITO.....	16-18
IV. CONCLUSIONES. ALTERNATIVAS PARA DISCUSION	18-20
Referencias	

DISEÑO Y ANALISIS DE ENSAYOS PARA EVALUACION DE PASTURAS EN FINCAS

I. INTRODUCCION

Como fue expuesto al comienzo de esta reunión (Lascano, C. y Ferguson, J. 1990), los objetivos de la evaluación de pasturas en fincas de productores son: a) validar, en la región de interés, los resultados obtenidos en la estación experimental exponiendo la tecnología de pasturas mejoradas a un amplio rango de condiciones de suelo, clima, razas y manejos que representen la variabilidad existente entre fincas en la región; y b) demostrar ventajas de las nuevas pasturas en fincas de productores al compararlas con la pastura local. El primer objetivo exige que los ensayos en fincas permitan generalizar los resultados a la región de interés. Existen, sin embargo, factores que pueden limitar su capacidad de generalización: a) procedimientos de selección de fincas y número de fincas a seleccionar; b) diseño del proyecto y c) análisis de los datos. El primer aspecto ya fue discutido (Lascano, C. y Ferguson, J). Es nuestro interés concentrarnos en los dos últimos.

MARCO DE REFERENCIA.-

Sistemas de Producción.-

Para efectos de esta discusión consideraremos dos sistemas de producción contrastantes en la América Tropical: a) Sistemas extensivos predominantes en el ecosistema de savana, caracterizados por fincas grandes (> 1000 has) de producción de carne; y b) Sistemas semi-intensivos predominantes en el ecosistema de bosque tropical, caracterizados por fincas pequeñas o medianas (20-300 has) de doble propósito. Consideramos así, dos tipos de ensayos: de ganancia de peso en sistemas extensivos, y de comportamiento reproductivo/producción de leche/crecimiento de las crías, en sistemas semi-intensivos.

En la Reunión del Comité Asesor de la RIEPT, efectuada en Lima, Perú en Octubre 1984, fueron discutidas en detalle las consideraciones en la planeación, diseño y análisis de ensayos de pastoreo con énfasis en sistemas de producción de carne (Amézquita, M.C.; 1986). Creemos que los conceptos allí discutidos se pueden extender a ensayos en fincas de sistemas extensivos. Por lo tanto, concentraremos principalmente esta discusión en los

aspectos de diseño y análisis de ensayos de producción de leche y de doble-propósito. Analizaremos primero los aspectos teóricos que sustentan los diseños "Crossover" o "Change-over", utilizados en zonas templadas en ensayos controlados de producción de leche, que estudian el efecto de varios tratamientos aplicándolos en secuencias (al azar u ordenadas) a los sujetos; y luego abriremos una discusión para analizar si esos diseños son factibles de implementar en ensayos en fincas de doble-propósito.

Formas de evaluación.-

Es importante distinguir entre dos formas de evaluación de pasturas en fincas:

- a) A través de ensayos controlados por el investigador, en los cuales tanto el manejo de la(s) pasturas mejoradas como el de los animales experimentales seleccionados está bajo la responsabilidad del investigador o en estrecha colaboración con él. Se trata de ensayos que permitan inferir; exigen por lo tanto Diseños Experimentales apropiados, y tienen capacidad de generalización.
- b) A través de ensayos bajo el manejo tradicional del productor. Se trata entonces de estudios observacionales o monitoreos del comportamiento de una o más pasturas mejoradas establecidas en la finca, para efectos demostrativos. Estos ensayos, considerados individualmente, tienen una capacidad de extrapolación muy limitada. Esta puede aumentar, sin embargo, si se conducen en un número suficiente de fincas que cubran el rango de variabilidad en ambientes y manejos, y si el ensayo permite controlar, dentro de finca, las principales fuentes de variación animal. El análisis de estos estudios sirve además de base para establecer nuevas hipótesis de investigación.

Borel et al (1982), y Henao (1986) mencionan que existen tres alternativas para la implementación de ensayos de evaluación de pasturas en fincas: a) Evaluar todas las pasturas, o tratamientos en la misma finca: en esta forma cada finca representa una repetición completa. b) Evaluar una pastura distinta por finca. Otra finca evalúa la pastura tradicional, siendo así la finca testigo. En esta forma, un conjunto de fincas representa una repetición completa; se requerirían varios conjuntos de fincas similares para contar con varias repeticiones. c) Evaluar todas las pasturas en secuencia en la misma finca. En esta forma, una finca representa una repetición completa. Sin embargo, el efecto de pastura estaría confundido con la época de evaluación de las pasturas en el tiempo.

En nuestra opinión, a pesar de que existen problemas prácticos en la implementación de la alternativa a), creemos que esta es la mejor y la que garantiza mayor validez en la comparación entre tecnología mejorada y tradicional, especialmente cuando se trata de ensayos controlados que exigen tener capacidad de generalización. Normalmente, aún dentro de una región de características de suelo, clima y tipo de ganado relativamente homogéneas, la variabilidad entre fincas es inmensa, atribuida principalmente a diferencias en prácticas de manejo del productor. Una sugerencia sería evaluar en cada finca como máximo dos pasturas mejoradas --las que hayan resultado más promisorias a nivel de Estación Experimental para la región de interés-- vs. la pastura tradicional de la finca, y usar varias fincas como repeticiones.

II. DISEÑOS PARA LA EVALUACION DE PASTURAS CON ANIMALES

El diseño de un proyecto para evaluar tecnología mejorada de pasturas en fincas de productores involucra: la definición precisa del objetivo del estudio; determinación del área de generalización de los resultados --en términos de suelo, clima, pasturas predominantes, razas comerciales, y prácticas de manejo del productor--; la escogencia de fincas representativas; la selección de las pasturas a evaluar; escogencia de los tratamientos testigo; definición de las variables que se desea medir --tanto variables de respuesta animal como variables de la pastura-- estas últimas consideradas como variables explicativas complementarias a las de respuesta animal; y por último, tipo de diseño experimental a utilizar: de tipo **continuo** o de tipo **"change-over"** (también conocidos como **"crossover"** y traducidos, de **sobre- cambio**), en caso de ensayos controlados por el investigador. Si se trata de ensayos de **monitoreo** o seguimiento del comportamiento de la (o las) pasturas mejoradas para evaluar su impacto en producción de carne o leche en fincas, no se necesita usar Diseños Experimentales ortodoxos, sino definir un plan de seguimiento de la finca, que permita obtener estimados válidos de producción animal de las pasturas mejoradas, en comparación con las pasturas locales utilizadas por el productor.

1. DISEÑOS CONTINUOS vs. DISEÑOS "CROSSOVER"

Los diseños experimentales con animales se clasifican en dos grupos: los diseños de tipo continuo y los diseños de tipo **"change-over"** o **"crossover"**. Un diseño continuo es aquel en el cual un animal, una vez

asignado a un tratamiento, permanece en él hasta el final del experimento. Un diseño "change-over" es aquel en el cual un animal recibe en secuencia dos o más tratamientos. Estos últimos juegan un papel muy importante en experimentación animal, porque requieren un menor número de animales y permiten aumentar el número de tratamientos a estudiar sin aumentar el número de animales. Han sido muy utilizados en estudios nutricionales, de metabolismo y en experimentos de dietas alimenticias para vacas lactantes (Lucas, 1976 y Stobbs and Sandlad, 1972) donde el grupo de vacas recibe en secuencia las distintas dietas bajo estudio con intervalos de tiempo entre dietas que permitan eliminar el efecto residual del tratamiento anterior. Stobbs y Joblin (1966) utilizaron un diseño "change-over" para evaluar producción de carne, donde el grupo de animales experimentales fue expuesto a todos los tratamientos, separando los periodos de evaluación de 8 semanas por periodos de estandarización de 2 semanas. Sin embargo, los diseños "change-over" son útiles solamente si se consideran válidos los resultados de producción obtenidos en periodos cortos de medición.

Los dos tipos de diseños difieren en tres aspectos básicos (Lucas, 1976):

- El tipo de efecto de tratamiento que permite estimar cada diseño.- Dado que el tiempo que un animal puede permanecer bajo experimentación es limitado (hasta alcanzar el peso de mercado en caso de estudios de crecimiento, o durante el periodo de lactancia en ensayos de producción de leche), el tiempo de exposición a un tratamiento es más largo en diseños continuos que en diseños "change-over". Por lo tanto, un diseño continuo estima el efecto de tratamiento a largo plazo, mientras que el "change-over" estima el efecto a corto plazo o en periodos puntuales. Así los efectos de tratamiento estimados por cada diseño pueden ser diferentes.
- La magnitud del error experimental.- En el diseño "continuo" el error experimental incluye la variabilidad entre animales dentro de tratamiento, mientras que en el "change-over" el error experimental incluye la variabilidad dentro de los animales. Así, en general, se espera que la magnitud del error experimental sea mayor en diseños "continuos" que en diseños "change-over".
- La capacidad del diseño para controlar las fluctuaciones en comportamiento animal debidas al factor tiempo.- En un diseño continuo los animales se exponen a todos los tratamientos al mismo tiempo y, por lo tanto, cualquier sesgo en el patrón de comportamiento animal debido a tiempo afecta por igual a todos los tratamientos y no hay necesidad de

considerarla. Por el contrario, en ensayos "change-over", los animales se exponen a los tratamientos en distintos tiempos y, así, la respuesta animal debida a tratamiento puede estar confundida con los sesgos en el patrón de comportamiento asociados con tiempo. Por ejemplo, en novillos de levante, la tasa de ganancia de peso aumenta con la edad del animal; en vacas de leche, la tasa de producción de leche disminuye con la edad de lactancia.

Estas tres consideraciones deben tomarse muy en cuenta antes de utilizar un diseño tipo "change-over" de evaluación de pasturas.

En el caso de sistemas de producción extensivos, en donde no hay limitación en cuanto a número disponible de animales experimentales, los diseños experimentales que se recomienda utilizar son de tipo **continuo**; así, si aceptamos la sugerencia de evaluar en cada finca solo tres tratamientos --las dos mejores pasturas mejoradas con su manejo indicado, vs. la pastura local con el manejo tradicional del productor--, cada finca sólo requeriría dividirse en tres potreros, cada uno con un grupo similar de animales, que permanecerían en él hasta el final del ensayo. En el caso de sistemas de producción semi-intensivos, donde existe limitación en el número de vacas disponibles para experimentación, se pueden recomendar diseños "Crossover", siempre y cuando el manejo de estos ensayos este bajo el control del investigador o en estrecha colaboración con él. En el caso de 2 tratamientos, cada finca requeriría dividirse en 2 potreros y en 2 grupos de animales; el primer grupo recibiría la secuencia 1: "Pastura mejorada --> pastura tradicional", y el segundo recibiría la secuencia 2: "Pastura tradicional --> pastura mejorada". La evaluación de pasturas se hace bajo distintas secuencias y con grupos homogéneos de animales; esto con el fin de evitar que el efecto de la pastura esté confundido con época o con características del hato en el momento de la evaluación.

2. DISEÑOS CROSSOVER. SUS CARACTERÍSTICAS. CONDICIONES PARA SU APLICACION EN FINCAS.

Dado que los diseños continuos --tales como Completamente al Azar, Bloques Completos al Azar, Parcelas Divididas y Sub-divididas, Franjas divididas y Sub-divididas, Latices-- son tan conocidos y utilizados, no vamos a hacer aquí referencia a sus características, supuestos y condiciones para su aplicabilidad. Sin embargo, creemos que es muy relevante profundizar un poco en los conceptos de diseños "Crossover": tipos de diseños, sus características, los supuestos que cada diseño exige, sus restricciones y sus alcances, y finalmente su forma de análisis. Creemos que es importante para la RIEPT tener claridad conceptual sobre

los supuestos de estos diseños para decidir si es factible o no implementarlos en fincas.

Hay varios tipos de diseños "Crossover", cuya clasificación se hace según tres supuestos fundamentales: a) La secuencia de aplicación de los tratamientos a los sujetos: al azar vs. en secuencia ordenada. b) La existencia o no de una tendencia esperada en la respuesta de los sujetos a través del tiempo y el supuesto de que esa tendencia sea igual o no para todos los sujetos y c) El interés o no de estimar el efecto residual de un tratamiento, y la capacidad práctica de evitar efectos residuales si es que no son de interés para el investigador.

Vamos a revisar cuatro distintos diseños CROSSOVER (Gill, J., 1978; Martínez Garza, A. 1983): El primero, "Complete Block Crossover", es el único en el cual la secuencia de aplicación de tratamientos a los sujetos se hace al azar. El segundo y el tercero - "Balanced Complete Block Crossover" y "Latin Square Crossover", exigen la aplicación de los tratamientos a los sujetos en secuencias ordenadas, suponen la no existencia de efectos residuales, aunque sí suponen la existencia de tendencia en la respuesta de los sujetos en el tiempo. El último "Latin Square Crossover con posibilidad de estimar efectos residuales", supone la existencia de efectos residuales, permite estimarlos y estima el efecto directo de tratamiento corregido por efectos residuales. Para evitar errores de interpretación, preferimos mantener en este documento los nombres de cada diseño en inglés.

2.1. COMPLETE BLOCK CROSSOVER DESIGN (o Simple Crossover)

Características

1. Cada sujeto, que representa un bloque completo, recibe todos los tratamientos en una secuencia al azar. El número requerido de sujetos (o bloques completos) puede ser cualquiera: mínimo 2.
2. Supone que no existe una tendencia esperada en la respuesta de los sujetos en el tiempo. Es decir, la respuesta de un sujeto en el tiempo se espera sea relativamente uniforme, o con dispersiones aleatorias, si no hubiese cambios en el tratamiento.
3. Supone que no existe efecto residual de un tratamiento sobre otro. De haber posibilidad de efectos residuales, exige, por lo tanto, que la aplicación de tratamientos sea lo suficientemente espaciada o debe permitirse al sujeto un intervalo suficiente de descanso entre tratamientos para eliminar los efectos residuales.

4. Supone la no existencia de interacción Sujeto x Tratamiento.
 5. Modelo que describe este diseño, suponiendo un sujeto por secuencia de tratamientos:

$$Y_{ij} = \mu + S_i + T_j + E_{ij}$$

↑ ↑ ↑ ↑ ↑
 respuesta del sujeto al recibir tratamiento j efecto del sujeto i (aleatorio) efecto del Tratamiento j (fijo) error: variación dentro de sujetos respuesta media general

6. Fuentes de variación y g.l. para el ANOVA.
 Consideremos como ejemplo, 4 tratamientos (A,B,C,D) y 3 sujetos que reciben los 4 tratamientos en secuencias al azar (1 sujeto/secuencia), => No. Total de observaciones: 12.

Sujeto 1	Sujeto 2	Sujeto 3
A B C D	B D C A	D E A B

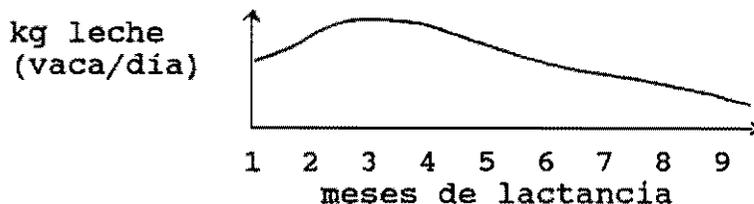
FV	gl.
Sujeto	2
Tratamiento	3
Error	6
Total	11

7. Diseño continuo comparable: BCA con 3 bloques y 4 tratamientos/Bloque (con un no. total de observaciones = 12). Requiere 12 sujetos (vs. 3 en el caso del diseño Crossover).

Condiciones para su aplicación en ensayos de producción de leche en fincas

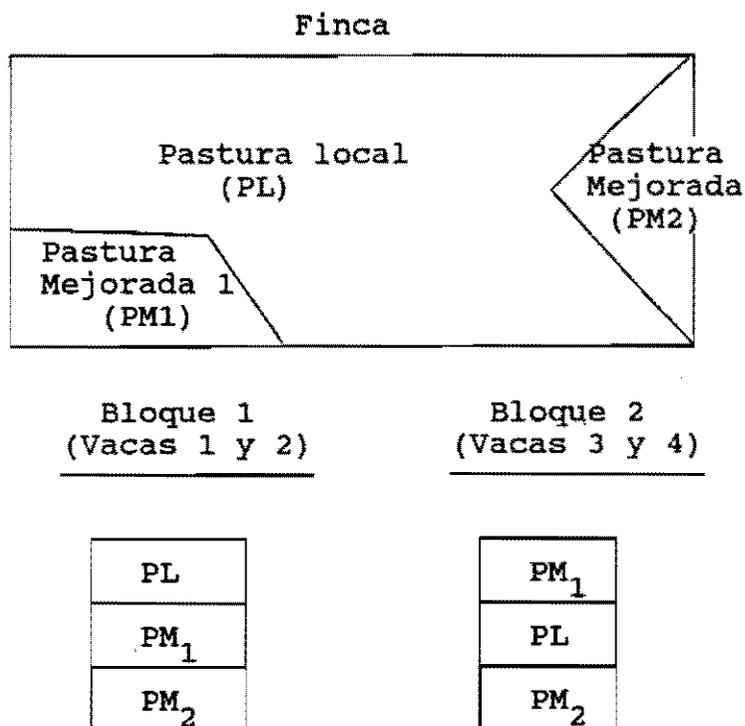
- Es aplicable solo si se considera como periodo total de observación un periodo muy corto: una edad de lactancia en donde se espere una producción de leche

estable. Por ejemplo, del 2o. al 4o. mes en cada vaca.



- Esta restricción en el período total de observación (de 2 meses, digamos) limita el número de pasturas a que se pueden exponer los animales en secuencia: máximo 3 pasturas, dejando por ejemplo, las vacas 20 días en cada pastura.
- Exige un período de acostumbramiento de las vacas en cada nueva pastura para que se eliminen los posibles efectos residuales de la pastura anterior.
- Exige un reducido número de vacas: 2 como mínimo. Pero las vacas deben ser homogéneas (en raza, en número de partos anteriores, edad de lactancia y potencial de producción de leche).
- Cada vaca es un bloque que debe recibir una secuencia distinta de todos los tratamientos al azar.

Ejemplo: 3 pasturas (2 mejoradas y 1 testigo local),
4 vacas: 2 por secuencia.



La rotación entre pasturas se haría con intervalos de descanso pastoreando la pastura local.

<u>Modelo del ANOVA</u>	
FV	gl.
Vacas	3
Pasturas	2
Error	6
<hr/>	
Total	11

2.2. BALANCED COMPLETE BLOCK CROSSOVER DESIGN (o Balanced Simple Crossover)

Características

1. Cada sujeto, que representa un bloque completo, recibe todos los tratamientos en una secuencia ordenada a priori. El número de secuencias debe ser igual al número de tratamientos. Y el número de sujetos debe ser igual al número de tratamientos o múltiplo de ese número.
Ejemplo: Sean 3 tratamientos: A, B, C.
Las 3 secuencias son: a) ABC; b) BCA; c) CAB
El número de sujetos puede ser: 3, 6, 9, 12, etc.
2. Supone que si existe una tendencia esperada en la respuesta de los sujetos a través del tiempo; pero supone que esta tendencia es la misma para todos los sujetos. Es decir, el efecto "período" constituye una fuente de variación adicional, pero no existe interacción "sujeto x período".
3. Se aconseja usar este diseño con un número pequeño de tratamientos: máximo 4, debido a la posibilidad de que a mayor longitud en el período de observación, mayor será la posibilidad de que la tendencia de la respuesta en el tiempo sea distinta entre sujetos.
4. Supone que no hay efectos residuales de un tratamiento sobre el siguiente. De haberlos, la aplicación de tratamientos debe ser lo suficientemente espaciada o debe permitirse al sujeto un intervalo de descanso suficiente entre tratamientos, para eliminar así efectos residuales.
5. Supone la no existencia de interacciones.
6. Modelo que describe este diseño, suponiendo 1 sujeto por cada secuencia de tratamientos.

$$Y_{ijk} = \mu + S_i + P_j + T_k + E_{ijk}$$

↑ error: variación dentro de sujetos
 ↑ efecto del Tratamiento k
 ↑ efecto del período j
 ↑ efecto del sujeto i (aleatorio)
 ↑ respuesta media general
 ↑ respuesta del sujeto que en el período j recibió el tratamiento k

7. Fuentes de Variación y gl. en el ANOVA.

Consideremos como ejemplo 4 tratamientos (A,B,C,D) (.. 4 secuencias y 4 periodos de observación) y 4 sujetos: un sujeto por secuencia de tratamientos. Número total de observaciones = 16.

		Sujeto 1	Sujeto 2	Sujeto 3	Sujeto 4
Período	1	A	B	C	D
	2	B	C	D	A
	3	C	D	A	B
	4	D	A	B	C

FV	gl.
Sujeto	3
Período	3
Tratamiento	3
Error	6
Total	15

8. Diseño Continuo Comparable: BCA con 4 Bloques, 4 Tratamientos/Bloque y 4 Periodos de evaluación (medidas repetidas en el tiempo). No. total de observaciones=64. No. de sujetos requerido = 16 como mínimo (vs. 4 en el caso del diseño Crossover)

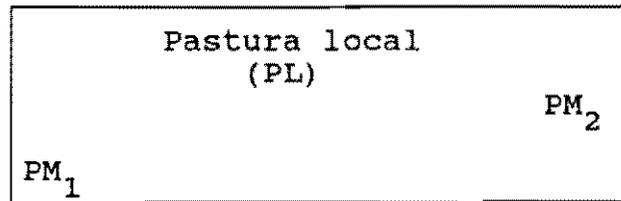
Condiciones para su aplicación en ensayos de producción de leche en fincas

- Con este diseño, se puede considerar un período total de observación de cualquier duración, el cual deberá ser dividido en tantos "períodos" como tratamientos haya. El período total puede ser una lactancia completa, la primera mitad, la segunda mitad, el primer, segundo ó tercer tercio de la lactancia, según el objetivo del proyecto.
- Número máximo de pasturas (o tratamientos en general) a evaluar incluyendo la pastura control: 4
- Exige un período de acostumbramiento de las vacas al entrar a cada nueva pastura, con el fin de eliminar el efecto residual de la pastura anterior.
- Exige un número de vacas igual o múltiplo del número de tratamientos. Esas vacas deben ser homogéneas al igual que en el caso del diseño (1).

En resumen: lo único que este diseño permite, en adición al (1), es que se puede considerar como período total de observación, uno de cualquier duración. Y exige un número de vacas igual o múltiplo del número de tratamientos.

Ejemplo: 3 pasturas, 3 secuencias, 3 periodos, 3 vacas (1 vaca/secuencia de tratamiento).

FINCA



		Vaca 1	Vaca 2	Vaca 3
Período	1	PL	PM ₂	PM ₁
	2	PM ₂	PM ₁	PL ¹
	3	PM ₁	PL ¹	PM ₂

Modelo del ANOVA:

FV	(1 vaca/ secuencia = 3 vacas) gl.	(2 vacas/ secuencia = 6 vacas) gl.	(3 vacas/ secuencia = 9 vacas) gl.
Vacas	2	5	8
Período	2	2	2
Pasturas	2	2	2
Error	2	8	14
Total	8	17	26

2.3.LATIN SQUARE CROSSOVER DESIGN

Características

1. Como en el diseño (2.2), cada sujeto - que constituye un bloque completo - recibe todos los tratamientos en una secuencia ordenada a priori.
2. Supone la existencia de una tendencia esperada en la respuesta de los sujetos a través del tiempo y esta tendencia puede ser distinta entre sujetos.
3. Supone que existe interacción "Grupo x período", la cual minimiza este diseño agrupando los sujetos en GRUPOS de tendencia similar. La fuente de variación "SUJETO" del diseño anterior, aparecerá descompuesta en: "GRUPO" y "SUJETO (GRUPO)". También supone que puede haber interacción GRUPO x TRATAMIENTO.

4. El diseño Latin Square Crossover puede ser:
- Sencillo, cuando solo hay un grupo de animales de tendencia similar. Este es un caso particular del diseño anterior (2.2), con FV: Sujeto, Período, Tratamiento y error. Exige un número de sujetos idéntico al número de tratamientos.
 - Múltiple, cuando se usan 2 o más GRUPOS de sujetos de tendencia similar. El número de sujetos en cda GRUPO debe ser idéntico al número de tratamientos.
5. Supone que no hay efecto residual de tratamientos.
6. Ejemplo: Consideremos por ejemplo, 4 tratamientos evaluados según un "Múltiple Latin Square Crossover" conformado por 2 "Single Latin Square". Es decir, se agrupan los sujetos en 2 GRUPOS homogéneos y cada grupo se arregla según un "Single Latin Square" de 4 tratamientos, 4 secuencias, 4 sujetos. (No. total de observaciones = 32).

		Sujeto				Sujeto					
		1	2	3	4	4	5	6	7		
Período	1	A	B	C	D	1	A	B	C	D	(Cada una de las 4 secuencias de tratamientos se aplica a 2 sujetos: uno de cada grupo)
	2	B	C	D	A	2	B	C	D	A	
	3	C	D	A	B	3	C	D	A	B	
	4	D	A	B	C	4	D	A	B	C	

Fuentes de Variación y gl. en el ANOVA

FV	gl.
GRUPO	1
Sujeto (GRUPO)	6
Período (GRUPO)	6
Tratamiento	3
GRUPO x Tratamiento	3
Error	12
<hr/>	
Total	31

Si la interacción GRUPO x TRATAMIENTO se supone o se espera a-priori ser no significativa, entonces esa fuente de variación desaparece y sus gl. se incorporan a los gl. del error.

7. Diseño Continuo Comparable: Diseño en Parcelas Divididas con 4 Bloques (o Repeticiones), 2 Parcelas Principales (GRUPO de sujetos) y 4 Sub-parcelas (tratamientos). Para este diseño, el número total mínimo de sujetos requeridos sería de 32, comparado con 8 requeridos por el Múltiple Latin Square Crossover.

Condiciones para su aplicabilidad en ensayos de producción de leche en fincas

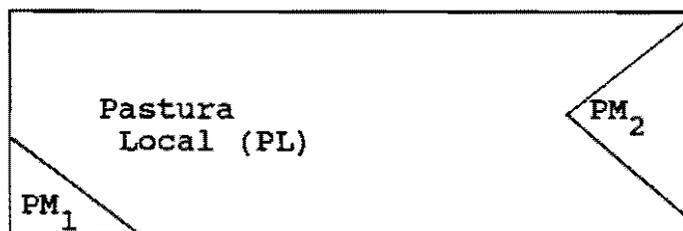
- Es quizás el que más se ajusta a la realidad, pues permite agrupar vacas similares en términos de características genéticas, de estado de lactancia y de potencial de producción de leche, en grupos homogéneos. Reconoce que la tasa de decrecimiento en la producción de leche puede ser distinta para cada grupo, y acepta que puede existir interacción significativa "GRUPO x PASTURA" y "GRUPO x PERIODO".
- El único supuesto que exige es el de no existencia de efecto residual del tratamiento anterior. Por lo tanto, una forma práctica de implementación de este diseño sería la de permitir a las vacas que al rotar entre las pasturas experimentales, siempre tengan un período de descanso en la pastura local.

Ejemplo: Supongamos, una finca donde se evalúan 3 pasturas (PL, PM₁, PM₂), como en los ejemplos anteriores, y se dispone de 4 grupos distintos de vacas según su potencial de producción de leche y edad de lactancia al inicio del ensayo. Entonces, se necesitará escoger 3 vacas homogéneas de cada uno de los grupos siguientes; y asignar una vaca de cada grupo a cada una de las 4 secuencias de tratamientos.

GRUPO 1 (3 vacas): alta producción, primera mitad de lactancia
 GRUPO 2 (3 vacas): alta producción, segunda mitad de lactancia
 GRUPO 3 (3 vacas): producción baja, primera mitad de lactancia
 GRUPO 4 (3 vacas): producción baja, segunda mitad de lactancia

Este diseño sería un "Múltiple Latin Square Crossover" con 4 grupos y 3 Tratamientos, con un total de 12 vacas que rotarían entre las 3 pasturas (PL, PM₁, PM₂) descansando en la pastura local antes de ingresar² a la siguiente pastura, en las 3 secuencias indicadas a continuación

F I N C A

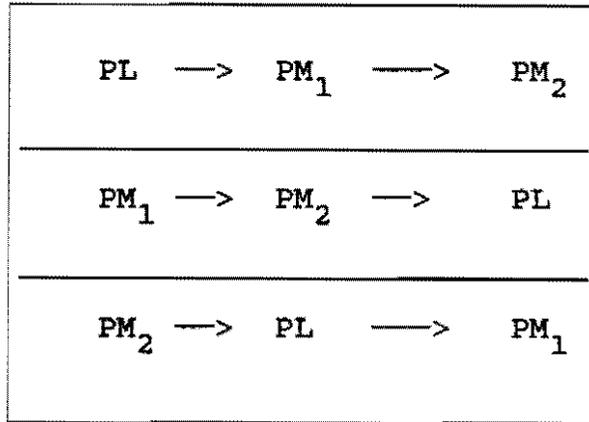


- Secuencia de rotación -
 Período 1 Período 2 Período 3

Vaca 1 Grupo 1
 Vaca 1 Grupo 2
 Vaca 1 Grupo 3
 Vaca 1 Grupo 4

Vaca 2 Grupo 1
 Vaca 2 Grupo 2
 Vaca 2 Grupo 3
 Vaca 2 Grupo 4

Vaca 3 Grupo 1
 Vaca 3 Grupo 2
 Vaca 3 Grupo 3
 Vaca 3 Grupo 4



Fuentes de variación y gl. en el ANOVA

FV	gl.	N=12 vacas x 3 periodos =36 observaciones
GRUPO	3	
Vaca (GRUPO)	8	
Período (GRUPO)	8	
Pastura	2	
Grupo x Pastura	6	
Error	8	
Total	35	

2.4. LATIN SQUARE CROSSOVER, CON POSIBILIDAD DE ESTIMAR EFECTOS RESIDUALES

Características

- a) Este diseño es similar al Multiple Latin Square Crossover, con una sola diferencia: las secuencias de aplicación de tratamientos cambian para cada GRUPO de sujetos, de tal forma que cada tratamiento está precedido por cada uno de los demás igual número de veces. En contraste, en el diseño anterior las secuencias de aplicación de tratamientos son idénticas para los distintos GRUPOS de sujetos. Esta sola diferencia permite estimar los efectos directos de tratamientos corregidos por el efecto residual del tratamiento anterior.
- b) Este diseño se utiliza cuando un período de descanso entre tratamientos es imposible, o cuando es de interés para el investigador estimar los efectos residuales de un tratamiento, por ejemplo en el caso de experimentos de aprendizaje.
- c) Cuando el número de tratamientos es par (t = 2, 4, 6, 8, etc), un solo "Single Latin Square", balanceado en términos de efectos residuales, es suficiente.

Cuando el número de tratamientos es impar (t=3,5,7,9,11,etc.), entonces se requiere un número par de "Single Latin Square" para lograr balance en término de efectos residuales (Ver tabla adjunta).

Tabla: Diseños "Latin Square Crossover" balanceados con respecto a efectos residuales.

2 Tratamientos		4 tratamientos				6 tratamientos					
1	2	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6
A	B	A	B	C	D	A	C	B	E	F	D
B	A	B	D	A	C	B	D	C	F	A	E
		C	A	D	B	C	E	D	A	B	F
		D	C	B	A	D	F	E	B	C	A
						E	A	F	C	D	B
						F	B	A	D	E	C

3 tratamientos			5 tratamientos							
1	2	3	1	2	3	1	2	3	4	5
A	B	C	A	B	C	A	B	D	E	C
B	C	A	C	B	A	B	C	E	A	D
C	A	B	B	A	C	C	D	A	B	E
						D	E	B	C	A
						E	A	C	D	B

d) Fuentes de Variación y gl. en el ANOVA

Considerando como ejemplo t = 3 tratamientos, 2 Grupos de 3 sujetos cada uno, con 6 distintas secuencias de tratamientos (según disposición dada en la tabla anterior). Número total de observaciones=18

FV	gl.
GRUPO	1
Sujeto (GRUPO)	4
Período (GRUPO)	4
Efecto residual del tratamiento	2
Efecto directo del tratamiento (ajustado por efectos residuales)	2
Error	4
Total	17

Nota: Si se supone existencia de interacción GRUPO x Tratamiento (con 2 gl.), entonces habría que considerar además esta interacción entre las FV, y los gl. del error se reducirían a 2 en este ejemplo.

Condiciones para su aplicación en ensayos de producción de leche en fincas

Dada la exigencia del diseño de utilizar distintas secuencias de tratamientos para cada GRUPO de vacas, este diseño es bastante impráctico en su aplicación pues exige mucho mayor manejo de los animales experimentales en la finca.

2.5. OTROS DISEÑOS CROSSOVER

Existen otros diseños sobre los cuales no vamos a comentar en detalle por no considerarlos de fácil implementación a nivel de finca. Por ejemplo:

- a) No balanceados en términos de efectos residuales: cada tratamiento está precedido por los demás un número de veces que no es necesariamente igual para todos los tratamientos.
- b) Diseños Reversibles. Se utilizan cuando el efecto del período varía entre sujetos del mismo grupo, es decir, supone la existencia de una interacción significativa "período x sujeto". En estos diseños, uno o más de los tratamientos se aplica 2 veces a cada sujeto en orden alterno. Por ejemplo, para 2 tratamientos, las secuencias pueden ser (ABA, BAB) o (ABAB, BABA). El primer caso se conoce como "Single Reversal Design" y el segundo como "Double Reversal Design".

III. PROBLEMAS EN EL ANALISIS DE DATOS DE ENSAYOS EN FINCAS DE DOBLE PROPOSITO

Mencionaremos muy brevemente algunos problemas.

- 1) Tipo de ensayo: Generalmente se trata de ensayos de monitoreo de la producción animal en las pasturas mejoradas y en la pastura local, en donde se mide la producción y calidad de la leche, condición reproductiva de las vacas y pesos críticos de las crías. Generalmente en estos ensayos se permite rotar todo el hato --heterogéneo como es-- a través de todas las pasturas por períodos variables, siguiendo el manejo normal de la finca. Frecuentemente, la secuencia empleada de rotación entre tratamientos hace que el efecto de la pastura quede confundido con el efecto de la época estacional, con raza animal y estado fisiológico de las vacas. En estos casos, el análisis estadístico de los datos debe ser solo de carácter descriptivo, no inferencial. Sin embargo, muchas veces se realizan análisis de varianza u otros, suponiendo un diseño experimental "crossover" y se hacen generalizaciones de validez discutible.

- 2) **Naturaleza del diseño:** Cuando el ensayo sigue un Diseño Experimental "Crossover", el investigador debe especificar de que diseño se trata e incluir la información que describe el estado de cada vaca: su raza, su edad de lactancia, su edad de gestación siendo lactante, edad al primer parto y potencial de producción. Adicionalmente debe especificar:
- Secuencias de tratamientos y número de vacas por secuencia.
 - Longitud total del periodo de observación.
 - Días de acostumbramiento en cada pastura para eliminar efectos residuales.
 - Días de evaluación en cada pastura.
 - Agrupó o no las vacas en grupos homogéneos? Características de cada grupo.
- Esto es bien importante para el correcto análisis e interpretación de los resultados.

- 3) **Tratamiento de los datos previo a un análisis estadístico formal:** Los datos que se toman en ensayos de fincas de doble propósito, en general, deben ser pre-procesados, corregidos y verificados, antes de someterse a un análisis estadístico formal. Por ejemplo:
- **Curvas de lactancia:** para ser comparables deben ser de igual longitud; alternativamente se puede calcular "duración de la lactancia" y "producción de leche por día".
 - Para comparar dos curvas de lactancia hay que comparar estadísticamente los parámetros de la curva: producción inicial, producción máxima, edad de lactancia al máximo de producción, tasa de caída, etc.
 - **Peso corporal de vacas:** debe ser corregido por su estado de lactancia y/o preñez.
 - **Intervalo entre partos:** a veces su cálculo es directo; en la mayoría de los casos debe estimarse con base en los datos de palpaciones o con información previa sobre la vaca antes del inicio del ensayo.

Es muy fácil cometer errores en las conclusiones emitidas de un análisis estadístico realizado con datos que no se han procesado previamente.

Técnicas estadísticas de más frecuente uso

- Análisis estadístico descriptivo: tablas de frecuencias; medias y demás estadísticas descriptivas; histogramas; gráficas; correlaciones entre variables.
- Regresión con modelos lineales y no lineales para ajuste de curvas de lactancia.
- ANOVA para diseños continuos.
- ANOVA para diseños "crossover".
- Cuando se toman muchas variables de respuesta de la pastura, es útil usar Componentes Principales para reducir la dimensionalidad del problema.
- Técnicas de clasificación, como Cluster Analysis, son útiles para agrupar, por ejemplo, fincas similares (según sus características ambientales o sus parámetros de producción).

IV. CONCLUSIONES. ALTERNATIVAS PARA DISCUSION.

1. Para la evaluación de pasturas en fincas hay que distinguir dos tipos de ensayos:
 - a) Ensayos que permitan validar la tecnología de la Estación Experimental a nivel de finca y generalizar los resultados a la región de interés. Consideramos que estos ensayos deben ser realizados bajo manejo del investigador o con una interacción muy cercana con el productor y requieren de Diseños Experimentales apropiados con capacidad de generalización.
 - b) Ensayos demostrativos o estudios de monitoreo que pretenden demostrar ventajas de las nuevas pasturas comparándolas con la pastura del productor. Consideramos importante que estos ensayos respeten el manejo típico de la finca. Su implementación requiere definir un plan de seguimiento de las fincas, que permita obtener estimados válidos de parámetros de producción animal en las pasturas mejoradas, comparables con los obtenidos en la pastura del productor. Estos ensayos, considerados individualmente, tienen una capacidad de extrapolación muy limitada. Sin embargo, su capacidad de generalización puede aumentar siempre y cuando:
 - a) se seleccionen fincas de ambientes, razas y manejos contrastantes que representen la variabilidad existente en la región; b) se defina a-priori un plan de seguimiento de los animales que permita controlar dentro de finca, las principales fuentes de variabilidad en la respuesta animal (época estacional, raza, edad de lactancia/preñez, etc.)

2. Para la evaluación de pasturas en fincas de producción de carne en sistemas de producción extensivos, los diseños continuos sencillos, son los únicos de implementación práctica conocidos hasta ahora. Esto se debe a que los novillos de levante y de engorde son menos sensibles que las vacas lecheras o de doble propósito, en su respuesta a cambios en la dieta (Vaccaro, L; 1986). Creemos que no se justifica utilizar diseños "crossover", más exigentes en el manejo de los animales, para evaluar ganancia de peso en fincas de sistemas extensivos. Se recomiendan diseños continuos sencillos, tipo BCA, con pocas pasturas mejoradas/finca (las mejores producidas por la Estación Experimental para la región) y utilizando fincas como repeticiones.
3. Los diseños "crossover" para evaluar el efecto de pasturas mejoradas sobre la producción de leche, son de difícil implementación práctica en ensayos en fincas. Esto se debe a que los supuestos de estos diseños y sus requisitos de implementación necesariamente alterarían el manejo normal de la finca. En conclusión, solo podrían implementarse en ensayos controlados por el investigador, en fincas cuyo propietario permita que una muestra de su hato reciba un manejo distinto. Si esto fuese deseable para los propósitos de la RIEPT, nuestra sugerencia es utilizar, por ser el más apropiado, el diseño "Múltiple Latin Square Crossover".
4. Para la evaluación de pasturas en fincas de doble propósito -- en donde los parámetros de producción animal a evaluar, además de la producción de leche, son el comportamiento reproductivo de las vacas, cambios en su peso corporal, tasa de descarte de vacas, peso de las crías (peso al nacer y al destete) y tasas de mortalidad de las crías --, consideramos que los ensayos de monitoreo de producción de leche a corto plazo, no son herramientas suficientes para evaluar una pastura mejorada. Se sugieren para discusión en esta Reunión algunas alternativas:

Alternativas para discusión.

- a) Realizar en la Estación Experimental por lo menos un ensayo controlado, bajo un diseño experimental continuo que evalúe el efecto de las pasturas mejoradas sobre parámetros de producción animal a largo plazo (comportamiento reproductivo, producción de leche en lactancias completas, pesos críticos de las crías). Adicionalmente,

realizar ensayos de monitoreo en un grupo de fincas representativas de la región (según lo descrito en conclusión 1), para evaluar el efecto de la pastura mejorada sobre producción de leche a corto plazo.

- b) Realizar ensayos de monitoreo en fincas seleccionadas, planeados de tal forma que tengan capacidad de generalización sobre la región. Estos ensayos medirán producción de leche a corto plazo, considerando las fuentes de variabilidad animal más importantes; como parte del seguimiento periódico de las fincas, se incluirá un registro del comportamiento reproductivo del hato.
- c) Utilizar los estimados de parámetros de comportamiento reproductivo, obtenidos en Estación Experimental, con los estimados de producción de leche en pasturas mejoradas, obtenidos en ensayos de monitoreo en fincas, para predecir, mediante simulación, el comportamiento global del hato.

Qué ventajas y qué limitaciones ofrece cada alternativa?

Proponemos esto como tema de discusión, al Comité Asesor de la RIEPT.

REFERENCIAS

1. Amézquita, M.C. 1986. "Consideraciones en la planeación, diseño y análisis de ensayos de pastoreo". En: Lascano, C. y Pizarro, E. (ed.) "Evaluación de pasturas con animales. Alternativas metodológicas". CIAT, 1986.
2. Gill, John L., 1978. "Design and Analysis of Experiments in the Animal and Medical Sciences". Vol. 2. The IOWA State University Press. Ames, IOWA, USA.
3. Lascano, C.E. y Ferguson, J.E. 1990. "Problemas específicos de la investigación con pasturas en fincas". CIAT, 1990.
4. Lucas, H.L. 1976. Design in Animal Science Research. Instituto de Estadística de la Universidad de Carolina del Norte.
5. Martinez Garza, A. 1983. "Diseño de Experimentos con Animales". Vol. 1, Num. 2. ISBN 968-601-010-6, Chapingo, Mexico.
6. Stobbs, T.H. and Sandland, R.L. 1972. The use of a Latin Square change-over design with dairy cows to detect differences in the quality of tropical pastures. Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry: Vol. 12.
7. Vaccaro, L. 1986. "Mediciones de la respuesta animal en ensayos de pastoreo: vacas lecheras y de doble propósito. En: Lascano, C. y Pizarro, E. (ed.) "Evaluación de pasturas con animales. Alternativas metodológicas". CIAT, 1986.