

# Consideraciones sobre planeación, diseño y análisis de experimentos de pastoreo

María Cristina Amézquita\*

## Resumen

El propósito de este trabajo es revisar la secuencia de consideraciones que un investigador en pasturas debe hacer en las fases de planeación y diseño de un ensayo de pastoreo, y las precauciones que debe tomar para hacer un correcto análisis de datos y una generalización de los resultados. Se subraya la importancia de definir claramente el problema y el área sobre la cual se desea generalizar los resultados; de seleccionar los factores y niveles experimentales apropiados; y de tener en cuenta en el diseño experimental las fuentes de variabilidad inherentes a los ensayos de pastoreo tales como el suelo, el clima, la pastura, el animal y las técnicas de medición.

Se discuten algunas recomendaciones sobre la unidad experimental que puede utilizarse, sobre el número de repeticiones en el espacio y en el tiempo, sobre el espaciamiento adecuado entre las evaluaciones periódicas, sobre la relevancia de usar prácticas uniformes de manejo o de no hacerlo, y sobre los tipos de diseños experimentales que pueden emplearse así como sus características. Se estudia, en particular, el caso de los experimentos no repetidos. Finalmente, se discuten aspectos de interés para el análisis de los datos generados por los ensayos de ganancia de peso, tales como los métodos de estimación de la ganancia de peso por animal, el problema de la alta variabilidad en la respuesta animal en condiciones de estrés, el caso de datos faltantes, y las fuentes de variación que deben considerarse —aparte de los tratamientos— en un análisis de varianza.

---

\* Dipl. Estad. Mat., Biometría, CIAT, Cali, Colombia.

## **Introducción**

Siendo los productos finales de una pastura leche, carne y lana, principalmente, el investigador en pasturas debe reconocer que los ensayos agronómicos bajo corte —sin influencia del animal— y los ensayos de pastoreo son complementarios. Es muy difícil asignarle un valor económico a un forraje como producto final, pues el mercado que lo absorbe es muy limitado; se cita como excepción el caso del heno o del pasto de corte. Por consiguiente, aunque el agrónomo de forrajes indique que el ecotipo A es más adaptable, más persistente y más rendidor en términos de producción de materia seca que el ecotipo B, estos resultados no son transferibles al ganadero hasta que no hayan sido verificados mediante experimentos de pastoreo; en éstos, el rendimiento y la calidad del forraje se expresan en términos de un producto animal definido (kg de carne, de leche, o de lana, por animal o por unidad de área) en un intervalo de tiempo definido.

La evaluación de una pastura en términos de su producto animal es compleja porque, de un lado, no existe un 'animal estándar' que pueda utilizarse como un instrumento de medida, y por otro lado, la cantidad y calidad del forraje ofrecido tiene una profunda influencia sobre la cantidad, calidad y persistencia de la pastura que el animal está pastoreando. Por eso, la cuidadosa planeación y diseño de ensayos de pastoreo, incluyendo la escogencia de los animales y un manejo adecuado de la relación pastura/animal, permitirá a la pastura expresar libremente su potencial de productividad a lo largo del período experimental, y redundará en la obtención de estimados de producción animal más precisos y comparables entre tratamientos.

El objetivo de esta contribución es revisar, siguiendo el método científico, la secuencia de consideraciones que un investigador en pasturas debe hacerse antes de un experimento dirigido a evaluar una pastura en términos de su producción animal, en el cual el animal es el principal instrumento de medición. Una vez realizado el experimento y cuantificadas las respuestas, el investigador debe considerar las precauciones que tomará en el análisis de sus datos y en la correcta generalización de los resultados.

## **Consideraciones en la etapa de planeación**

Los experimentos bajo pastoreo son largos y costosos y, por tanto, no deben ser utilizados para probar hipótesis que podrían estudiarse en otro contexto. Antes de iniciar un experimento de pastoreo conviene tener en mente las etapas previas de evaluación y selección a las que se ha debido someter el

germoplasma, para no introducir variabilidad adicional al ensayo ni sesgos en la interpretación de los resultados.

Según el esquema de evaluación de pasturas que sigue la RIEPT, las pasturas que entran a la etapa de evaluación donde se mide ganancia de peso (ERD) incluyen gramíneas y leguminosas que han demostrado su adaptabilidad a las condiciones del suelo y del clima, y su resistencia a plagas y enfermedades, y poseen además un nivel adecuado de producción de materia seca, características estas ya evaluadas en los ERA y ERB (Toledo y Schultze-Kraft, 1982). En evaluaciones posteriores (ERC) estas especies han demostrado ser compatibles en asociaciones de gramínea y leguminosa, y resistentes al pisoteo del animal bajo diferentes manejos, en experimentos de pequeñas parcelas (Paladines y Lascano, 1983). En los ensayos ERD, finalmente, se pretende evaluar, en parcelas grandes y bajo distintos manejos del pastoreo, las mejores pasturas (asociaciones o monocultivos) y compararlas con el mejor testigo local respecto a su producción de carne o leche (Toledo y Schultze-Kraft, 1982).

Los ensayos bajo pastoreo no son fáciles de modificar una vez iniciados y los errores en la etapa de planeación pueden resultar muy costosos en términos de tiempo, dinero y pérdida de información. Por tanto, es aconsejable dedicar suficiente raciocinio y tiempo a la fase de planeación.

## Definición del problema

La definición del problema —de cuya claridad depende la de los objetivos del experimento— es fundamental para el éxito de un ensayo de pastoreo. Un experimento se realiza con el fin de responder a una o más preguntas, o dicho de otra forma, de rechazar una o varias *hipótesis nulas*.

Si se hace una pregunta vaga, la respuesta no puede ser precisa. Por tanto, se recomienda escribir un plan experimental en el cual se establezcan los objetivos del experimento, el grado de generalización que se desee para los resultados, el diseño experimental elegido, las variables de respuesta, un plano de campo del ensayo, los costos de la semilla, los del establecimiento de la pradera y de implementación del ensayo y, finalmente, el plan del análisis estadístico que se realizará. Un ejemplo de este plan escrito es el documento *Propuesta de proyecto* diseñado conjuntamente por el Programa de Pastos Tropicales y la sección de Biometría del CIAT. Este documento expone, además de los aspectos antes mencionados, los antecedentes que dieron origen a la concepción del experimento. Un estadístico de la sección de Biometría lo revisa antes de ser aprobado por el coordinador del Programa respectivo; de este modo, ayuda al investigador a definir claramente sus hipótesis y a documentar sus proyectos de investigación.

## Selección de los factores experimentales y de sus niveles

Según 't Mannetje et al. (1976) los ensayos de pastoreo pueden agruparse en dos clases:

- Los que evalúan pasturas.
- Los que evalúan el efecto de las prácticas de manejo sobre una pastura.

Se consideran prácticas de manejo los métodos de establecimiento, el uso de fertilizantes, los sistemas de pastoreo (continuo o rotacional), la suplementación complementaria, y los niveles de carga animal o de presión de pastoreo. Si la filosofía del programa de investigación es modificar la estructura de producción animal existente aplicando prácticas de manejo más eficientes, entonces el tipo de experimentación pertenece a la segunda clase y compara la productividad animal de las pasturas existentes bajo diversas prácticas de manejo mejoradas, además de aquella utilizada en la región. Un ejemplo de esta clase de experimentación se realizó en el CNIA de Carimagua, en los Llanos Orientales de Colombia, en las etapas iniciales de investigación del Programa de Pastos Tropicales del CIAT (1972-1977); se estudió allí la productividad de la sabana nativa bajo distintas prácticas de manejo: con quema o sin ella, con varios niveles de carga, con dos sistemas de pastoreo (continuo y rotacional), y con suplementación o sin ella (Paladines y Leal, 1978). Si, por otro lado, la finalidad del programa de investigación es modificar la estructura de producción animal existente por medio de pasturas mejoradas, entonces la experimentación involucra dos tipos de ensayos de pastoreo:

- determinar la mejor práctica de manejo tanto para la pastura existente como para aquellas (o aquella) mejoradas; y
- comparar las pasturas existentes con las mejoradas, sometiendo cada una a su mejor práctica de manejo.

La historia de la experimentación bajo pastoreo en Carimagua, realizada por el Programa de Pastos Tropicales del CIAT, ofrece una alternación de estos dos tipos de ensayo.

La filosofía del programa de investigación debe tenerse en cuenta en la elección de los factores experimentales y de sus niveles. Dicha elección exige considerar los siguientes aspectos:

- a. La *relevancia* de los factores experimentales con respecto a los objetivos del programa de investigación, a la zona donde se desea generalizar los resultados, y a los objetivos del ensayo.
- b. El *rango de cubrimiento* de los niveles de cada factor; éste debe ser representativo de la población de niveles y permitir a la pastura expresar

una respuesta diferencial. Por ejemplo, en un experimento destinado a medir el efecto de tres cargas en la producción de carne de animales que pastan *Brachiaria decumbens* en un determinado ambiente, sería inadecuado escoger como niveles de carga 1.2, 1.4 y 1.6 an/ha sabiendo que esta especie soporta, en un ambiente similar, hasta 3 an/ha; esos niveles de carga animal no serían representativos de la población total de niveles de carga biológicamente posibles para una pastura de *B. decumbens* y disminuirían la capacidad de generalización del ensayo. De otro lado, se corre el riesgo de no detectar diferencias estadísticas entre los tratamientos de carga.

- c. **El tratamiento de control o testigo.** Si el objetivo es modificar el sistema de producción animal existente aplicando prácticas de manejo mejoradas, el testigo será la práctica de manejo común en la región; cuando se trata de modificar ese sistema mediante la introducción de pasturas mejoradas, el testigo será la mejor pastura local con su mejor manejo local.
- d. **La aplicación de prácticas de manejo.** Estas prácticas, sean o no tratamientos de un ensayo de pastoreo ¿deberán aplicarse uniformemente en todas las pasturas experimentales? En teoría sí, para evitar la posible confusión de los efectos de tratamiento con los de las prácticas de manejo; sin embargo, en ocasiones no es práctico ni deseable hacerlo. Por ejemplo, si se compara una gramínea nativa y una asociación mejorada de gramínea y leguminosa, la fertilización es indispensable para ésta, pero no lo es, normalmente para aquélla. Un segundo ejemplo: si en la misma comparación se incluye como manejo la quema, ésta podrá aplicarse a la gramínea nativa mas no a la asociación. En ambos ejemplos, los resultados se reducen a comparar dos sistemas de producción con pasturas, sin aislar el efecto individual de cada componente del sistema. Un tercer ejemplo son los experimentos de pastoreo con diferentes niveles de carga animal: en algunos casos los niveles de carga podrían ser iguales para todos los tratamientos, como cuando se comparan varias asociaciones de distintas leguminosas con la misma gramínea; sin embargo, hay casos en que no es apropiado utilizar los mismos niveles de carga para todos los tratamientos, como cuando se compara una pastura nativa con una mejorada, donde la carga apropiada para la primera es muy inferior a la carga apropiada para la segunda. Teóricamente, sería muy deseable comparar varias pasturas utilizando sus niveles óptimos de carga, pero como estos óptimos o se desconocen o sólo se conocen en forma aproximada, entonces es aconsejable usar para cada pastura un rango de cargas alrededor del valor óptimo procurando mantener niveles comunes entre dos o más pasturas para efectuar comparaciones. El Cuadro 1 muestra un ejemplo hipotético de niveles de carga apropiados para comparar cuatro tratamientos de pasturas.

Cuadro 1. Ejemplo hipotético de los niveles de carga apropiados en experimentos de pastoreo diseñados para comparar una asociación de gramínea-leguminosa y la gramínea fertilizada con N, una y otra bajo dos dosis de P, en una región con 1000 mm de precipitación.

Pastura	Nivel de P	Niveles de carga (an/ha):									
		1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5
Asociación gramínea-leguminosa	P <sub>1</sub>	X	X	X							
	P <sub>2</sub>		X	X	X						
Gramínea + 250 kg/ha de N por año	P <sub>1</sub>				X		X		X		
	P <sub>2</sub>						X		X		X

FUENTE: t'Mannetje et al., 1976.

## Consideraciones sobre la variabilidad

Los experimentos de pastoreo, a diferencia de aquéllos hechos en cultivos de ciclo vegetativo corto, tienen varios componentes adicionales de variabilidad inherentes al material experimental, que el investigador debe considerar para el correcto diseño de su experimento. Esa variabilidad está relacionada con los siguientes hechos:

- En un experimento de pastoreo, cada tratamiento que se aplique al pasto o al animal —o a uno y otro— puede tener consecuencias a largo plazo imposibles de medir en períodos cortos de tiempo, que sí serían apropiados en ensayos con cultivos. Por otro lado, los efectos de los tratamientos indican, generalmente, una interacción con las condiciones climáticas en las cuales se aplicaron inicialmente.
- Los ensayos de pastoreo exigen áreas más grandes que los ensayos agronómicos pues el tamaño de la parcela debe ser tal que soporte el número de animales requerido para estimar la producción animal con precisión.
- La variabilidad animal, unida a la variabilidad de la pastura per se, impone una variabilidad adicional a la relación pastura-animal y produce, según como se la trate, efectos de tratamiento distintos.

En general, en la planeación de un ensayo de pastoreo hay que considerar cinco aspectos básicos de variabilidad que son inherentes al sitio del ensayo y a su material experimental:

1. **Variabilidad del suelo.** Se refiere a la existente en la zona sobre la cual se desea generalizar los resultados. Salinas (1983) considera que para el

área de interés del Programa de Pastos Tropicales del CIAT, asentada sobre suelos Oxisoles y Ultisoles, los principales parámetros son: pH, porcentajes de saturación de Al, de Ca, y de Mg, fósforo disponible, y materia orgánica, como *parámetros químicos*; textura, drenaje, topografía y capacidad de retención de agua, como *parámetros físicos*. Partiendo de esta información, el investigador decidirá el número y la ubicación espacial de las repeticiones de campo, de tal manera que sean representativas de la zona de interés.

2. **Variabilidad del clima.** Se refiere al clima de la zona sobre la cual se desea generalizar los resultados. Hay evidencia experimental de que la producción de una pastura, tanto en términos de forraje como de producto animal, varía notablemente con la época estacional y con el año de evaluación (Cuadro 2). Este hecho implica que la variabilidad climática de una zona debe analizarse *dentro* de un año y *entre años*. La

Cuadro 2. Efecto de las variables época estacional y año de evaluación en la producción de pasturas, expresada ésta como ganancia de peso de los novillos.<sup>1</sup>

Epoca/año	Novillos considerados (no.)	Ganancia de peso <sup>2</sup> (g/an por día)	CV (%)
<b>Lluvias:</b>			
1979	73	495	21.4
1980	85	548	14.8
1981	85	478	17.2
1982	40	397	16.4
<b>Sequía:</b>			
1979	73	140	102.5
1980	85	129	97.3
1981	85	192	64.1
1982	40	252	95.1
Lluvias	283	485a	17.2
Sequía	283	175 b	88.3
<b>Años:</b>			
1980	146	409a	42.3
1981	170	383ab	32.8
1979	170	376ab	48.4
1982	80	348 b	42.7

1. La información proviene de siete ensayos de ganancia de peso de novillos, realizados en Carimagua, Llanos Orientales de Colombia, entre 1972 y 1982, por el Programa de Pastos Tropicales del CIAT. En el análisis estadístico de los datos de ganancia de peso por estación por año (g/an por día) obtenidos en cada ensayo, cada dato es un promedio de *n* observaciones donde *n* representa la duración del período estacional, en meses.

2. Los promedios seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente ( $P \leq 0.05$ ).

FUENTE: Tergas et al., 1984a y 1984b.

variabilidad dentro del año, o sea, la variabilidad estacional, determinará el número de las evaluaciones de atributos de la pastura y el intervalo de tiempo que medie entre ellas, durante el año. Por otra parte, la variabilidad entre años indicará si son necesarias las repeticiones físicas en el tiempo, con grupos de animales y en potreros experimentales diferentes, o si no lo son.

La duración total de un experimento estará determinada por la capacidad de recuperación de la pastura al pastoreo y a las variantes estacionales durante el año; así por ejemplo, si se tiene la certeza de que una pastura, al cabo de dos años de pastoreo, presenta un estado similar al que tenía a principios del primer año, se puede tomar la decisión de que la duración del experimento sea de sólo dos años. Por el contrario, si una pastura experimenta cambios permanentes año tras año, suspender el experimento antes de que la pastura se estabilice podría conducir a la obtención de estimados de producción irreales.

En resumen, si una zona presenta épocas estacionales marcadas y, además, demuestra alta variación entre años sucesivos, entonces es necesario realizar, como mínimo, tantas evaluaciones por año como cambios de época estacional ocurran para poder cuantificar así la respuesta de la pastura a todas las épocas estacionales; de otro lado, es necesario mantener el experimento durante 3 ó 4 años, como mínimo, para permitir a la pastura expresar su potencial de producción en el rango de condiciones climáticas de la zona de interés. Finalmente, cuanto mayor sea la variabilidad entre un año y otro, es más deseable establecer repeticiones reales en el tiempo; por ejemplo, si el investigador está dispuesto a utilizar cuatro repeticiones de campo por espacio de tres años, es más aconsejable que establezca dos el primer año y dos el segundo y que observe cada grupo durante tres años. Sin embargo, en la práctica es muy costoso establecer repeticiones en el tiempo, además de las repeticiones hechas en el espacio. En muchos casos, el investigador opta por usar repeticiones en el espacio y mantiene su experimento durante varios años. No obstante, *año* no representa una repetición real en el tiempo.

3. **Variabilidad de la pastura.** Una o varias pasturas constituyen el material experimental de un ensayo. Los principales aspectos que definen la variabilidad de la pastura per se, son:
  - Su *naturaleza*: ¿se trata de un monocultivo, de una asociación o de una comunidad nativa como sabana, cerrada, o 'torourco'? Según su grado de compatibilidad, una asociación puede mostrar menor o mayor variabilidad que alguno de sus componentes cuando se halla en monocultivo.



- Su *hábito de crecimiento*: muestran mayor variabilidad las plantas erectas que las rastreras.
- *El grado de compatibilidad* que exista entre las plantas de la asociación: lo determina la competencia que se establezca entre ellas por agua, luz y nutrimentos. Por ejemplo, la asociación *A. gayanus-Stylosanthes capitata* presenta mayor variabilidad que la asociación *Brachiaria decumbens-Pueraria phaseoloides*.

En el Cuadro 3 aparece la variabilidad reportada por Amézquita et al. (1983) en los parámetros *producción de materia seca* total de gramínea (MST), *materia verde en base seca* de gramíneas (MVS), y *materia muerta en base seca* (MSM) en cuatro pasturas evaluadas bajo pastoreo en iguales condiciones ambientales. Los CV fueron calculados, en cada caso, empleando 50 muestras de forraje tomadas con la altura óptima de corte de cada especie (10 cm para *A. gayanus*, 5 cm para *B. decumbens* y a ras del suelo para *B. humidicola*) utilizando un marco muestral de 1/2 m<sup>2</sup>. Estos CV indican que *B. humidicola* es la especie menos variable; que la gramínea erecta *A. gayanus* muestra más variabilidad que las dos rastreras: *B. decumbens* y *B. humidicola*; y que la asociación *A. gayanus + Centrosema* sp., dada su excelente compatibilidad, es menos variable que el monocultivo de *A. gayanus*.

4. **Variabilidad animal.** En ensayos de pastoreo el animal desempeña el papel del principal instrumento de medición de la productividad de la pastura. Por tanto, es muy importante hacer una selección adecuada del tipo de animales que deben utilizarse, teniendo en cuenta que sean representativos de la población animal de la zona y que conformen un grupo tan homogéneo como sea posible.

Cuadro 3. Coeficientes de variación (CV) obtenidos al estimar materia seca total (MST), materia verde en base seca (MVS) y materia muerta en base seca (MSM) en cuatro gramíneas bajo pastoreo.<sup>a</sup>

Pastura	CV (%) en parámetro de producción de forraje:		
	MST	MVS	MSM
<i>Andropogon gayanus</i>	95	95	103
<i>Andropogon gayanus + Centrosema</i> sp.	83	86	84
<i>Brachiaria decumbens</i>	69	60	85
<i>Brachiaria humidicola</i>	34	42	38

a. En cada caso, con 50 muestras de forraje.

FUENTE: Amézquita et al., 1983.

La variabilidad en la respuesta animal depende de los siguientes factores: raza, categoría animal dentro de una misma raza, nivel de avance genético, tipo de ganado (de leche, de carne, de doble propósito), y condiciones de estrés a que esté sometido el animal. Wilson (1975) discute la variación de algunos parámetros de producción animal comparada con la de parámetros de producción de cultivos en Inglaterra; sus datos están resumidos en el Cuadro 4 e indican que la magnitud del CV para cultivos es de 20% aproximadamente, mientras que para animales es de alrededor del 30%. Sin embargo, en 43 ensayos de ganancia de peso en novillos jóvenes (un año de edad) se obtiene un CV del orden del 20% mientras que en experimentos con ganado adulto (novillos de más de dos años), se registran coeficientes de variación (CV) de 39 a 42% para ganancia de peso.

Cuadro 4. Variabilidad presente en algunos parámetros de producción del ganado en comparación con la encontrada en varios cultivos.

Cultivo o parámetro	Media	Desviación estándar	CV (%)
<b>Cultivos<sup>a</sup> (t/ha)</b>			
• Trigo	4.46	0.81	18.2
• Cebada	3.67	0.69	19.0
• Papa	1.59	0.33	20.7
• Remolacha	1.95	0.43	22.2
<b>Ganado<sup>b</sup></b>			
• Ganancia de peso de novillos; 15 meses en estabulación (kg/ha por año)	2169	505	23.3
• Ganancia de peso de novillos; 2 años en pastoreo (kg/ha por año)	480	188	39.2
• Ganancia de peso de novillos; 3 años en pastoreo (kg/ha por año)	426	180	42.3
• Peso de terneros, en hatos lecheros (kg/ha)	459	138	30.0
• Ganancia de peso en novillos de 1 año <sup>c</sup> (rango de CV, %)			19.2 - 22.5

a. Los datos originales están expresados en cwt/acre.

b. De raza Friesian, el ganado de carne; de raza Jersey, el ganado de leche. Los datos originales están expresados en lb/acre por año.

c. Datos de 43 ensayos.

FUENTE: Wilson, 1975.

Es posible que una fuente de variación animal esté relacionada con la pureza de la raza. En el Cuadro 5 aparece la variación del peso al destete, del peso a los 18 meses, y del intervalo entre partos hallada en ganado cebú Brahman puro de una ganadería comercial (hacienda *Montenegro*, Antioquia, Colombia); de otra parte, en el Cuadro 6 se presentan datos similares a los anteriores obtenidos en el cruce cebú x criollo en fincas ganaderas de Venezuela y Brasil (Amézquita y Rojas, 1982). Los resultados revelan, de un lado niveles más altos de productividad animal en las razas puras que en las razas cruzadas —estas últimas no corresponden a  $F_1$ — y de otro, niveles similares de variabilidad en ambas razas. Estos datos sugieren, en contra de lo que se podría esperar, que no es necesario trabajar con animales de alta pureza genética para minimizar la variabilidad en los ensayos de pastoreo. Sin embargo, en un momento dado, la producción animal de una pastura puede estar limitada por el potencial animal y no necesariamente por el potencial de la pastura, lo cual no es deseable.

Por último, el estrés impuesto por el ambiente o el manejo pueden influir en la variación animal. En el Cuadro 7 se presenta la variación del parámetro ganancia de peso por día en novillas de levante del cruce cebú x criollo, bajo tres tratamientos de carga, en épocas de lluvia y de sequía. Los datos arrojan un CV de 20% en condiciones de ausencia de estrés (época de lluvias con cargas media y baja), pero coeficientes altísimos —entre 39 y 197%— bajo condiciones de estrés (época de sequía o cargas altas). Otra causa de estrés que puede afectar la variabilidad de la respuesta animal es el estado de sanidad del hato.

5. **Variabilidad en la forma de medición.** Las variables de respuesta — tanto los parámetros de producción animal como los atributos

Cuadro 5. Variabilidad en parámetros de producción animal en una raza pura cebú Brahman en una ganadería comercial. Hacienda Montenegro, Antioquia, Colombia (1970-1982).<sup>a</sup>

Parámetro	n	Media	Desviación	
			estándar	CV (%)
Peso de destete, en novillos (kg)	1201	226.7	31.0	13
Peso de destete, en novillas (kg)	1247	203.5	39.7	19
Peso de 18 meses, en novillos (kg)	171	332.1	58.4	17
Peso de 18 meses, en novillas (kg)	231	277.8	37.2	13
Intervalo entre partos (meses) <sup>b</sup>	2226	14.0	3.5	24
Intervalo entre 8o. y 9o. parto (meses)	15	13.0	1.3	10

a. Estudio realizado por la sección de Biometría del CIAT como colaboración al Fondo Ganadero de Antioquia, Colombia.

b. Los intervalos entre partos calculados incluyen vacas entre el 2o. y el 10o. parto. En este caso, n representa el número de intervalos entre partos sucesivos (no es el número de vacas).

Cuadro 6. Variabilidad en algunos parámetros de producción animal en ganado del cruce cebú x criollo, en fincas ganaderas. CIAT, 1982.<sup>a</sup>

Parámetro	n	Media	DE	CV (%)
<b>Peso de destete en novillos (kg)</b>				
Mato Grosso, Brasil	524	122.8	22.1	18.0
Goiás, Brasil	726	140.3	28.6	20.3
<b>Peso a los 18 meses en novillos (kg)</b>				
Mato Grosso, Brasil	428	169.4	35.3	20.8
Goiás, Brasil	319	186.1	31.8	17.1
Llanos, Venezuela	506	193.0	30.5	15.8
<b>Peso a los 18 meses en novillas (kg)</b>				
Llanos, Venezuela	867	216.2	37.2	17.2
<b>Intervalo entre partos (meses)</b>				
Mato Grosso, Brasil	527	18.0	3.2	18.0
Goiás, Brasil	397	17.7	3.2	17.9
Llanos, Venezuela	232	19.0	4.5	23.6

a. Datos del Proyecto ETES (Estudio Técnico y Económico de Sistemas de Producción Pecuaria) que corresponden a un diagnóstico de la situación ganadera en los Llanos Nororientales venezolanos (12 fincas) y en Mato Grosso y Goiás en Brasil (12 fincas). Las fincas se observaron por espacio de dos años en dos visitas por año a cada finca (1979-1982).

FUENTE: Amézquita y Rojas, 1982.

agronómicos— suelen medirse con técnicas que introducen variabilidad. En general, el investigador debe considerar como técnica óptima de medición aquella que presente la mínima variabilidad en los resultados, esto es, que minimice el error estándar del estimado. Para dar un ejemplo, Amézquita et al. (1983) encontraron que a mayor altura en el corte del forraje, mayor es la variabilidad que ocurre en la estimación de los parámetros de producción de forraje en ensayos bajo pastoreo; también hallaron que el método de muestreo estratificado aleatorio es mejor que el método de muestreo aleatorio, pues minimiza el error estándar de los estimados. Asignar los animales a los tratamientos en grupos basados en su peso inicial es recomendable para homogeneizar las varianzas de los tratamientos. Además, el pesaje de los animales en ayunas, o a una hora fija en la madrugada, contribuye a reducir la variabilidad entre las ganancias de peso de los animales experimentales.

Mendoza y Lascano, Paladines y Vaccaro se refieren en detalle a estos temas en los capítulos *Mediciones en la pastura en ensayos de pastoreo*, *Mediciones de respuesta animal en ensayos de pastoreo: ganancia de peso* y *Mediciones de respuesta animal en ensayos de pastoreo: vacas lecheras*

Cuadro 7. Una ilustración del efecto que ejercen las condiciones de estrés (carga alta y sequía) sobre la variabilidad de la respuesta animal.<sup>a</sup>

Variable de respuesta	Media (g/an por día)	CV (%)
<b>Carga alta (3.23 an/ha)</b>		
Ganancia/día, en lluvias	37.8	177
Ganancia/día, en sequía	26.4	197
Ganancia/día, anual	31.7	116
<b>Carga media (2.35 an/ha)</b>		
Ganancia/día, en lluvias	434.6	20
Ganancia/día, en sequía	153.2	39
Ganancia/día, anual	284.1	14
<b>Carga baja (1.72 an/ha)</b>		
Ganancia/día, en lluvias	340.6	20
Ganancia/día, en sequía	85.2	47
Ganancia/día, anual	200.4	19

a. Datos obtenidos en 17 novillas.

FUENTE: Cajas, 1984 (tesis Zoot.).

y de doble propósito respectivamente. Por otro lado, 't Mannetje et al. (1976) discuten aspectos sobre mediciones en la pastura y mediciones en los animales en experimentos de pastoreo.

## Variabilidad observada en experimentos de pastoreo

En el cuadro 8 se presenta un análisis de siete experimentos de ganancia de peso de novillos, llevados a cabo en los Llanos Orientales de Colombia entre 1972 y 1983. Cada experimento duró cuatro años, y se ajustó a diseños de bloques completos al azar (BCA) con dos repeticiones (en algunos casos sólo se pudo analizar una repetición), en los cuales se utilizaron de dos a cinco novillos por tratamiento en cada repetición. Los resultados indican que la mayor variabilidad en la ganancia de peso estuvo asociada con el efecto de la época estacional. El CV entre épocas oscila entre 49 y 183%, dependiendo del ensayo. La variabilidad entre animales fue el factor que contribuyó en segundo lugar a la variabilidad de la ganancia de peso, y fue más dramática en la época de sequía (CV entre 4 y 162% con cuatro animales por tratamiento) que en la época de lluvias (CV entre 6 y 27%) o en períodos anuales (CV entre 5 y 36%). La variación entre años fue el factor que contribuyó en tercer lugar a la variabilidad en ganancias de peso. Finalmente, la variabilidad que ocurre entre las repeticiones de campo no fue significativa en ninguno de los ensayos.

Cuadro 8. Variación presente en la ganancia de peso de los novillos entre épocas estacionales, entre animales, entre repeticiones de campo, y entre años.<sup>a</sup>

Fuente de variabilidad	CV (%) en ganancia/animal por día		
	En lluvias	En sequía	Anual
<b>Animales</b>			
• con 2 novillos/tratamiento (y por repetición)	0.7 - 37	2.0 - 282	0.5 - 36
• con 4 novillos/tratamiento	6.0 - 26	4.0 - 162	8.2 - 32
<b>Años (1979-1982)</b>	11.8 - 55	34.4 - 271	9.5 - 23.6
<b>Repeticiones de campo</b>	3.4 - 3.8	0.5 - 2.5	
<b>Épocas (rango del CV, %)</b>		48.7 - 183.8	

a. Resultados obtenidos del análisis de siete experimentos sobre ganancia de peso realizados por el Programa de Pastos Tropicales del CIAT, en Carimagua, Llanos Orientales de Colombia, entre 1979 y 1983.

FUENTE: Tergas et al., 1984a y 1984b.

## Variables de respuesta

Los parámetros de producción animal son las principales variables de respuesta en un experimento bajo pastoreo, porque permiten cuantificar finalmente la producción de la pastura. Sin embargo, para entender el sistema pastura-animal y explicar los resultados obtenidos en el experimento, es necesario tomar datos agronómicos de producción de la pastura. Es preciso subrayar la importancia de medir solamente aquellas variables de respuesta sobre las cuales se hayan formulado hipótesis, pues cuanto más abundante sea la información recolectada mayor será la probabilidad de cometer errores de imprecisión.

Según el fin a que se destine la pastura, los experimentos de pastoreo pueden clasificarse así:

- Experimentos de *ganancia de peso*, cuya unidad experimental es un grupo homogéneo de novillos o novillas de la raza productora de carne adaptada a la región.
- Experimentos de *comportamiento reproductivo*, cuya unidad experimental es un hato racialmente homogéneo de vacas de distintas categorías de edad —por ejemplo, novillas preñadas de tres años hasta vacas de nueve años— en proporciones representativas de un hato normal sujeto a un porcentaje fijo de parición (Vera, 1982).

- Experimentos de *producción de leche*, en los cuales la unidad experimental es un hato homogéneo de vacas lactantes con su ternero o sin él, de la raza lechera adaptada a la región.

Sobre los parámetros de producción de forraje tratan Mendoza y Lascano en el capítulo de estas Memorias titulado *Mediciones en la pastura en ensayos de pastoreo*; sobre los parámetros de producción animal se discute en este trabajo y en los de Paladines y Vaccaro. Los parámetros de producción animal que usualmente se evalúan en los experimentos de pastoreo son los siguientes:

a. **En experimentos de ganancia de peso**

- Capacidad de carga de la pastura: número de animales por unidad de superficie que soporta cada tratamiento, en cada repetición, durante un período dado de tiempo.
- Ganancia de peso por hectárea.
- Ganancia de peso por animal.
- Condición corporal: evaluación subjetiva de la condición de un animal cuando no se dispone de báscula (flaco, medianamente gordo, gordo, muy gordo).
- Tiempo requerido para alcanzar cierto peso (por ejemplo, el peso de sacrificio).
- Rendimiento de canal: peso del animal sacrificado después de sustraer las vísceras, la cabeza, la cola y la piel.

b. **Experimentos de comportamiento reproductivo**

- En novillos o novillas
  - Peso al nacimiento
  - Peso a los 4 meses
  - Peso a los 9 meses (o al destete)
  - Peso a los 18, 24 y 36 meses
  - Ganancia diaria de peso entre 0-1 año, 1-2 años, 2-3 años, y 3-4 años de edad
  - Tasa de mortalidad de terneros hasta los 2 meses de edad
  - Tasa de mortalidad de terneros hasta los 12 meses de edad
- En novillas:
  - Tasa de preñez
  - Peso y edad a la primera concepción
- En vacas:
  - Peso corporal ajustado a un estado fisiológico dado

Partiendo de los resultados antes expuestos (ver *Consideraciones sobre la variabilidad*) y en opinión de algunos investigadores (Kemp, 1961; 't Mannetje et al., 1976; Lucas, 1972; Haydock, 1982) podemos afirmar lo siguiente:

- En ensayos cuyo objetivo es estudiar *la pastura* en términos de su producción animal y donde la unidad experimental está constituida por el hato y su potrero asociado, se recomienda usar dos repeticiones de campo ubicadas de tal manera que sean representativas de las condiciones del suelo de la zona. El número mínimo de animales por unidad experimental es tres a cuatro novillos jóvenes en experimentos de ganancia de peso y cinco a seis vacas en experimentos de producción de leche, si no median condiciones de estrés. El tamaño del potrero debe ser el mínimo necesario para obtener resultados de producción con el número requerido de animales en la pastura. Por tanto, según la pastura de que se trate, de los tratamientos que ella reciba y del ecosistema particular bajo consideración, el área del potrero que representa la unidad experimental y, por ende, las dimensiones totales del ensayo será necesariamente diferente entre un ensayo y otro.
- En ensayos cuyo objetivo es estudiar la respuesta *del animal* a los tratamientos de pasturas, la unidad experimental es un animal; en tal caso, no es necesario emplear repeticiones de campo/a no ser que se desee estudiar el *efecto de sitio* como otro factor experimental. Se considera que el número mínimo de animales (repeticiones) por tratamiento es de 10 ('t Mannetje et al., 1976).
- El uso de al menos dos repeticiones en el tiempo es útil cuando la variación entre años es muy grande. Sin embargo, ante la limitación de recursos el investigador opta por una sola repetición en el tiempo y obtiene estimados de producción anual durante varios años consecutivos, usando, cada año, distintos grupos de animales.
- La duración mínima de un experimento de pastoreo debe ser de tres años y, según las condiciones climáticas y la capacidad de recuperación y estabilización de la pastura, es deseable que se prolongue hasta cinco años. Es aconsejable también definir de antemano un criterio objetivo al que se acuda para dar por terminado un ensayo antes del plazo fijado; por ejemplo, declarar concluido un experimento que estudie una asociación gramínea-leguminosa cuando la leguminosa haya desaparecido en cierto porcentaje del área total.
- Para controlar la variabilidad en la respuesta animal en condiciones de estrés (cargas muy altas, sequía) se recomienda, cuando se prueban cargas altas, aumentar el número de animales por unidad experimental, y cuando se trata de ambientes con sequía prolongada, no utilizar la ganancia de peso en época de sequía como elemento de decisión sino considerar únicamente la ganancia anual y la ganancia de peso en la época de lluvias. Este es un punto que exige estudio cuidadoso y que podría debatirse.



## Diseño experimental que se empleará

Los diseños experimentales con animales se clasifican en dos grupos: los de tipo *continuo* y los de tipo '*change-over*' (permutable). En un diseño continuo un animal, una vez asignado a un tratamiento, permanece en él hasta el final del experimento; en un diseño permutable, en cambio, un animal recibe todos los tratamientos en secuencia. El diseño permutable desempeña un papel muy importante en la experimentación animal, porque permite aumentar el número de tratamientos sin aumentar el número de animales; ha sido muy utilizado en estudios nutricionales y de metabolismo y en experimentos de dietas alimenticias para vacas lactantes (Lucas, 1976; Stobbs y Sandland, 1972) donde el grupo de vacas recibe, en secuencia, las distintas dietas que se estudian con intervalos de tiempo de longitud suficiente que permitan eliminar el efecto residual del tratamiento anterior. Stobbs y Joblin (1966) utilizaron un diseño permutable para evaluar la producción de carne; en él se expuso el grupo de animales experimentales a todos los tratamientos, separando los periodos de evaluación de ocho semanas por periodos de estandarización de dos semanas. Sin embargo, los diseños permutables son útiles solamente si se consideran válidos los resultados de producción obtenidos en periodos de evaluación cortos.

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

1. El tipo de *efecto de tratamiento* que permite estimar cada diseño. El tiempo de exposición de un animal a un tratamiento es más largo en un diseño continuo que en un diseño permutable. Por tanto, el primero estima el efecto del tratamiento a largo plazo, mientras que el segundo estima ese efecto a corto plazo. Así, los efectos de tratamientos estimados por cada diseño pueden resultar diferentes.
2. La magnitud del *error experimental*. En el diseño continuo el error experimental incluye la variabilidad entre animales dentro de cada tratamiento; no así en el diseño permutable. Por ello, se espera que, en general, la magnitud del error experimental sea mayor en los diseños continuos que en los permutables.
3. La capacidad del diseño para controlar las *fluctuaciones del comportamiento animal* en el tiempo. En un diseño continuo los animales se exponen a todos los tratamientos al mismo tiempo; por tanto, cualquier sesgo en el patrón de comportamiento animal debido al *tiempo* afecta por igual a todos los tratamientos y no es necesario considerarlo. Por el contrario, en ensayos de diseño permutable los animales se exponen a los tratamientos en diferentes tiempos y por ello la respuesta del animal al tratamiento puede estar confundida con los sesgos en su patrón de comportamiento asociados

con el tiempo. Por ejemplo, en vacas de leche la tasa de producción de leche varía según la edad de lactancia; en novillos de engorde su tasa de crecimiento varía según la edad.

Estas tres diferencias deben tomarse en cuenta antes de utilizar un diseño de tipo permutable en los experimentos de pastoreo.

Considerando su magnitud y sus costos, el número de tratamientos que se puede estudiar en un experimento de pastoreo es relativamente pequeño; por tanto, se aconseja utilizar diseños experimentales sencillos. Los diseños de tipo continuo más utilizados son el de bloques completos al azar (BCA) y el de parcelas divididas; el primero se utiliza para el estudio de un solo factor o de estructuras factoriales completas o incompletas, como la comparación de pasturas, de tratamientos de manejo, y su interacción. El diseño de parcelas divididas es útil cuando se desea introducir un factor extra una vez comenzado el experimento. Los diseños central compuesto y central rotatable que evalúan estructuras factoriales de tipos  $2^n$  y  $3^n$ , aunque recomendados por Mott (1983) para ensayos de pastoreo en parcelas pequeñas (ERC), no son muy prácticos en ensayos de producción animal en parcelas grandes (ERD), pues en estos últimos no se intenta comparar un número grande de tratamientos. Lucas (1976) hace referencia a los diseños permutables más utilizados: el de bloques completos al azar, el de bloques incompletos, el 'change-over' o 'cross-over design' (diseño permutable), el 'switch-back design' simple o 'reversal design' (diseño intercambiable), el 'double-reversal design' (diseño de doble intercambio), el cuadrado latino, y el diseño en ládice, (ver *Glosario de términos técnicos...*).

## Experimentos sin repetición

Un experimento de pastoreo cuyo objetivo sea evaluar la pastura en términos de su producción animal se considera *sin repetición* cuando tiene una sola repetición en el espacio, no importa cuál sea el número de animales que utilice por tratamiento.

Un experimento sin repetición adolece de las siguientes limitaciones:

- No se puede obtener con él un estimado válido del error experimental pues permite estimar el error dentro de cada tratamiento pero no *a través* de los tratamientos.
- No permite generalizar los resultados, pues las observaciones hechas sobre los animales y sobre la pastura de cada tratamiento están asociadas con las condiciones específicas del sitio donde se ubicó la repetición.
- Es posible hacer un análisis de varianza sobre sus variables de respuesta utilizando como término de error la variación entre animales dentro de

cada tratamiento. Sin embargo, hay que tener presente que se trata de un análisis exploratorio, en el cual los efectos del tratamiento están confundidos con los del sitio específico donde se ubicó la repetición.

En algunos casos se pueden utilizar experimentos sin repetición:

- En las etapas iniciales del desarrollo de un programa de investigación cuando se prueba, con carácter demostrativo, la bondad de una pastura o de una técnica de manejo.
- Cuando se necesita obtener información básica sobre el comportamiento del germoplasma cuya semilla es escasa.
- En pruebas de carácter exploratorio, para definir el rango apropiado de un factor experimental dado; por ejemplo, los niveles de carga.
- Si los recursos son limitados o el experimento, en tamaño, es de grandes proporciones, se suelen diseñar experimentos sin repetición para evaluar una o varias pasturas respecto a sus efectos en el comportamiento reproductivo de los animales. Estos experimentos se mantienen durante varios años —a veces hasta siete— con el fin de incrementar la validez de las medias de los tratamientos. En estos casos se aconseja usar, como mínimo, 10 animales por tratamiento.

Se pueden citar, como ejemplo, dos experimentos de comportamiento reproductivo realizados por el CIAT en el CNIA de Carimagua. El primero, denominado *Sistemas de hatos* (Stonaker, 1978) comparó entre 1972 y 1977, el comportamiento reproductivo de hatos del cruce cebú x criollo que pastoreaban unos la sabana nativa y otros un pasto mejorado (*Melinis minutiflora*) con suplementación de urea + melaza o sin ella y con apareamiento estacional o sin él; el experimento empleó una sola repetición y 25 vacas por tratamiento. El segundo, denominado *Sistemas de hatos de cría* (CIAT, 1978-1983) estudió seis tratamientos: dos pasturas (sabana nativa vs. sabana nativa + leguminosa) y tres períodos de apareamiento de diferente duración; empleó una sola repetición y 55 vacas por tratamiento.

## Consideraciones en la etapa de análisis

### Consideraciones generales

En primer lugar, conviene establecer si el diseño experimental empleado es *ortogonal* o no lo es. Un diseño ortogonal es aquél en el cual cada posible combinación de factores ocurre el mismo número de veces; cuando esta condición no se cumple, el diseño se denomina no ortogonal. Por ejemplo, un experimento que estudia tres pasturas con tres niveles diferentes de carga para

cada pastura (ver Diagrama 1) es un diseño no ortogonal, pues cada posible combinación de pastura x nivel de carga no ocurre igual número de veces. Otro ejemplo de diseño no ortogonal es aquél con un número desigual de repeticiones por tratamiento.

**Diagrama 1.**

Pastura	Niveles de carga (animales/ha)				
	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
A	X	X	X		
B		X	X	X	
C			X	X	

Un diseño ortogonal se somete al análisis de varianza convencional, en el cual cada suma de cuadrados es independiente de las demás y cuya interpretación no ofrece problemas. Un diseño no ortogonal, en cambio, no se puede someter al análisis de varianza convencional pues las fórmulas con que se calculan las sumas de cuadrados no son válidas para él. Un diseño no ortogonal tiene otras alternativas de análisis:

- Considerar la porción ortogonal del diseño: las pasturas A y B con las cargas de 1.5 y 2.0 an/ha, en el ejemplo.
- Utilizar las técnicas de análisis de varianza para diseños no balanceados, que calculan sumas de cuadrados ajustadas por el número de observaciones por celda (Harvey, 1964).
- Ajustar curvas de regresión, de producción animal como función de la carga animal (así en el ejemplo) para cada pastura y comparar luego estadísticamente los parámetros de dichas regresiones. Este análisis puede efectuarse cuando los factores experimentales estudiados son de naturaleza continua, como carga animal o niveles de P, por ejemplo.

### **Experimentos que evalúan la pastura según la ganancia de peso/animal**

Se establece, por ejemplo, un experimento de pastoreo en una zona biestacional, en el cual un grupo de tres tratamientos, aplicados a la pastura, se evalúa en términos de la ganancia de peso de los novillos. Su diseño experimental es el de BCA, con dos repeticiones de campo, cuatro novillos por tratamiento en

cada repetición, y una duración total de cuatro años. Los animales tienen, al iniciar la experimentación, 11/2 años de edad; se les toma el peso cada dos meses durante el primer año. Al comienzo del año siguiente, se remplazan por otro grupo similar de novillos de 11/2 años de edad. La variable de respuesta de interés es la ganancia de peso por animal por día. Las fuentes de variabilidad que afectan la ganancia de peso son entonces: repetición, tratamiento, año, y época estacional.

En el análisis de la ganancia de peso se presentan varios problemas cuya discusión resulta interesante:

**Problema 1.** Alta variabilidad en la ganancia de peso en épocas de sequía.

Debido a la alta variabilidad observada en la ganancia de peso entre animales en épocas de sequía, el factor *época* no se debería incluir en el análisis de varianza como fuente de variación, pues se violaría el supuesto de homogeneidad de varianzas; si se incluyera, sería necesario entonces realizar análisis independientes por época. Ahora bien, un análisis de varianza sobre *ganancia de peso en sequía* tampoco es aconsejable pues la altísima variabilidad dificulta la detección de los efectos de los tratamientos con precisión, tal como se mencionó anteriormente.

Esta situación plantea dos alternativas de análisis:

- a) Analizar en forma independiente tanto la *ganancia/animal por día en época de lluvias* como la *ganancia/animal por día anual*; de este modo el efecto época resulta por diferencia.
- b) Analizar *ganancia/animal por día en época de lluvias y diferencia en ganancia de peso/animal entre lluvias y sequía*; en este caso, la segunda variable mide ya el efecto época.

El modelo del análisis de varianza (ANOVA) para cada una de las dos variables de respuesta consideradas en el ejemplo dado, sería el siguiente:

**Diagrama 2**

Fuentes de variación	g.l.
Repeticiones	1
Tratamientos	2
Repetición x tratamiento	2
Año	3
Tratamiento x año	6

Continúa

Continuación Diagrama 2

Fuentes de variación	g.l.
Residuo: <sup>a</sup>	81
Error experimental = repetición x tratamiento (año)	9
Error animal = animal (repetición x tratamiento x año)	72
Total	95

- a. Si el error experimental es mayor o igual que el error entre animales, se debe usar el primero como término de error para probar *año y tratamiento x año*. En cambio, si el error entre animales es mayor que el error experimental, entonces ambos deben sumarse y esta suma se usará como error.

### Problema 2. Método de estimación de la ganancia de peso por animal.

En ensayos donde se evalúe la pastura en términos de ganancia de peso por animal se pesan por lo regular, los animales periódicamente durante el período experimental. En el momento de analizar los resultados es de interés para el experimentador conocer si existen diferencias entre las curvas de crecimiento de los animales procedentes de cada tratamiento y, finalmente, si hay o no diferencias significativas entre las ganancias de peso en el período considerado. Existen dos alternativas de análisis:

- cuantificar la ganancia de peso por animal por diferencia de pesos:  $(\text{peso final} - \text{peso inicial}) / (\text{días de pastoreo})$ ;
- cuantificarla mediante la pendiente de una regresión lineal de peso en el tiempo, aceptando el supuesto de linealidad por tratarse de novillos jóvenes (de 1 a 1 1/2 años de edad).

La segunda alternativa muestra ventajas sobre la primera. En primer lugar, hace uso de toda la formación de los pesajes periódicos, restando importancia a posibles errores de medición en el peso inicial o en el final. En segundo lugar, permite obtener curvas de crecimiento por animal, las cuales pueden ser comparadas estadísticamente.

En el Cuadro 9 se comparan los dos métodos de estimación de la ganancia de peso por animal, utilizando datos de 17 novillas de levante pesadas mensualmente entre abril y agosto de 1983 en Carimagua, en la época de lluvias. Los dos métodos muestran una alta correlación ( $r = 0.94$ ). La variabilidad presente en ambos métodos es similar —alrededor de 25% de CV— pero las ganancias estimadas por regresión resultaron siempre superiores a los estimados obtenidos por diferencia de pesos debido a que, en este caso, las curvas de peso mostraban una leve concavidad hacia abajo.

Cuadro 9. Comparación de dos formas de estimación de la ganancia de peso por animal: como la pendiente de la regresión lineal del peso respecto al tiempo, y como la diferencia entre el peso final y el peso inicial.<sup>a</sup>

Identificación del animal	Pendiente (kg/an por mes)	R <sup>2</sup> (%)	Diferencia <sup>b</sup> (kg/an por mes)
1	9.5	83.1	8.2
2	8.5	95.5	7.2
3	11.8	86.2	10.0
4	15.5	97.8	13.0
5	9.4	90.8	8.2
6	5.0	68.6	4.6
7	15.4	94.2	13.4
8	13.1	86.4	12.0
9	8.5	84.7	7.2
10	12.9	90.9	11.2
11	12.9	87.6	11.0
12	10.0	91.0	8.2
13	11.0	88.6	9.6
14	9.4	86.6	7.8
15	13.7	98.5	11.4
16	14.0	92.8	12.0
17	12.0	95.7	10.2
Media	11.33		9.72
CV (%)	24.59		24.57
Coefficiente de correlación, r	0.94		

a. Datos sobre 17 novillas de levante que pastoreaban *B. humidicola* + *M. minutiflora* + *D. ovalifolium* con carga media (2.35 an/ha), pesadas mensualmente entre abril y agosto de 1983 (época de lluvias) en Carimagua.

b. Diferencia = (Peso final - Peso inicial)/(meses, no.).

FUENTE: Cajas, S., 1984.

### Problema 3. Reemplazo de animales experimentales.

Cuando *mueren los animales* en un ensayo de pastoreo, se deben considerar los siguientes puntos. Si la causa de la muerte es el mismo tratamiento experimental, lo mejor sería dar por terminado el experimento en ese momento y hacer los análisis. Si la causa de la muerte es ajena al tratamiento —por ejemplo, enfermedad, fractura, un rayo— es recomendable reemplazar el animal por otro del mismo peso y, ojalá, de similares condiciones, para no desequilibrar la carga. A no ser que el animal haya entrado muy temprano al experimento, no se deberían considerar sus datos de ganancia de peso en el análisis estadístico, porque la respuesta de aquél al tratamiento estará condicionada por su

procedencia previa y por la aceptación o rechazo que experimente de parte de los otros animales, ya adaptados.

Se cuestiona aquí la práctica de remplazar aquellos animales de un experimento de pastoreo que alcancen determinado peso en vez de sustituirlos todos al final de un período dado de experimentación. El hecho de que un animal o un grupo de ellos alcancen cierto peso antes que otros es un reflejo del efecto del tratamiento que reciben, y remplazarlos por otros de menor peso sería alterar el efecto del tratamiento. Por tanto, es más aconsejable el *reemplazo simultáneo* de los animales por otro grupo, de peso similar al que tenían los primeros al iniciar el ensayo. Así se balancea la carga entre pasturas y, a la vez, se dispone de animales altamente sensibles a los tratamientos. La fecha más apropiada para efectuar el cambio de los animales experimentales es el comienzo de la época de sequía.

#### **Problema 4.** Fuentes de variación.

Por último, es importante considerar qué *fuentes de variación* se deben incluir en un análisis de varianza de ganancia de peso por animal —además de repetición, tratamiento y año— para minimizar el error experimental. Cuando se han asignado los animales a los tratamientos considerando en ellos ciertas características como peso inicial, edad, sexo, procedencia, ganancia previa, y otras semejantes —con objeto de homogeneizar las varianzas de los tratamientos— es recomendable considerar esa característica como una fuente de variación adicional en el análisis de varianza con el fin de reducir el error experimental. Aunque Lucas (1960) comenta que “la reducción en el error es pequeña y considerando que cada restricción adicional impuesta sobre el diseño resulta en pérdida de grados de libertad, tan escasos en experimentos de pastoreo, es a veces preferible no extraer esta variabilidad”. La experiencia obtenida con ensayos de pastoreo en los Llanos Orientales de Colombia enseña que la reducción obtenida sí es significativa.

El Cuadro 10 analiza el efecto de incluir los factores *sexo* y *procedencia previa* del animal como fuentes de variación en los análisis de varianza de dos experimentos de ganancia de peso. En el primero, el hecho de sustraer del error la variabilidad debida a *sexo* redujo el CME de 0.107 a 0.067, es decir, una reducción del 36.7%. En el segundo experimento, la inclusión del factor *procedencia previa del animal* como fuente de variación redujo el CME en un 11.8%. En ambos casos, esta reducción significativa en el error experimental ha permitido detectar los efectos de los tratamientos con mayor precisión, y justifica la práctica de asignar los animales a los tratamientos no al azar sino grupos *balanceados* según sus características iniciales; éstas se incluirán más tarde como fuente de variación en el análisis de varianza.



Cuadro 10. Fuentes de variación adicionales que se pueden considerar para disminuir el error experimental de un ensayo de ganancia de peso.

Fuentes de variación	g.l.	CM
<b>A. Efecto de incluir el factor sexo</b>		
Rep	1	0.0005
Hongo	1	0.0005
E (A) = Rep. x Hongo	1	
Zn	1	0.0200
Zn x Hongo	1	0.0019
E (B) = Rep. x Zn (Hongo)	2	
Sexo	1	0.2391
Hongo x Sexo	1	0.0320
Zn x Sexo	1	0.0048
Hongo x Zn x Sexo	1	0.0228
Residuo =	77	0.0668
Rep x (Sexo y sus interacciones) +	4	0.0271
+ Animal (Rep x Hongo x Zn x Sexo)	73	0.0397
<b>Total</b>	<b>88</b>	
- CME sin considerar <i>sexo</i>		0.1065
- Reducción en el CME atribuible a incluir <i>sexo</i> y sus interacciones (%)		36.7
<b>B. Efecto de incluir el factor procedencia previa</b>		
Rep	1	0.460
Hongo	1	0.011
E (A) = Rep x Hongo	1	
Zn	1	0.079
Hongo x Zn	1	0.016
E (B) = Rep x Zn (Hongo)	2	
Procedencia	1	0.002
Hongo x Procedencia	1	0.050
Zn x Procedencia	1	0.034
Hongo x Zn x Procedencia	1	0.002
Residuo =	57	0.150
Rep x (Procedencia y sus interacciones) +	4	0.050
+ Animal (Rep x Hongo x Zn x Procedencia)	53	0.100
<b>Total</b>	<b>68</b>	
- CME sin considerar procedencia previa		0.170
- Reducción en el CME atribuible a incluir <i>procedencia</i> y sus interacciones (%)		11.8

a. Rep = repetición; Zn = cinc. CME = cuadrado medio del error.

## Conclusiones

1. Los ensayos de pastoreo son largos, costosos, y difíciles de modificar una vez iniciados. Por tanto, se subraya la necesidad de estudiar en ellos únicamente pasturas seleccionadas, definiendo objetivos precisos y diseños experimentales apropiados, y midiendo variables de respuesta que sean relevantes a las hipótesis planteadas. Se recomienda escribir un plan experimental que precise los objetivos, la zona de generalización de los resultados, el diseño experimental, las variables de respuesta, el plano de campo; los costos de la semilla, del establecimiento de las pasturas y de la implementación del ensayo; y, finalmente, el plan del análisis estadístico que se realizará.
2. En la planeación de un ensayo de pastoreo es preciso considerar cinco aspectos de variabilidad inherentes al material experimental, que determinarán un diseño apropiado del experimento: variabilidad del suelo, del clima, de la pastura per se, de los animales, y de las técnicas de medición de las variables de respuesta. El reconocimiento y el control de esta variabilidad repercute en una mayor precisión y capacidad de generalización de los resultados experimentales.
3. Cómo aumentar la precisión del experimento dada esa variabilidad?
  - Utilizando repeticiones de campo (dos como mínimo) que sean representativas de la zona de interés y que permitan separar diferencias grandes en el suelo.
  - Reconociendo la variabilidad estacional y anual e implementando ensayos de larga duración (de 3 a 5 años) con repetición en el tiempo, si la variabilidad anual es muy alta. Si es imposible hacer repeticiones en el tiempo, se aconseja cambiar el grupo de animales experimentales cada año para obtener así estimados independientes de producción animal entre años, siendo el momento más indicado para efectuar el cambio, el comienzo de la época de sequía.
  - Haciendo mediciones relevantes y representativas en el tiempo y en el espacio una vez reconocida la variabilidad propia de las pasturas.
  - Empleando el tipo y el número de animales relevantes a los objetivos del ensayo.
  - Asignando los animales a los tratamientos en grupos *balanceados* según sus características iniciales (p.ej., sexo y procedencia).
  - Considerando la posibilidad de incrementar el número de animales en tratamientos de cargas muy altas dada la alta variabilidad en la

respuesta animal bajo condiciones de estrés nutricional (cargas altas, sequía). Además, ante la imposibilidad de hacer ese incremento en épocas de sequía, no utilizando la evaluación de la ganancia de peso en sequía como criterio de decisión, sino más bien tomando como base la ganancia anual y la ganancia en época de lluvias.

4. *No existe un diseño* apropiado para ensayos de pastoreo. Dependiendo del ecosistema particular, aun las mismas pasturas bajo los mismos tratamientos pueden requerir prácticas de manejo y dimensiones diferentes en la unidad experimental. Antes de seleccionar el diseño experimental que se utilizará, es prudente analizar las diferencias entre los diseños *continuos* y los *permutables* ('change-over') en lo que respecta al efecto de tratamiento que cada uno permite estimar; a la magnitud del error experimental, y a la capacidad del diseño para controlar las fluctuaciones del comportamiento animal debidas al factor tiempo. En los ensayos de pastoreo se recomiendan los diseños sencillos.
5. En el análisis de los datos producidos por los ensayos de pastoreo es importante reconocer si se trata de un diseño *no repetido* o si el diseño es *no ortogonal*, y utilizar consecuentemente técnicas de análisis estadístico apropiadas.

Al hacer un análisis de varianza sobre datos de ganancia de peso por animal se sugiere: a) revisar la posibilidad de heterogeneidad de varianzas entre tratamientos debido a los tratamientos de estrés nutricional, y b) considerar como fuentes de variación aquellas características del animal utilizadas para su asignación a un tratamiento. El uso de la regresión para estimar la ganancia de peso por animal se considera apropiado.

## Referencias

- Amézquita, M.C. y Rojas, A. 1985. Metodología de procesamiento y análisis estadístico de la información. En: Vera, R. y Seré, C. (eds.). Sistemas de producción pecuaria extensiva: Brasil, Colombia, Venezuela; Proyecto ETES. CIAT, Cali, Colombia. p. 1-30.
- ; Toledo, J.M.; Giraldo, H. y Rojas, A. 1983. Número de muestras a tomar para estimar producción de forraje bajo pastoreo. Memoria. Asociación Latinoamericana de Producción Animal. (Resumen.)
- Cajas, S. 1984. Efecto de la carga en el crecimiento y aparición del celo en novillas de levante en la asociación *Brachiaria humidicola*, *Melinis minutiflora* y *Desmodium ovalifolium*. Facultad de Zootecnia, Univ. Nacional de Colombia, Palmira. Tesis.

- Harvey, W.R. 1964. Computing procedures for a generalized least squares analysis program. Biometrical Services, Agricultural Research Service, U.S. Department of Agriculture. Beltsville, Maryland, E.U. 50 p.
- Haydock, K.P. 1982. Consequences arising when the design of a grazing trial is not ideal. En: Experimental design in cattle research when resources are limiting. Anim. Prod. Aust. 15:52-54.
- Kemp, C.D. 1961. Experimental design and interpretation. En: Research techniques in use at the Grassland Research Institute Hurley. Commonwealth Bureau of Pastures and Field Crops, Hurley, England. p. 5-23.
- Lucas, H.L. 1976. Design in animal science research. Instituto de Estadística de la Universidad de Carolina del Norte.
- t Mannelje, L.; Jones, R.J. y Stobbs, T.H. 1976. Pasture evaluation by grazing experiments. En: Shaw, N.H. y Bryan, W.W. (eds.). Tropical pasture research. Commonwealth Bureau of Pastures and Field Crops, Hurley, England. p. 194-234.
- Mott, G.O. 1983. Evaluación del germoplasma forrajero bajo diferentes sistemas de manejo del pastoreo. En: Paladines, O. y Lascano, C. (eds). Germoplasma forrajero bajo pastoreo en pequeñas parcelas; metodologías de evaluación. CIAT, Cali, Colombia. p. 149-166.
- Paladines, O. y Leal, J. 1978. Manejo y productividad de las praderas en los Llanos Orientales de Colombia. En: Tergas, L.E. y Sánchez, P.O. (eds.). Producción de pastos en suelos ácidos de los trópicos. CIAT, Cali, Colombia. p. 331-345.
- y Lascano, C. 1983. Recomendaciones para evaluar germoplasma bajo pastoreo en pequeños potreros. En: Paladines O. y Lascano C. (eds.). Germoplasma forrajero bajo pastoreo en pequeñas parcelas; metodologías de evaluación. CIAT, Cali, Colombia. p. 165-184.
- Salinas, J. 1983. Oxisoles y ultisoles en América tropical. Guía de estudio. CIAT, Cali, Colombia. 57 p.
- Stobbs, T.H. y 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. Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb. 12:463-469.
- Stonaker, H.H. (1984). Life cycle production of beef cattle in the tropical Colombian Llanos as affected by minerals, weaning age, crossbreeding, urea supplementation and improved pasture. CIAT, Cali, Colombia. (En impresión.)
- Toledo, J.M. y Shultze-Kraft, R. 1982. Objetivos y organización de la Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales. En: Toledo, J.M. (ed.). Manual para la evaluación agronómica, Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales. CIAT, Cali, Colombia. p. 16-18.
- Tergas, L.E. 1984a. El potencial de producción animal de cuatro asociaciones de *Andropogon gayanus* Kunth con leguminosa en los Llanos Orientales de Colombia. Producción Animal Tropical (Rep. Dominicana). 9:176-186.

- Tergas, L.E. 1984b. Productividad animal de *Brachiaria decumbens* sola y con pastoreo complementario en *Pueraria phaseoloides* en los Llanos Orientales de Colombia. *Producción Animal Tropical (Rep. Dominicana)*. (En impresión.)
- ; Paladines, O.; Kleinheisterkamp, I. y Velásquez J. 1983. Productividad animal de praderas naturales en los Llanos Orientales de Colombia. *Producción Animal Tropical (Rep. Dominicana)* 8:203-211.
- Vera, R. 1982. Evaluación de sistemas de cría con pasturas mejoradas. Documento interno. CIAT, Cali, Colombia.
- Wilson, P.N. 1975. General considerations. En: Wilson, P.N. (ed.). Considerations for the design and interpretation of cattle experiments. Proceedings of a symposium on cattle experimentation. British Society of Animal Production, p. 11-24.