

Evaluación de Pasturas con Animales

Alternativas Metodológicas

**Red Internacional
de Evaluación de Pastos Tropicales**

CIAT

Evaluación de pasturas con animales

Alternativas metodológicas

Memorias de una reunión de trabajo
celebrada en Perú
1-5 de octubre, 1984

Editadas por
Carlos Lascano
y Esteban Pizarro

**Red Internacional de
Evaluación de Pastos Tropicales**

Centro Internacional de Agricultura Tropical



Centro Internacional de Agricultura Tropical
Apartado Aéreo 6713
Cali, Colombia

ISBN 84-8280-154-6

Tirada: 1000 ejemplares

Impreso en Colombia

Agosto 1986

Segunda reimpresión, agosto 1991

CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1986. Evaluación de pasturas con animales. Alternativas metodológicas. Memorias de una reunión de trabajo celebrada en Perú, 1-5 de octubre, 1984. Lascano, C. y Pizarro, E. (eds.). Cali, Colombia, 292 p.

1. Pastizales-Congresos, conferencias, etc. 2. Pastizales-Evaluación. 3. Pastoreo-Congresos, conferencias, etc. 4. Producción animal-Congresos, conferencias, etc. I. Lascano, Carlos. II. Pizarro, Esteban. III. Centro Internacional de Agricultura Tropical. IV. Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales.

Contenido

	Pág.
Prefacio	v
La evaluación de pasturas con animales: consideraciones para los ensayos regionales D (ERD) Esteban A. Pizarro y José M. Toledo	1
Consideraciones sobre planeación, diseño y análisis de experimentos de pastoreo María Cristina Amézquita	13
Manejo de pasturas y evaluación de la producción animal Derrick Thomas y Carlo Magno C. da Rocha	43
Manejo del pastoreo fijo o variable en la evaluación de pasturas Martin B. Riewe	61
Sistemas de manejo flexible para evaluar germoplasma bajo pastoreo: una propuesta James M. Spain y José M. Pereira	85
Mediciones de la respuesta animal en ensayos de pastoreo: ganancia de peso Osvaldo Paladines	99
Mediciones de respuesta animal en ensayos de pastoreo: vacas lecheras y de doble propósito Lucía de Vaccaro	127

	Pág.
Mediciones en la pastura en ensayos de pastoreo	
Pablo Mendoza y Carlos Lascano	143
Persistencia de las especies forrajeras bajo pastoreo	
R. M. Jones	167
Análisis económico de resultados de las pruebas de pastoreo	
Alfredo Riesco y Carlos Seré	201
La evaluación de pasturas mediante experimentos de pastoreo y su relación con los sistemas de producción	
Víctor Mares, Raúl R. Vera y Héctor Hugo Li Pun	233
Recomendaciones generales para evaluar pasturas con animales	
Carlos Lascano, Esteban Pizarro y José M. Toledo	251
Participantes	267
Notación, símbolos y abreviaturas	275
Glosario de términos técnicos y regionales	281
Índice	287

Prefacio

La Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (RIEPT) es un ejemplo del esfuerzo continental en que programas nacionales e internacionales de investigación en pastos y forrajes de América tropical cooperan para desarrollar una nueva tecnología de pasturas, con el fin de intensificar el uso de las zonas marginales y de frontera agrícola cuyos suelos son ácidos y de baja fertilidad.

Importantes economías de escala se obtienen de este esfuerzo coordinado de cooperación internacional. Se logran ellas, por ejemplo, de la generación y evaluación de nuevo germoplasma adaptado a los más importantes ecosistemas de la región; del intercambio de información científica; de la comunicación de principios metodológicos que permitan una rápida movilización de los materiales seleccionados por su adaptación a las pruebas de pastoreo y, eventualmente, a las evaluaciones a nivel de productores.

Debe resaltarse, particularmente, el esfuerzo que han hecho la RIEPT y el programa de Pastos Tropicales del CIAT para discutir aspectos metodológicos en una serie de talleres; en ellos se han podido definir opciones para abordar pruebas de evaluación del germoplasma y de las pasturas en forma efectiva y confiable. Uno de los resultados de esta actividad de intercambio de experiencias ha sido la producción de varios manuales o guías metodológicas. La presente publicación es la cuarta de una serie que se inició con el **Manual para la colección, preservación y caracterización de los recursos forrajeros tropicales** (Mott, G.O., 1979). Siguió a ésta el **Manual para la evaluación agronómica** donde se dan las bases para estimar el grado de adaptación y productividad potencial del germoplasma forrajero en los ensayos agronómicos denominados Ensayos Regionales de tipos A y B (ERA y ERB), en diferentes ecosistemas y subecosistemas (Toledo, J. M., 1982).

Más tarde, en una tercera etapa, se evaluó la productividad y la persistencia de las especies forrajeras en asociación, bajo diferentes manejos del pastoreo en pequeñas parcelas (ERC), ensayos discutidos en la publicación **Germoplasma forrajero bajo pastoreo en pequeñas parcelas** (Paladines, O. y Lascano, C., 1983). Finalmente, el presente manual, producto de las deliberaciones del Comité Asesor de la RIEPT y de expertos de reconocido prestigio científico internacional, proporciona tanto los fundamentos conceptuales de los Ensayos Regionales de Tipo D (ERD) como una guía para su ejecución; en estos ensayos se pretende medir el potencial de producción animal de las pasturas seleccionadas en las etapas anteriores. Bajo el título **Evaluación de pasturas con animales. Alternativas metodológicas**, esta obra reúne las conferencias dictadas y las conclusiones extraídas por aquellos científicos y expertos ya mencionados cuando participaban en los grupos de trabajo de la reunión celebrada en octubre de 1984 en Lima y Pucallpa, Perú.

Gustavo A. Nores
Director General Encargado
CIAT

La evaluación de pasturas con animales: consideraciones para los ensayos regionales D (ERD)

Esteban. A. Pizarro*

José M. Toledo**

Introducción

La Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (RIEPT) se inició en 1978 con la finalidad de evaluar nuevo germoplasma forrajero estableciendo ensayos mediante la cooperación entre algunas instituciones nacionales y el Programa de Pastos Tropicales del CIAT. En octubre de 1979 se realizó la primera reunión de trabajo en la cual 89 representantes de 39 instituciones de investigación de 13 países de América tropical definieron los objetivos, la organización, y las metodologías que regirían la evaluación agronómica de las gramíneas y leguminosas forrajeras tropicales sometidas a estudio.

Los objetivos propuestos fueron los siguientes:

- Estudiar el *rango de adaptación* del germoplasma de gramíneas y leguminosas forrajeras a las condiciones físicas (suelo y clima) y bióticas (plagas y enfermedades) predominantes en las regiones de suelos ácidos de la frontera agrícola de América tropical.
- Proporcionar *germoplasma forrajero seleccionado* para cada ecosistema a las instituciones que trabajan en investigación de pastos.
- Avanzar en el *mejoramiento de las pasturas* mediante el intercambio de técnicas de investigación, de información y de capacitación científica.

* Agrónomo, Ensayos Regionales, Programa de Pastos Tropicales, CIAT, Cali, Colombia.

** Agrónomo, Líder, Programa de Pastos Tropicales, CIAT, Cali, Colombia.

La metodología acordada establece una secuencia de evaluación, desde la introducción del nuevo germoplasma a una localidad hasta la evaluación bajo pastoreo de las pasturas seleccionadas. Según la misma metodología, los Ensayos Regionales A (ERA) permiten evaluar la supervivencia de un elevado número de entradas (80-150) en pocos lugares representativos de los ecosistemas mayores (Cochrane, 1982). Los Ensayos Regionales B (ERB) incluyen materiales seleccionados en los ERA, cuya productividad estacional —en períodos de máxima y mínima precipitación— se estima y se compara; se obtiene así información integral sobre la adaptabilidad y el potencial de productividad de los materiales en las condiciones de los subecosistemas y dentro del ecosistema mayor. Estos ensayos agronómicos (ERA y ERB) se realizan con metodologías uniformes que permiten hacer análisis combinados dentro de los ecosistemas y entre ellos con el fin de sentar las bases para la extrapolación de los resultados.

Las gramíneas y leguminosas seleccionadas para cada subecosistema se evalúan luego bajo pastoreo en los Ensayos Regionales C y D (ERC y ERD). En los ERC, donde se evalúa un número reducido de selecciones (5-10) de germoplasma, se asocian pasturas de gramíneas con leguminosas que se someten al pisoteo y a la defoliación selectiva de los animales, bajo diferentes manejos, para evaluar su efecto sobre la estabilidad y persistencia de los componentes de las pasturas. En los ensayos regionales D (ERD) se emplean las pasturas seleccionadas en las tres primeras etapas (ERA, ERB y ERC) y se estima su capacidad en términos de producto animal (carne, leche, terneros) en comparación con un testigo local adecuado. Los resultados experimentales, dadas las condiciones del ensayo, serán relevantes para el sistema de producción pecuaria predominante en cada región.

El constante desarrollo de la RIEPT entre 1978 y 1983 se aprecia en el Cuadro 1. A diciembre de 1983, el 84% de las pruebas eran de tipo agronómico (ERA y ERB) y el 16%, evaluaciones bajo pastoreo (ERC y ERD). A la fecha, nuevos ensayos de pastoreo han sido propuestos y montados.

Con el fin de intercambiar información científica, y como contribución al desarrollo y consolidación de la RIEPT, se han realizado varias reuniones de trabajo para discutir metodologías de evaluación que faciliten la marcha coordinada de la red. Los resultados de estas reuniones son los manuales técnicos denominados: *Colección, preservación y caracterización de los recursos forrajeros tropicales* (CIAT, G.O. Mott ed., 1979); *Manual para la evaluación agronómica* (CIAT, J.M. Toledo ed., 1982); y *Germoplasma forrajero bajo pastoreo en pequeñas parcelas: metodologías de evaluación* (CIAT, O. Paladines y C. Lascano eds., 1983).

El comité asesor de la RIEPT, consolidado en septiembre de 1982, ha desempeñado un papel fundamental en el éxito de las reuniones anteriores.

Cuadro 1. Ensayos regionales (ERA, ERB, ERC, ERD) vigentes^a en la RIEPT entre 1978 y 1983.

País	1978	1979	1980	1981	1982	1983
Bolivia	1	1	1	2	2	2
Brasil	1	8	12	9	9	16
Colombia	3	5	12	11	13	13
Costa Rica	-	-	1	1	1	2
Cuba	1	1	-	-	1	1
Ecuador	2	2	3	3	4	6
Guyana	-	-	2	1	1	-
Hawai	-	-	1	1	1	-
Honduras	-	-	-	-	-	1
México	-	-	-	1	1	7
Nicaragua	-	-	2	3	3	3
Panamá	-	-	3	3	3	10
Paraguay	-	-	-	-	1	3
Perú	3	3	5	7	11	13
República Dominicana	-	-	-	-	-	4
Trinidad	-	-	1	1	1	-
Venezuela	4	4	5	5	5	-
Total	15	24	48	48	57	81

a. *Vigente* califica el ensayo que actualmente envía información o que tiene, como mínimo, dos años de establecido.

En esta ocasión, el comité se reúne con especialistas invitados para discutir metodologías de evaluación de pasturas con animales para los ensayos regionales D (ERD) dentro de la secuencia descrita anteriormente.

Se somete, pues, a discusión este complejo e importante tema, llamando la atención sobre los conceptos básicos en que se apoyarán la definición, la planificación, y la ejecución de estos experimentos.

Planificación y manejo de ensayos de pastoreo

Esta etapa avanzada de evaluación de pasturas es compleja y costosa. Por esta razón es esencial abordarla siguiendo un programa de investigación dinámico y efectivo orientado por criterios como los que se esbozan a continuación.

A. Pruebas de pastoreo según su objetivo

La definición clara del objetivo de las pruebas de pastoreo es fundamental para determinar el diseño, las variables experimentales, las mediciones, las metodologías, la naturaleza de las evaluaciones y la duración de éstas. Podrían definirse muchos objetivos específicos; sin embargo, todos ellos se reúnen fácilmente en cuatro grandes grupos:

A1 Estudiar las relaciones entre producción animal y atributos de la pastura

Estas relaciones son principalmente de carácter metodológico y van dirigidas a evaluar interacciones de causa y efecto entre la pastura y la producción animal. En estos ensayos es necesario generar cambios significativos en la pastura cuyo resultado sean los diferentes niveles de producción animal; de este modo se abarca un amplio rango en la relación pastura-animal. Se requieren también mediciones detalladas tanto de los componentes de la pastura como de los parámetros animales. Los datos obtenidos son la materia prima de estudios de regresión destinados a generar modelos de predicción.

Estas pruebas pretenden responder a preguntas como estas: ¿Cuál es la contribución de una leguminosa forrajera a la producción animal? ¿Qué fracciones de la pastura están mejor relacionadas con la producción animal? ¿Qué porcentaje de especies no sembradas puede permitirse en la pastura sin que se altere la producción animal?

A2 Medir el potencial máximo de productividad de una pastura

En este caso, el manejo del pastoreo en cada pastura que se evalúe debe dirigirse a optimizar la oferta, en cantidad y calidad, del forraje a lo largo del año. Este tipo de evaluaciones, usualmente dirigidas a comparar la productividad potencial de diferentes pasturas, resta importancia a las evaluaciones de persistencia. Normalmente, estas pruebas son de corto plazo (1 a 2 años) y requieren del empleo de animales altamente sensibles a las variaciones en la calidad y disponibilidad del forraje, como son los novillos en crecimiento o las vacas lactantes.

Este tipo de pruebas no interesa sobremanera a los sistemas de producción predominantes en América tropical. Su aplicación rinde mejores resultados en sistemas intensivos donde el factor

persistencia es de poca importancia; un ejemplo es el sistema en que la pastura ha sido incorporada a una rotación de cultivos.

Los siguientes factores son importantes en su planificación:

- *Diseño*, ya sea convencional, intercambiable ('switch-back design' o 'reversal design') u otros.
- *Manejo del pastoreo*, ya sea a presión constante, con carga constante, como pastoreo continuo o rotacional.
- *Evaluaciones* en la pastura y en el animal y su frecuencia.

A3 Evaluar los elementos del manejo que afecten la productividad y la persistencia de la pastura

Estas pruebas se dirigen más a evaluar las interacciones *manejo-productividad-persistencia* de una pastura que a comparar las pasturas mismas. Normalmente, los tratamientos aplicados se refieren a la intensidad o a la frecuencia del pastoreo o a ambos factores; sin embargo, pueden considerarse otros tratamientos de manejo, como el control de malezas o la fertilización, según el objetivo propuesto. Este tipo de pruebas requiere tiempo; para medir persistencia la pastura debe permanecer de cuatro a seis años bajo pastoreo.

Estas pruebas se aplican generalmente a los sistemas de producción semiextensivos y extensivos donde la persistencia de la pastura es un carácter económicamente esencial para el sistema. Frecuentemente se definen con anterioridad dos o más métodos de manejo y se mide en el tiempo su efecto sobre la pastura.

Una pregunta importante es si resulta necesario prefijar tratamientos rígidos, o si se pueden evaluar la productividad animal y la persistencia de la pastura con métodos más flexibles.

A4 Medir la contribución de la pastura mejorada al uso estratégico del forraje

Este tipo de evaluación es poco frecuente en la investigación; sin embargo, el uso estratégico de la pastura mejorada es una práctica común en los sistemas de producción extensivos o intensivos.

Debe reconocerse que este tipo de evaluaciones es experimentalmente más complejo. En efecto, puede considerar diferentes alternativas de utilización de la pastura mejorada, tanto respecto al tiempo y a la intensidad de su uso como a las categorías

animales que pueden emplearse y a la utilización de los recursos externos a la pastura. La información resultante suele ser de sumo interés para sistemas de producción donde la persistencia, la capacidad de carga o la productividad (calidad y cantidad) de la pastura varían en importancia según las fluctuaciones de la demanda de productos de origen animal, del precio de la tierra y de los factores climáticos.

Antes de decidirse por este tipo de prueba conviene responder algunas preguntas: ¿Son las técnicas clásicas de evaluación de pasturas aplicables a estas evaluaciones? ¿Cómo aproximarnos, en las definiciones del manejo experimental, a aquel manejo que el productor finalmente practicará? ¿Cuál es la proporción de la pastura mejorada respecto al área total de pastoreo? ¿Cómo separar la contribución que hace la pastura mejorada al sistema?

B. Aspectos metodológicos según el objetivo

Las pruebas de pastoreo (ERD) no pueden utilizar metodologías uniformes para todas las localidades, pues tanto el germoplasma seleccionado como el sistema de producción al cual se destina la nueva pastura pueden diferir de una a otra localidad. Además, aun dentro de la condición *ecosistema-sistema de producción*, las alternativas de utilización de la nueva pastura son múltiples.

Por lo anterior, durante esta reunión se deberán discutir conceptos generales que faciliten al investigador adoptar criterios claros en la aplicación de diseños y metodologías en armonía con los objetivos de las pruebas de pastoreo. Un aspecto de singular importancia, que requiere definiciones muy precisas, es la elección de técnicas de medición tanto para el suelo y la pastura como para el animal. La claridad de los objetivos así como el conocimiento preciso de las técnicas de evaluación son de especial importancia para los profesionales jóvenes quienes, por lo regular, son directamente responsables del manejo de estas pruebas.

A continuación se mencionan algunos aspectos metodológicos que merecen ser discutidos en la reunión.

B1 Sistemas de pastoreo y sistema de producción

Al considerar los métodos de pastoreo como tratamientos en los ERD, es necesario tener en cuenta el sistema de producción al cual se ajusta la nueva pastura. Si el sistema prevalente en una localidad es el pastoreo intensivo-rotacional ¿se justificaría adoptar el

pastoreo continuo en las pruebas experimentales de pastoreo? En la evaluación de pasturas, el pastoreo continuo es más propio de sistemas de producción extensivos. ¿Convendría evaluar varios sistemas de pastoreo?

Téngase en cuenta que en otros sistemas (pastoreo diferido, alterno o rotacional) las pasturas mejoradas se utilizan más intensamente que los demás recursos forrajeros, como p.ej., las gramíneas nativas.

B2 Intensidad de pastoreo, alternativas y ventajas

La intensidad de pastoreo se puede aplicar de dos modos:

- Como *carga animal* (animales/ha o peso vivo/ha), la cual establece un nivel de intensidad de pastoreo en un tiempo determinado según el área del potrero, sin tener en cuenta la disponibilidad de forraje.
- Como *presión de pastoreo* (peso vivo/forraje disponible) en que la intensidad de pastoreo se establece según la disponibilidad del forraje en el área del potrero.

Dependiendo del objetivo de la prueba, cada una de estas formas ofrece ventajas y desventajas que deben discutirse. La *presión de pastoreo* es ventajosa cuando el objetivo de la prueba es estudiar las relaciones entre los atributos de la pastura y la producción animal (ver B1) o cuando la prueba está dirigida a medir pasturas para optimizar su potencial de productividad (ver A2). La *carga animal*, dada su facilidad de aplicación y su importancia para el productor, ofrece ventajas para evaluar el manejo del pastoreo en términos de productividad animal y de persistencia de la pastura (ver A3), o cuando se evalúe el uso estratégico de las pasturas en sistemas de producción (ver A4).

B3 Número y tipo de animales en cada tratamiento

En general, la literatura sugiere que cuanto mayor sea el número de animales y su uniformidad, la precisión del experimento aumenta porque se reduce la variabilidad. Sin embargo, un alto número de animales por tratamiento requiere mayor área, infraestructura, cercas y, en consecuencia, mayores costos. En climas templados se ha establecido que tres a cinco animales por tratamiento aportan un razonable nivel de precisión. ¿Resulta esto aplicable en pasturas y animales tropicales, generalmente más heterogéneos?

Otra consideración importante es la representatividad de los animales mejorados genéticamente —tan comunes en las estaciones experimentales— si se comparan con animales comerciales, normalmente más heterogéneos. Asimismo, importa discutir hasta qué punto se pueden extrapolar ya sea los resultados del comportamiento de la pastura o los obtenidos con animales de una categoría a otra (novillos en crecimiento, vacas lactantes, vacas viejas, novillas). ¿Hacen falta estudios metodológicos sobre este aspecto?

B4 Tamaño y forma de las parcelas experimentales

Obviamente, el número de animales por tratamiento y la carga o la presión de pastoreo aplicadas afectan el área de la pastura en evaluación. Asimismo, el potencial de productividad de la pastura a lo largo del año es importante al definir las áreas experimentales. En ecosistemas con época seca prolongada se necesitarán áreas experimentales mayores que en aquéllos donde el crecimiento de la pastura es continuo durante el año. ¿Será posible entonces definir áreas mínimas dentro de los ecosistemas?

Las áreas experimentales adoptan, frecuentemente, diferentes formas para acomodarse, p.ej., a la topografía y al acceso al agua. ¿Qué importancia tienen estas diferencias cuando las diversas áreas y formas de la pastura experimental no consideran la variabilidad del campo (*bajos* en vez de *altos*, diferente fertilidad del suelo, topografía)?

B5 Repeticiones; tamaño y variabilidad

En experimentos agronómicos es fácil, por lo regular, hacer una división sistemática del campo en bloques e incluir, con poco costo, un alto número de repeticiones. Sin embargo, cuando se trata de pruebas de pastoreo con parcelas experimentales de mayor tamaño (0.5 a 20 ha) resulta difícil sistematizar la distribución de las parcelas en repeticiones que permitan separar la variabilidad natural del campo.

Las repeticiones en los experimentos de pastoreo suelen satisfacer los requisitos exigidos por el análisis estadístico. Sin embargo, en algunos casos la variabilidad dentro de cada parcela experimental resulta mayor que la variabilidad entre repeticiones o bloques, hecho que afecta la precisión experimental y aumenta el costo del experimento.

Además, dado que la disponibilidad de semilla del nuevo germoplasma es limitada y que la información sobre el comportamiento

animal es vital —especialmente en la RIEPT— la siguiente pregunta adquiere relevancia: ¿Es más importante evaluar tres mezclas sin repeticiones o una asociación con tres repeticiones?

Debe recordarse que, en los experimentos de larga duración, las mediciones en el tiempo aumentan la validez de las estimaciones de la media de un determinado parámetro dentro de los tratamientos, pero no constituyen verdaderas repeticiones. Una alternativa sería el diseño de experimentos donde el número de repeticiones se reduzca al mínimo en algunos tratamientos para que otros, los de mayor interés, tengan más repeticiones.

B6 Tratamientos: elección y flexibilidad

Definir los tratamientos es una de las etapas más importantes de la planificación de una prueba de pastoreo especialmente por su alto costo y larga duración. Los tratamientos serán cuidadosamente ponderados y seleccionados para eliminar aquéllos que no suministren información útil.

Por ejemplo, los tratamientos de carga muy cercanos entre sí (1, 1.2, 1.4 UA/ha) tienen mucha probabilidad de quedar enmascarados por la variabilidad frecuentemente alta del experimento. En este caso, cuando el técnico aplica dos cargas muy próximas, está creando tres *repeticiones* del tratamiento. Es preciso preguntarse: ¿Cuán amplio debe ser el rango ocupado por los tratamientos de carga? ¿En qué medida este rango permite interpretar, además de las diferencias en productividad y persistencia, el grado de flexibilidad con que la pastura responde al manejo?

Según el objetivo del experimento conviene preguntarse: ¿Qué es más importante, aplicar tratamientos de carga o de sistema de pastoreo?

Otro tema importante es la rigidez o flexibilidad en la definición y aplicación de los tratamientos. Hay posibilidad de introducir flexibilidad en un tratamiento de manejo del pastoreo con el fin de aproximar las cargas a la disponibilidad del forraje, o de cambiar las frecuencias de pastoreo y los días de ocupación según el estado de la pastura, es decir, su composición botánica, su oferta, u otros aspectos.

También debe preguntarse el investigador si son necesarios los tratamientos de fertilización en las pruebas de pastoreo; no lo son a menos que se quieran determinar tales requerimientos de mantenimiento en ensayos de reciclaje de largo plazo. Los tratamien-

tos de fertilización incrementan el tamaño y el costo del experimento.

Finalmente, para el análisis estadístico y la interpretación de los resultados, cabe preguntarse si los niveles de probabilidad de 1 ó 5% en las diferencias significativas son apropiados para los experimentos de pastoreo en América tropical.

Técnicas de evaluación

Como se menciona al comienzo, definir con precisión las técnicas con que deben hacerse las mediciones en el animal, en la pastura y en el suelo es crítico para la confiabilidad de los datos obtenidos. A su vez, el número y la frecuencia de los muestreos deben ser evaluados cuidadosamente para lograr un balance adecuado entre la facilidad de realización, el costo del experimento, y la precisión de sus mediciones y resultados.

- **En el animal.** Las mediciones posibles en el animal son muchas y muy variadas; dependen del objetivo de la prueba y del tipo de animal usado en el experimento.

A este respecto las principales preguntas son: ¿Qué se medirá en los diferentes tipos de animales: crecimiento, leche, doble propósito? ¿Qué técnicas se usarán para estas mediciones? ¿Con qué frecuencia y por cuánto tiempo?

- **En la pastura.** Qué debe medirse, con qué técnicas de medición, su frecuencia y duración, son preguntas que se considerarán según los objetivos de los ensayos sean: explicar el comportamiento animal, evaluar la dinámica y la persistencia de los componentes de la pastura, o los tres fines juntos.
- **En el suelo.** En todo experimento de pastoreo importa hacer un seguimiento de lo que sucede en el suelo, máxime si el experimento contempla algún estudio del reciclaje de sus nutrimentos.

Al estudiar el estado de fertilidad del suelo en el tiempo deben aplicarse técnicas simples de muestreo sistemático. Sin embargo, su complejidad aumenta en experimentos de reciclaje en que se pretende separar el nivel de los nutrimentos en diferentes compartimentos como p. ej. parte vegetal aérea, detritus, raíces, heces, orina y suelo. La complejidad de estas evaluaciones aumenta aún más si se pretende obtener información sobre la dinámica de los nutrimentos entre los diferentes compartimentos.

Comentario final

Esta introducción pretende someter a discusión el panorama aparentemente complejo que circunda la evaluación de pasturas con animales. Debe reconocerse que, con éxito o sin él, una larga historia de utilización de pasturas ha transcurrido en la América tropical en contraste con la limitada actividad de pruebas de pastoreo que han realizado los programas de investigación en esa región. Esta deficiencia se explica no sólo por el origen reciente de esa investigación en América tropical, sino también por la dificultad de aplicar en el medio tropical técnicas experimentales desarrolladas en otras latitudes para sistemas de producción y ecosistemas diferentes.

Debe reconocerse que, a pesar de su complejidad y sus altos costos, las pruebas de pastoreo son la única alternativa para comprender integralmente las relaciones suelo-planta-animal y estimar efectivamente el potencial de producción biológico y económico de las nuevas pasturas.

Las discusiones y recomendaciones del equipo de trabajo que constituye esta reunión aportarán, sin duda, alternativas metodológicas que permitan facilitar e incentivar la evaluación de las pasturas con animales dentro de la RIEPT.

Referencias

- Cochrane, T.T. 1982. Caracterización agroecológica para el desarrollo de pasturas en suelos ácidos de América tropical. En: CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). Manual para la evaluación agronómica; Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales. J.M. Toledo (ed). Cali, Colombia. p. 23-44.
- Mott, G.O. (ed.). 1979. Colección, preservación y caracterización de los recursos forrajeros tropicales; Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales. CIAT, Cali, Colombia. 106 p.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1982. Manual para la evaluación agronómica; Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales. J.M. Toledo (ed.). Cali, Colombia. 168 p.
- . 1983. Germoplasma forrajero bajo pastoreo en pequeñas parcelas: metodologías de evaluación; Red Internacional de Evaluación de Pastos tropicales. O. Paladínes y C. Lascano (eds.). Cali, Colombia. 185 p.

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 Mannelje 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 ₁	X	X	X							
	P ₂		X	X	X						
Gramínea + 250 kg/ha de N por año	P ₁				X		X		X		
	P ₂						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.¹

Epoca/año	Novillos considerados (no.)	Ganancia de peso ² (g/an por día)	CV (%)
Lluvias:			
1979	73	495	21.4
1980	85	548	14.8
1981	85	478	17.2
1982	40	397	16.4
Sequía:			
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
Años:			
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 m². 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.^a

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 (%)
Cultivos^a (t/ha)			
• 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
Ganado^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 ^c (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).^a

Parámetro	<i>n</i>	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) ^b	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.^a

Parámetro	n	Media	DE	CV (%)
Peso de destete en novillos (kg)				
Mato Grosso, Brasil	524	122.8	22.1	18.0
Goiás, Brasil	726	140.3	28.6	20.3
Peso a los 18 meses en novillos (kg)				
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
Peso a los 18 meses en novillas (kg)				
Llanos, Venezuela	867	216.2	37.2	17.2
Intervalo entre partos (meses)				
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.^a

Variable de respuesta	Media (g/an por día)	CV (%)
Carga alta (3.23 an/ha)		
Ganancia/día, en lluvias	37.8	177
Ganancia/día, en sequía	26.4	197
Ganancia/día, anual	31.7	116
Carga media (2.35 an/ha)		
Ganancia/día, en lluvias	434.6	20
Ganancia/día, en sequía	153.2	39
Ganancia/día, anual	284.1	14
Carga baja (1.72 an/ha)		
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 Mannelje 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.^a

Fuente de variabilidad	CV (%) en ganancia/animal por día		
	En lluvias	En sequía	Anual
Animales			
• 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
Años (1979-1982)	11.8 - 55	34.4 - 271	9.5 - 23.6
Repeticiones de campo	3.4 - 3.8	0.5 - 2.5	
Épocas (rango del CV, %)		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 Mannelje 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 Mannelje 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 períodos de evaluación de ocho semanas por períodos de estandarización de dos semanas. Sin embargo, los diseños permutables son útiles solamente si se consideran válidos los resultados de producción obtenidos en períodos 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 láctice, (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, 1 1/2 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 1 1/2 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: ^a	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.^a

Identificación del animal	Pendiente (kg/an por mes)	R ² (%)	Diferencia ^b (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
A. Efecto de incluir el factor sexo		
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
Total	88	
- CME sin considerar <i>sexo</i>		0.1065
- Reducción en el CME atribuible a incluir <i>sexo</i> y sus interacciones (%)		36.7
B. Efecto de incluir el factor procedencia previa		
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
Total	68	
- 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.

Manejo de pasturas y evaluación de la producción animal

Derrick Thomas*

Carlo Magno C. da Rocha**

Resumen

Se revisan algunas opciones metodológicas útiles en los ensayos regionales de pastoreo que miden la producción animal en la Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales, RIEPT, en América Latina. Se describen también las características deseables del germoplasma empleado en este tipo de ensayos.

Asimismo, se discuten algunas combinaciones de tratamientos, la elección de los animales, los sistemas de pastoreo, los diseños experimentales, y las mediciones practicadas en los animales y en la pastura. Por último, se hacen recomendaciones sobre estos últimos aspectos.

Introducción

Se acepta generalmente que las pasturas a base de leguminosas ofrecen la mejor opción para el desarrollo, a bajo costo, de las áreas de suelos ácidos y de escasa fertilidad en América Latina tropical. El primer prerequisite para que el mejoramiento de pasturas sea exitoso es la disponibilidad de cultivares bien adaptados al ecosistema respectivo. Los cultivares se desarrollan gracias a una evaluación secuencial ya sea del germoplasma forrajero recolectado o ya de los híbridos fértiles provenientes de programas de mejoramiento.

* Agrónomo, EMBRAPA/CPAC, Planaltina, D.F., Brasil. Actualmente, Agrónomo de Forrajes, Programa de Pastos Tropicales, CIAT, Cali, Colombia.

** Agrónomo, EMBRAPA/CPAC, Planaltina, D.F., Brasil.

En algunos casos, se pueden evaluar variedades comerciales desarrolladas en otras áreas. Los cultivares comerciales disponibles —sobre todo los de Australia— son de valor limitado en las regiones de suelos ácidos e infértiles, ya sea por falta de adaptación a sus condiciones edáficas o porque son altamente susceptibles a plagas y enfermedades. Por tanto, actualmente se insiste más en la evaluación del germoplasma recolectado y, en menor medida, en la de los híbridos fértiles. Los países de América Latina tropical han sido lentos en capitalizar la gran riqueza de las leguminosas nativas de la región.

Etapas en la evaluación de las plantas forrajeras

Las etapas de evaluación de las pasturas están razonablemente bien definidas. En la fase preliminar (*evaluación biológica*) las plantas, sembradas en pequeñas parcelas, se evalúan respecto a su adaptación a factores edáficos, climáticos y bióticos en el ecosistema. Se pueden hacer allí observaciones sobre vigor, rendimiento de materia seca tanto en la estación seca como en la húmeda, potencial de rebrote, valor nutritivo, floración, producción de semilla y resistencia a plagas y enfermedades. Los ensayos regionales A y B de la RIEPT son típicos de estas evaluaciones preliminares (Toledo y Schultze-Kraft, 1982).

Las plantas promisorias pasan a la etapa siguiente (*evaluación agronómica*) en la cual aumenta el tamaño de la parcela y se prueban algunas mezclas de gramíneas y leguminosas en condiciones de corte o pastoreo. El pastoreo es preferible al corte, puesto que en él se tiene en cuenta la aceptación de la mezcla por el animal, su selección de las plantas o de partes de la planta, la excreción de heces y de orina, y el daño ocasionado por el pisoteo o por el enfangamiento en épocas lluviosas. Los experimentos de corte proporcionan, en el mejor de los casos, una guía deficiente para estimar la capacidad de carga potencial de las especies en evaluación. En estas pruebas no se observan las ganancias de peso de los animales, ya que su propósito es evaluar los efectos que causa el animal sobre la pastura. De particular interés son la compatibilidad y la persistencia de las especies. La metodología que describen Paladines y Lascano (1983) para un ensayo regional C es típica de esta fase de la evaluación.

El ensayo de pastoreo da pie para una *evaluación final* respecto a los productos mercadeables que suministra el animal, y permite hacer también una evaluación económica de los resultados. Se mide en él el comportamiento animal así como algunos atributos de las pasturas. El alto costo de los ensayos de pastoreo y el área que requieren restringen la evaluación en esta etapa a

unas pocas accesiones altamente promisorias que poseen la mayoría de las características consideradas como necesarias. El ensayo regional D (ERD) es típico de esta fase final de la evaluación.

Características deseables de las plantas forrajeras

Las principales características que debería tener una planta o accesión forrajera son aquéllas relacionadas con su crecimiento, su persistencia y su valor nutritivo (Williams et al., 1976). No hay un criterio de prioridad y no se puede esperar que una sola accesión contenga todas las características requeridas. Las mezclas de gramíneas y leguminosas pueden compensar las deficiencias que limitan las especies individuales.

Crecimiento de la planta y respuesta al ambiente

Las accesiones que se prueben en el ERD deben ser capaces de crecer y producir rendimientos razonables de materia seca. No hay un nivel máximo absoluto de producción de materia seca, pero la distribución de ésta en el tiempo es tan importante como la cantidad total producida; para lograr tal distribución, las accesiones se deben adaptar a los factores climáticos, edáficos y bióticos, como plagas y enfermedades, dentro del respectivo ecosistema.

La experiencia en América Latina tropical ha demostrado que especies como *Andropogon gayanus*, *Brachiaria decumbens*, *Stylosanthes guianensis* y *Centrosema macrocarpum* presentan una amplia adaptación climática. Otras especies, como *Desmodium ovalifolium* y *Brachiaria humidicola*, manifiestan poco vigor y una baja productividad en climas donde la estación seca es prolongada. Las plantas recolectadas en suelos ácidos cuya saturación de aluminio sea alta se hallan bien adaptadas a estas condiciones edáficas; por tanto, no es necesario aplicar grandes cantidades de cal para neutralizar el aluminio, práctica que, en algunos casos, puede traer consigo una disminución del rendimiento de materia seca (Grof et al., 1979). Estas plantas requieren relativamente pocos insumos, en términos de fertilización, para su establecimiento y su crecimiento. Las accesiones edáficamente adaptadas pertenecen a una amplia gama de géneros tales como *Andropogon*, *Brachiaria*, *Paspalum*, *Stylosanthes*, *Centrosema*, *Desmodium* y *Zornia*. Por otra parte, especies como *Panicum maximum*, *Leucaena leucocephala*, *Neonotonia wightii* y *Macroptilium atropurpureum* no son productivas en suelos ácidos y de baja fertilidad, a no ser que a éstos se apliquen grandes cantidades de cal y de fertilizantes.

Aun cuando la tolerancia a las condiciones de baja fertilidad del suelo es una ventaja que brinda economías en el uso de los fertilizantes, sería además muy útil que los materiales tuvieran la capacidad de responder a las mejoras que reciba el ambiente tales como un incremento en la fertilidad del suelo. Esta última respuesta es particularmente importante en los Cerrados de Brasil, donde las pasturas suceden a los cultivos anuales y, en consecuencia, se establecen sobre una fertilidad residual del suelo relativamente alta. Accesiones del grupo *tardío* de *S. guianensis* var. *pauciflora* y de *C. macrocarpum*, seleccionadas por su tolerancia a la fertilidad baja, dieron respuestas significativas a la aplicación de fósforo (CIAT, 1983).

Las plagas y enfermedades son las más agudas limitaciones del desarrollo de cultivares de plantas forrajeras en el trópico de América Latina. Una amplia gama de enfermedades fungosas, bacterianas y virales atacan las leguminosas, siendo las principales plagas los nematodos, los barrenadores del tallo y los perforadores (CIAT, 1983). Afortunadamente, hay una considerable variación interespecífica en especies como *S. guianensis* var. *pauciflora*, *S. capitata*, *S. macrocephala*, *S. viscosa*, *Zornia brasiliensis*, *C. macrocarpum*, *C. brasilianum* y *D. ovalifolium* y actualmente se están seleccionando accesiones resistentes.

Aunque las gramíneas son también susceptibles a las enfermedades, éstas son menos importantes en ellas que en las leguminosas. El mión de los géneros *Deois* y *Zulia* es la principal plaga que ataca las gramíneas. Los cultivares de *A. gayanus* y *B. brizantha* son muy resistentes, en tanto que *B. decumbens*, *B. ruziziensis* y *B. humidicola* son altamente susceptibles (Cosenza, 1982).

Persistencia en la pastura

Las accesiones que se han de evaluar en los ensayos regionales D deben ser capaces de persistir en las pasturas; esta cualidad es más difícil de hallar en las leguminosas que en las gramíneas. La persistencia está influida por factores como la tolerancia al pastoreo, la resistencia a plagas y enfermedades, y la capacidad de reproducción.

La *tolerancia al pastoreo* es de particular importancia en las pasturas asociadas, cuyas diversas especies están sometidas al pastoreo selectivo debido a sus diferencias en accesibilidad, aceptabilidad, contenido de proteína, digestibilidad y otros aspectos que afectan el consumo. A pesar de que algunas de estas características controlan el estrés al que están expuestas las especies, el grado de tolerancia al pastoreo puede diferir, por ejemplo, a causa de la posición y el número de nuevos puntos potenciales de crecimiento o de las reservas de almacenamiento. Especies con dos tallos unidos, como *Galactia striata* y *C. macrocarpum* cuyas yemas son fácilmente accesibles al animal en pastoreo, o especies con retoños erectos que salen directamente del tallo

principal, como ocurre en algunas accesiones de *S. guianensis* var. *pauciflora*, son muy vulnerables al pastoreo. Por otro lado, algunas accesiones nuevas de *C. macrocarpum* y algunos híbridos entre esta especie y *C. pubescens* muestran una mayor capacidad de enraizamiento en los nudos de los estolones, característica que debe reducir su susceptibilidad al pastoreo. Hay ya disponibles algunos tipos de bajo crecimiento de *S. guianensis* var. *pauciflora* en los cuales la defoliación no desprende los puntos de crecimiento.

De vital importancia es la capacidad de las accesiones para producir suficiente *cantidad de semilla*. El ciclo de formación de la semilla, las reservas de la misma, y la obtención de plántulas, son mecanismos importantes de la persistencia de especies anuales y perennes en sistemas de pastoreo. En ciertas latitudes de Brasil se han detectado problemas de floración y producción de semilla en accesiones de *S. guianensis* var. *pauciflora*, *C. macrocarpum*, *G. striata*, *D. ovalifolium* y *Pueraria phaseoloides*. Los resultados preliminares de los programas de mejoramiento con *S. guianensis* y con especies de *Centrosema* indican un aumento en la producción potencial de semilla en los híbridos obtenidos de estas leguminosas. Es pertinente mencionar que una característica deseable de una especie forrajera es que su semilla sea fácilmente cosechable; por ejemplo, la semilla de una especie de *Zornia* madura desigualmente y se desprende con facilidad, lo que dificulta su cosecha.

Es obvia la relación que existe entre la incidencia de plagas y enfermedades y la persistencia de las pasturas y, por tanto, no requiere comentarios adicionales.

Valor nutritivo y aceptabilidad

La productividad animal es una función directa del consumo de nutrientes digestibles. Por consiguiente, las accesiones de un ensayo regional deben ser aceptables para el animal y deben proporcionarle un forraje de valor nutritivo satisfactorio, libre de compuestos tóxicos. Sin embargo, los requerimientos nutricionales variarán según el tipo de animal; las vacas lecheras exigen más que el ganado de carne.

Se espera que, en pasturas asociadas, las gramíneas proporcionen la mayor parte de la energía que requieren los animales en pastoreo, en tanto que las leguminosas suministran suficiente proteína para satisfacer los requerimientos animales de mantenimiento y producción. Las gramíneas y las leguminosas difieren en su composición mineral; estas últimas son generalmente más ricas en nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio, pero más pobres en sodio. Todavía no se ha hecho selección, según el valor nutritivo, del germoplasma forrajero que se evalúa en los suelos ácidos y de baja fertilidad, debido a la urgente necesidad de seleccionar plantas adaptadas al ambiente. Sin embargo, los análisis de valor nutritivo que se han llevado a cabo podrían

servir, en el futuro, como base para la selección y el mejoramiento genético según los atributos de calidad de las accesiones.

La aceptación de las plantas forrajeras por el animal también se ha considerado como una limitación para su consumo. Aunque algunas gramíneas mejoradas, como *B. humidicola*, poseen una aceptación relativamente baja, este fenómeno tiende a ser más complejo en las leguminosas. Se sabe que *Z. brasiliensis* tiene grandes problemas de aceptación: los novillos en pastoreo han rehusado consumir las plantas, incluso durante la estación seca cuando éstas tienen hojas verdes en abundancia. Estas accesiones despiden un olor fuerte y desagradable; estudios preliminares han señalado la presencia de alcaloides en esta leguminosa (CIAT, 1984). También se han encontrado problemas en la aceptación de *Calopogonium mucunoides*, *Calopogonium caeruleum* y *D. ovalifolium*. En Colombia, Salinas y Lascano (1983) encontraron que el valor nutritivo y el consumo de *D. ovalifolium* se pueden aumentar mediante fertilización.

Ensayos de pastoreo

En la siguiente discusión sobre los ensayos de pastoreo se harán frecuentes referencias a las revisiones hechas por Wheeler (1962), Morley y Spedding (1968), Willoughby (1970), Wheeler et al. (1973), 't Mannetje, Jones y Stobbs (1976) y Morley (1978).

Tratamientos: pasturas y carga animal

El principal objetivo del ERD es evaluar nuevas pasturas en términos de su producción animal. En su forma más simple, el ensayo comprende uno o más tratamientos de gramíneas + leguminosas, comparados con un testigo de pastura pura que podría recibir fertilización con nitrógeno —si conviniera— y soportar pastoreo con una determinada carga animal. Un experimento sencillo resulta, con frecuencia, más significativo que un experimento grande y complejo, debido a que en este último no se pueden hacer mediciones de las pasturas y de los animales con suficiente precisión y de fácil interpretación.

Por otra parte, el empleo de una sola carga animal puede acarrear problemas de interpretación. Si dos pasturas reciben una misma carga, es probable que no se registre una diferencia real entre ellas en términos de su producción animal. En efecto, el requerimiento máximo de consumo de nutrimentos digeribles se satisface con la producción de materia verde tanto en la pastura de inferior calidad como en aquella que posee condiciones superiores. Por tanto, surge un interrogante: ¿La evaluación de nuevas pasturas en los ERD debe hacerse prescindiendo de variables como los niveles de fertilización y los

factores de manejo? Unos y otras, tales como la carga animal y la suplementación, interactúan para afectar la producción de las pasturas y la productividad animal. A continuación se discuten algunos tratamientos opcionales en las pruebas de pastoreo.

Carga animal y estabilidad de la pastura

La carga animal ejerce un efecto dominante en la producción animal y en la productividad y estabilidad, a largo plazo, de las pasturas. Son innumerables las referencias bibliográficas que respaldan esta afirmación, tanto para las zonas templadas como para el trópico. La Figura 1 ilustra adecuadamente los efectos de la carga animal en la pastura y en el comportamiento animal en

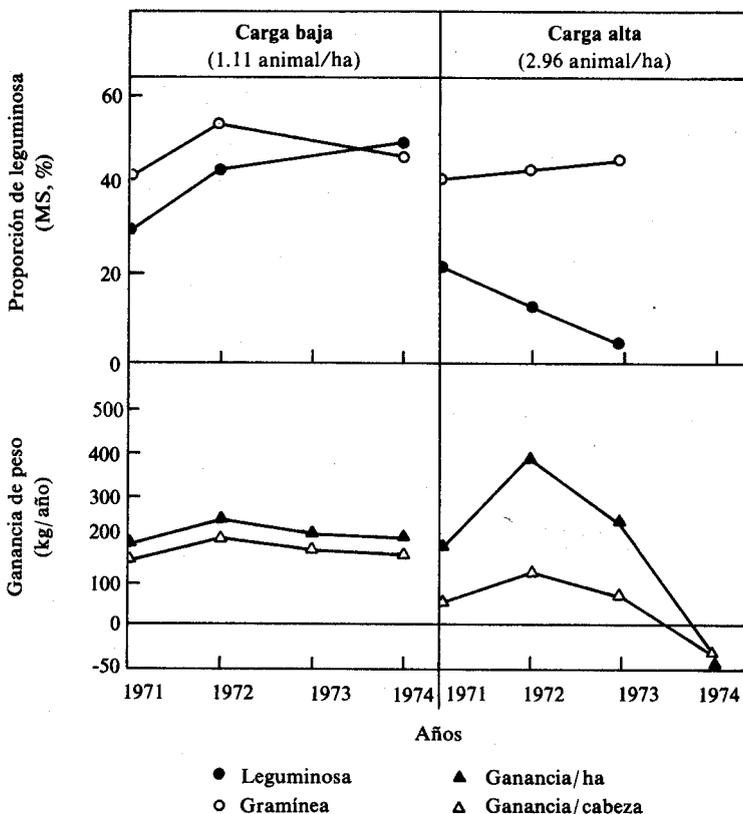


Figura 1. Comportamiento de una pastura de *Setaria sphacelata* + *Desmodium intortum* durante cuatro años y sometida a dos cargas diferentes.

FUENTE: Jones, 1970-1975; Jones, 1974a.

praderas asociadas de Australia subtropical; después de tres años con una carga de 1.11 animales/ha, se obtuvo allí una asociación estable en que había aproximadamente 50% de leguminosas, 50% de gramíneas y unas pocas malezas. Las ganancias de peso de los animales fueron más o menos constantes y del orden de 200 kg/ha y de 180 kg/cabeza. No obstante, cuando se pastoreó esa asociación con una carga animal de 2.96 animales/ha se redujo el contenido de leguminosas de 23% a 6%, también después de tres años, y la población de malezas ascendió a 46%. El notorio aumento inicial en la ganancia de peso vivo por hectárea estuvo acompañado por una disminución en el contenido de leguminosas de la pastura; este resultado condujo a un descenso rápido en las ganancias de peso vivo en los años siguientes. En este tratamiento las ganancias de peso vivo, en promedio, fueron de 178 kg/ha y solamente de 59 kg/cabeza.

Actualmente se acepta que los tratamientos en los ensayos de pastoreo deben incluir tres o más cargas animales para que sea posible determinar una carga óptima. Un rango de cargas animales permite estimar el potencial de la pastura expresado como producción animal y ayuda a evaluar la reacción de las pasturas al sobrepastoreo y al subpastoreo. Por otro lado, cuando se comparan distintos métodos de pastoreo, el rango de cargas animales debe ser el mismo para todos los tratamientos con el fin de no confundir los resultados. Hay beneficios que se desprenden de usar las mismas cargas animales todos los años, siempre y cuando dicho rango de cargas se escoja correctamente. Sin embargo, las variaciones debidas a los años imponen, muchas veces, la necesidad de hacer cambios de carga, cambios permisibles siempre y cuando una o más cargas sean comunes y permitan hacer ajustes por los efectos del año. Los ajustes anuales tienen la ventaja de proporcionar más puntos cuando se utiliza un análisis de regresión.

Shaw (1970) argumentó convincentemente que la carga animal debe expresarse como animales por hectárea, debido a que el comportamiento animal se expresa más directamente mediante esta relación que por su recíproco, o sea, hectáreas por animal. En una amplia gama de cargas animales, viables comercialmente, la producción por animal está relacionada en forma lineal con la carga, expresada ésta como número de animales por unidad de área.

Las cargas animales que se escojan dependerán de factores como el crecimiento potencial de la pastura, la duración de la estación seca, y la aplicación de fertilizantes. Un rango de cargas en que la mayor equivalga a dos o tres veces la menor es, por lo regular, suficiente. Si no hay datos disponibles en una zona dada que permitan estimar el rango de cargas que se empleará en un experimento de pastoreo, se puede efectuar una extrapolación partiendo de los experimentos de carga animal llevados a cabo en ambientes similares. 't Mannetje, Jones y Stobbs (1976) proporcionaron una guía para aproximar las cargas animales, de la cual se presenta una modificación en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Rangos sugeridos de cargas animales para experimentos que miden el comportamiento animal en pasturas de gramíneas y leguminosas fertilizadas que se pastorean durante todo el año en el trópico.

Precipitación anual total (mm)	Carga (animales/ha)	
	Estación lluviosa corta	Estación lluviosa larga
750	0.3-1.0	No aplicable
1000	0.5-1.5	1.5-3.0
1500	0.7-1.5	2.0-4.0
2000	1.0-2.0	3.0-6.0

FUENTE: † Mannelje, Jones y Stobbs, 1976; modificado.

Desafortunadamente, la carga animal se expresa sólo como animales por hectárea, sin definir los elementos que constituyen aquí un *animal*; en los experimentos que se llevan a cabo en el CPAC, Planaltina, Brasil, la carga animal se describe en términos de *unidad animal*, que se define como un peso vivo de 400 kg.

Considerada la gran importancia de la carga animal, se recomienda incluir un rango de cargas animales en el ensayo regional D.

Cargas animales fijas o cargas animales variables

Desde el punto de vista de la carga animal, los experimentos de pastoreo pueden dividirse en dos categorías. En la primera, el número de animales por unidad de área es fijo durante el período de pastoreo; la segunda categoría, en que la carga animal varía según la disponibilidad del forraje, se denomina usualmente 'sistema de carga animal variable'. En este sistema la carga animal se modifica intencionalmente durante el pastoreo con el fin de mantener una presión de pastoreo constante. Dada la interacción entre la carga animal —o la presión de pastoreo— y el tipo de pastura, es deseable que haya más de una presión de pastoreo. Deben utilizarse, de preferencia, tres presiones de pastoreo, una de las cuales debe considerarse la óptima.

Aunque tanto el método de cargas fijas como el de cargas variables tienen aplicaciones, se han hecho numerosas objeciones al segundo sistema. Tales objeciones son:

- La adición o remoción de animales se puede hacer objetivamente sobre la base de las *mediciones* del rendimiento de forraje y de la producción animal, aunque esta operación pueda resultar difícil en los trópicos, donde las especies forrajeras crecen rápidamente. Por ello, las pasturas deben observarse con frecuencia, incluso diariamente, operación que supone

considerable trabajo adicional, personal capacitado y, además, perturbación del ganado. En la práctica, las decisiones tienden a tomarse de manera subjetiva.

- Si se utiliza una sola presión de pastoreo, no hay *sobrepastoreo* estacional ni *subpastoreo* de las pasturas, situaciones ambas que ocurren en la práctica.
- Los resultados obtenidos no son susceptibles de *análisis económico*. Como la producción animal en pasturas tiene el objetivo casi invariable de obtener ganancias pecuniarias, los experimentos deben estar diseñados para permitir un análisis económico.
- Los requerimientos de tierra y de otras *instalaciones experimentales* aumentan debido a la necesidad de conservar pasturas similares a aquéllas que están en evaluación, con el fin de alimentar animales disponibles (*volantes*) que no se encuentren en la pastura experimental.
- Por último, debe tenerse en cuenta que muchas estaciones experimentales en que se adelantan ensayos regionales no cuentan con personal directivo residente y que, a veces, hay considerable distancia entre el sitio del ensayo y la sede. Por una u otra razón, es imposible, con frecuencia, hacer visitas regulares al sitio de los ensayos. Aquellos ensayos en que se prueba una carga animal fija y cuyo pastoreo es continuo son más fáciles de manejar, requieren menor supervisión por parte de un científico principal, y se puede emplear en ellos personal con una preparación media.

Otras limitaciones del sistema de cargas variables son las que señalan Morley y Spedding (1968) cuando dicen que "las cargas animales dentro de un tratamiento no se deben variar en diferentes momentos, a no ser que dicha variación esté relacionada con prácticas factibles de realizar en algún sistema real o conceptual". La mayoría de los productores de ganado de carne en los trópicos no pueden disminuir el número de animales de la explotación y tienen que mantener, por consiguiente, una carga animal relativamente fija durante todo el año, sobre todo si carecen de medios económicos para conservar el forraje o para suplementar la dieta del ganado. La situación más común, en que el excedente de forraje puede preservarse in situ para su uso posterior, favorece el empleo de la carga animal fija. Desde un punto de vista práctico importa destacar que, al considerar la finca como una unidad, los proponentes del sistema de carga animal variable suponen que el beneficio derivado de la disminución de la presión de pastoreo en una parte de la finca superará cualquier desventaja debida a la presión de pastoreo creciente que ocurra simultáneamente en otra parte de aquélla; esta compensación, sin embargo, no se presenta con frecuencia.

En los ensayos de pastoreo que se desarrollan actualmente en el CPAC, las cargas animales fijas se logran manteniendo constante el número de animales por potrero durante todo el período de pastoreo. En realidad, sería más preciso describir estas cargas animales como *estacionalmente variables*, puesto que se expresan en términos de unidades animales. Los animales se introducen en la pastura todos los años en mayo, al principio de la estación seca, cuando registran su peso más bajo. Durante la estación lluviosa, cuando la disponibilidad de forraje es mayor, los animales ganan peso. En consecuencia, la carga animal promedio (UA/ha) en la estación seca, cuando la disponibilidad de forraje es limitada, es más baja que durante la estación lluviosa (Cuadro 2).

Cuadro 2. Modos de expresar las cargas animales en un ensayo de pastoreo en el CPAC, Planaltina, D. F., Brasil.

Modo o relación	Epoca estacional	Carga animal ^a (animales/ha)		
		Baja	Media	Alta
Animales/ha	lluviosa	1.82	2.55	3.28
Animales/ha	seca	1.82	2.55	3.28
Unidades animales/ha	lluviosa	1.03	1.42	1.59
Unidades animales/ha	seca	0.75	1.06	1.32

a. Una unidad animal, UA = 400 kg de peso vivo.

Fertilización de la pastura y carga animal

La aplicación de fertilizantes, como el fósforo, puede interactuar con la carga animal para afectar la producción animal. Incluir tratamientos de fertilización en el diseño tendría como fin determinar su dosis óptima, de manera que se debería incluir una serie de tratamientos y un testigo que no será, necesariamente, de nivel cero. Sin embargo, no es siempre deseable incluir tratamientos de fertilización en los ERD. La razón principal es que los ensayos donde la fertilización se combina con la carga animal no dan, probablemente, una estimación de la fertilización óptima porque ocurre una interacción de la carga animal o de los niveles de fertilización aplicados para el mantenimiento del ensayo. Es poco probable que una recomendación particular de fertilización sea precisa, no importa dónde se obtenga. Joblin et al. (1972), en una revisión de ocho ensayos de pastoreo realizados en Nueva Zelanda en que se probaba fertilización x carga animal, concluyeron que la precisión de una recomendación oscila entre 125 y 375 kg de superfosfato/ha.

Suplementación y consumo de forraje

Cuando se suministran suplementos a los animales en pastoreo —tales como granos, concentrados proteínicos o mezclas de urea y melaza— ocurre frecuentemente una interacción entre las cantidades de suplemento suministradas y las de pasto ingerido. Los animales que reciben alimentación suplementaria reducen, con frecuencia, el consumo de forraje por efecto de sustitución. En opinión de los autores de este artículo el uso de suplementos distintos de la sal y los minerales no es conveniente ni para la situación práctica de las localidades de ensayo de la RIEPT ni para el objetivo principal del ERD; en consecuencia, los tratamientos de suplementación deben excluirse del diseño.

Animales jóvenes y sanos

Es aconsejable incluir, por lo menos, tres animales por potrero en un ensayo de pastoreo. Al escogerlos se debe dar preferencia a aquéllos de tipo y clase comunes en la región, tratando de seleccionar animales jóvenes, ya que ofrecen la ventaja de ser más sensibles para detectar diferencias en la calidad de los forrajes.

Es de suma importancia que los problemas de salud no alteren el comportamiento de los animales. En un ensayo de pastoreo efectuado en el CPAC, se anularon totalmente los efectos del tratamiento debido a enfermedades que alteraron la ganancia de peso y causaron la muerte de algunos animales. El ensayo no arrojó diferencias en el comportamiento animal, a pesar de las grandes variaciones que experimentaban las pasturas en los diferentes tratamientos de carga animal.

Sistemas de pastoreo continuo o en rotación

Se ha levantado una agitada controversia alrededor de los métodos de pastoreo, en particular con respecto a la alternativa entre pastoreo continuo o en rotación. No se discute si es necesaria la subdivisión de la finca en varios potreros para el manejo de varios grupos de animales; se argumenta, en cambio, la necesidad de subdividir un área de pastoreo para un solo grupo de animales. El pastoreo continuo se considera como un sistema relativamente poco costoso y fácil de manejar. Debe recordarse que los ganaderos de los países en desarrollo no disponen de recursos de capital para cercas largas ni para abrevaderos numerosos.

El pastoreo en rotación ofrece numerosas variaciones que determinan el número de potreros, la duración de los períodos de pastoreo y de descanso. Antes de que se pueda comparar un sistema en rotación con un sistema continuo, debe determinarse experimentalmente el nivel óptimo de subdivi-

siones. Dadas las diferencias entre una especie forrajera y otra, la duración del ciclo de una rotación óptima para una pastura puede no ser la más conveniente para otra. Las estaciones experimentales rara vez disponen de suficientes recursos para establecer ensayos con diferentes tipos de rotación y, en consecuencia, la decisión sobre el tipo que se usará se basa usualmente en criterios subjetivos.

Wheeler (1962) revisó la literatura sobre especies forrajeras de zonas templadas en que se hacían comparaciones entre sistemas de pastoreo. Con demasiada frecuencia los sistemas de pastoreo se confundieron con el manejo, de tal manera que fue imposible hacer una comparación estricta de aquéllos. En ensayos mal concebidos, el pastoreo continuo con una carga animal baja —arbitrariamente seleccionada— se comparó con el pastoreo en rotación con cargas animales más altas. En otros ensayos se comparó el pastoreo continuo con el pastoreo en rotación; este último incluía prácticas de conservación de forraje o de suplementación. Los tratamientos de carga animal más alta, asignados usualmente al sistema en rotación, produjeron el mayor rendimiento de productos animales por hectárea. En aquellos experimentos en los que la carga animal fue igual para ambos sistemas, se registraron diferencias no significativas en la producción de carne y leche por unidad de área.

Gran parte de los experimentos realizados con especies forrajeras tropicales se han sometido a pastoreo continuo, generalmente con cargas animales fijas, y en la mayoría de los casos han arrojado resultados exitosos. Se ha demostrado que el pastoreo continuo es tan bueno o, en algunos casos, mejor que ciertas formas de pastoreo en rotación ('t Mannelje, Jones y Stobbs, 1976). Sin embargo, algunas especies no presentan un buen comportamiento en condiciones de pastoreo continuo. En Australia, *Leucaena leucocephala* es más productiva en un sistema simple de pastoreo en dos potreros. En Malasia, en un ambiente lluvioso de 1764 mm por año, Eng, Herridge y 't Mannelje (1978) encontraron que *P. phaseoloides* no toleró el pastoreo continuo ni aun con la carga animal más baja. Se han registrado experiencias similares con *P. phaseoloides* en la costa tropical húmeda del norte de Queensland.

Diseño experimental: sin repeticiones?

Los diseños experimentales convencionales que se consultan en cualquier texto de estadística son adecuados para evaluar las diferencias entre pasturas, pero al iniciar esta tarea es recomendable el consejo de un experto en esa ciencia.

De particular interés para el ERD es saber si la repetición, en el sentido formal, es necesaria o no. Los experimentos simples, sin repetición, son válidos y además valiosos cuando el suministro de semilla es un limitante o cuando se desea obtener una primera estimación de la capacidad de carga y

del potencial de producción animal de las pasturas mejoradas. Si se aplican tres o más cargas animales, es posible comparar los tratamientos de pasturas sin necesidad de repetición, ya que existe una correlación negativa muy fuerte entre la ganancia de peso por animal y la carga animal (expresada ésta como animales por hectárea). En estos casos se utiliza la covarianza para el análisis estadístico.

Haydock (1984) indicó, por su parte, que se podía eliminar la repetición de algunos tratamientos y mantenerla, en cambio, en uno o más tratamientos considerados muy importantes, como son las cargas animales que al inicio del ensayo se suponen más cercanas al nivel óptimo. En general, eliminar la repetición es una manera de reducir significativamente el área requerida para el ensayo y permitir, además, la comparación de varias pasturas mejoradas. Por ejemplo, puede ser más útil comparar inicialmente cuatro pasturas asociadas sin emplear repetición, que una mezcla con cuatro repeticiones. En la actualidad se están comparando en el CPAC cuatro asociaciones de leguminosas sometidas a tres cargas animales en un diseño sin repeticiones.

Mediciones en animales y en pasturas

La medición de parámetros en animales depende del objetivo del ensayo y es un aspecto bien documentado en la literatura. El método más común para evaluar el comportamiento animal en los ensayos de pastoreo ha sido medir la *ganancia de peso*. Los cambios de peso en el tiempo son un reflejo de la cantidad y de la calidad de la alimentación ingerida y representan un buen índice del peso de la canal. Aunque solamente se requieren los pesos inicial y final, las ganancias de peso se registran, generalmente, cada 28 ó 56 días; estos intervalos cortos, a su vez, ayudan a descubrir aquellos animales que no están saludables. La mayor fuente de variación en las mediciones del peso vivo es el contenido del tracto alimenticio; para minimizar el efecto de este factor es necesario estandarizar las técnicas de pesaje.

Los principales parámetros medidos en las pasturas son el rendimiento de *materia seca* o de *materia verde en base seca*, la *composición botánica* y, cuando las facilidades lo permitan, la *composición química*. En aquellos centros o estaciones experimentales donde sea posible evaluar detalladamente el comportamiento de las pasturas, se recomienda, para los ERD, el uso de procedimientos de muestreo y computación conocidos como BOTANAL, originalmente desarrollados por Tothill, Hargreaves y Jones (1978). BOTANAL combina los siguientes estimados:

- La composición relativa de especies, mediante el método del rango de peso seco (t Mannetje y Haydock, 1963).
- El rendimiento de la pastura, por el método de doble muestreo por rango visual (Haydock y Shaw, 1975).

Los dos estimados se pueden obtener en el mismo marco de muestras. EMBRAPA modificó recientemente este método para su uso en Brasil, haciendo posible el análisis de los datos en un microcomputador (Da Costa y Gardner, 1984). En el CPAC, cuatro operarios capacitados pueden realizar 900 observaciones en 25 hectáreas de *A. gayanus* asociado con leguminosas en un período de dos días. Ningún otro método de campo permite una evaluación tan completa y rápida de los atributos de las pasturas en ensayos extensos de pastoreo. Las pasturas se muestrean dos o tres veces al año.

Conclusión

De la discusión anterior se deduce que existen varias posibilidades de tratamiento, diseño y tipo de pastoreo, disponibles para el ensayo regional D. Puede suceder que una opción no sea científicamente más válida que otra, pero es esencial que la metodología escogida sea la más apropiada en relación con las prácticas que se utilicen en la región, con los recursos disponibles, y con el nivel de experiencia técnica del investigador responsable del ensayo.

En la selección de metodologías es muy importante su sencillez junto con cierto grado de flexibilidad aun cuando, dentro de un ecosistema determinado, se podrían obtener ventajas con la estandarización de la metodología.

Se recomienda de manera especial utilizar en los ERD un rango de cargas animales, con el fin de determinar el nivel óptimo de este factor de manejo y poder así realizar análisis económicos. El uso de cargas estacionalmente variables, obtenida por cambio de los animales al final de la estación seca, parece aconsejable. Para muchas especies forrajeras, el pastoreo continuo será el sistema más sencillo de utilización de la pastura. Para otras especies, con las cuales no se han adquirido buenas experiencias con pastoreo continuo —aun en experimentos diseñados apropiadamente— se debe considerar el sistema de pastoreo alterno.

Referencias

- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1983. Programa de Pastos Tropicales; informe anual 1982. Cali, Colombia. 362 p.
- . 1984. Tropical Pastures Program; Annual report 1983. Cali, Colombia.
- Cosenza, G.W. 1982. Resistance in grasses to the pasture spittlebug (*Deois flavopicta*, 1854). Boletim de Pesquisa no. 10. EMBRAPA-CPAC, Planaltina, D.F., Brasil. 15 p.

- Eng, P.K.; Kerridge, P.C. y 't. Mannelje, L. 1978. Effects of phosphorus and stocking rate on pasture and animal production from a Guinea grass-legume pasture in Johore, Malaysia. I. Dry matter yields, botanical and chemical composition. *Tropical Grasslands*, 121:188-197.
- da Costa, J.M.V. y Gardner, A.L. 1984. Sistema BOTANAL, 2; manual do usuário. EMBRAPA-DMQ, Brasília, Brasil. 27 p.
- Grof, B.; Schultze-Kraft, R. y Müller, F. 1979. *Stylosanthes capitata* Vog.; some agronomic attributes and resistance to anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz.). *Tropical Grasslands*, 13:28-37.
- Hardock, K.P. y Shaw, N.H. 1975. The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 15:663-670.
- . 1984. Consequences arising when the design of a grazing trial is not ideal. (Abstract.) *Animal Production in Australia* 15:52-54.
- Joblin, A.D.H.; Blackmore, L.W.; Bircham, J.S.; Cossens, G.G.; Cumberland, G.L.B.; O'Connor, M.B.; Thomson, N.A.; Smith R.G. y Wright, D.F. 1972. Review of field research section fertilizer x stocking rate grazing trials in New Zealand. *Proc. New Zeal. Soc. Anim. Prod.* 32:64-76.
- Jones, R.J. 1970-1975. Annual Reports of CSIRO Division of Tropical Agronomy. [1970-71: 16, 1971-72: 12, 1972-73: 14, 1973-74: 17, 1974-75: 8]. CSIRO, Brisbane, Australia.
- . 1974a. The relation of animal and pasture production to stocking rate on legume based and nitrogen fertilized sub-tropical pastures. *Proc. Aust. Soc. Anim. Prod.* 10:340-343.
- 't. Mannelje, L. y Haydock, K.P. 1963. The dry weight rank method for the botanical analysis of pasture. *J. Brit. Grassld. Soc.* 18:268-275.
- ; Jones, R.J. y Stobbs, T.H. 1976. Pasture evaluation by grazing experiments. En: N.H. Shaw y W.W. Bryan (eds.). *Tropical pasture research: Principles and methods*. Bulletin 51. CAB, Farnham Royal, England. p. 194-234.
- Morley, F.H.W.; Spedding, C.R.W. 1968. Agricultural systems and grazing experiments. *Herb. Abstr.* 38:279-287.
- Morley, F.H.W. y Spedding, C.R.W. 1968. Agricultural systems and grazing experiments (ed.). *Measurement of Grassland Vegetation and Animal Production*. Bulletin 52. CAB, Farnham Royal, England. p. 103-162.
- Paladines, O. y Lascano, C. 1983. Recomendaciones para evaluar germoplasma bajo pastoreo en pequeños potreros. En: O. Paladines y C. Lascano (eds.). *Germoplasma forrajero bajo pastoreo en pequeñas parcelas; metodologías de evaluación*. CIAT. Cali, Colombia. p. 165-183.
- Salinas, J.G. y Lascano, O. 1983. La fertilización con azufre mejora la calidad de *Desmodium ovalifolium*. *Pastos Tropicales, Boletín Informativo (CIAT)*, vol. 5, nos. 1 y 2.

- Shaw, N.H. 1970. The choice of stocking rate treatments as influenced by the expression of stocking rate. Proceedings of the 11th International Grassland Congress. Surfers Paradise, Australia. p. 909-913.
- Toledo, J.M. y Schultze-Kraft, R. 1982. Metodología para la evaluación agronómica de pastos tropicales. En: J.M. Toledo (ed.). Manual para la evaluación agronómica; Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales. CIAT. Cali, Colombia. p. 91-110.
- Tothill, J.C.; Hargreaves, J.N.G. y Jones, R.M. 1978. Botanal; a comprehensive sampling and computing procedure for estimating pasture yield and composition. I. Field sampling. Tropical Agronomy technical memorandum no. 8. CSIRO, Division of Tropical Crops and Pastures, Australia. 20 p.
- Wheeler, J. 1962. Experimentation in grazing management. Herb. Abstr. 32:1-7.
- : Burns, J.C.; Mochrie, R.D. y Gross, H.D. 1973. The choice of fixed or variable stocking rates in grazing experiments. Exp. Agric. 9:289-302.
- Williams, R.J.; Burt, R.L. y Strickland, R.M. 1976. Plant introduction. En: N.H. Shaw y W.W. Bryan (eds.). Tropical pasture research: Principles and methods. Bulletin 51. CAB, Farnham Royal, England. p. 77-100.
- Willoughby, W.M. 1970. Grazing management. En: R.M. Moore (ed.). Australia grasslands. Australian National University Press, Canberra, Australia. p. 392-397.

Manejo del pastoreo fijo o variable en la evaluación de pasturas

Marvin B. Riewe*

Resumen

Los resultados de estudios agronómicos y de laboratorio permiten desarrollar hipótesis relacionadas con el efecto favorable de nuevas pasturas o de prácticas de manejo en la producción de ganado. En la investigación de pasturas, estas hipótesis requieren confirmación mediante ensayos de pastoreo.

El diseño apropiado de los ensayos de pastoreo exige que se tengan en cuenta la carga animal y el sistema de pastoreo. Se discute, pues, el uso de sistemas de pastoreo continuo y rotacional y el uso de cargas fijas o variables. Estos sistemas de manejo se analizan en relación con problemas de aleatoriedad y control de variables en ensayos de pastoreo, haciendo énfasis en el efecto que ejerce la carga animal en la producción por animal y por unidad de área.

Introducción

Las grandes diferencias encontradas en los estudios de corte de forraje realizados en pequeñas parcelas no siempre se traducen en resultados significativos en la producción de carne, leche o lana; por ello, los ensayos de pastoreo son necesarios para confirmar el valor, traducido como producción animal, de las especies o variedades forrajeras nuevas, y de las prácticas mejoradas incluyendo entre ellas las estrategias de manejo del pastoreo. Los

* Profesor, Agricultural Research Station, Texas A & M University, Angleton, Texas.

beneficios que se obtienen a corto plazo de ciertas prácticas mejoradas, ya sea de manejo o agronómicas, pueden perderse, en gran medida, antes de que haya oportunidad de obtener una ganancia económica basada en un sistema de manejo bien equilibrado. Por tanto, los ensayos de pastoreo suficientemente prolongados, donde se evalúan los méritos de las variables en estudio, son esenciales para el desarrollo de sistemas eficientes de producción de ganado.

El interés particular de este trabajo es discutir el uso de las cargas fijas o variables en la evaluación de las pasturas, considerando los sistemas de pastoreo continuo y rotacional. Se estudiarán las ventajas y desventajas de utilizar cargas animales y sistemas de pastoreo a la luz de los objetivos específicos de un ensayo de pastoreo. Sin embargo, conviene discutir en primera instancia, así sea brevemente, dos puntos: aleatoriedad y efecto de carga, que son fundamentales para el diseño de los ensayos de pastoreo y para la interpretación de los resultados. La definición de los términos empleados en este escrito sigue las convenciones de Hodgson (1979).

Consideraciones básicas

Aleatoriedad y variables estudiadas

La aleatoriedad de las variables estudiadas en un ensayo de pastoreo es un problema difícil y merece atención. La aleatoriedad deseada no siempre es posible en trabajos seriados en el tiempo tales como los que se realizan en ensayos de pastoreo; así, por ejemplo, lo que ocurre hoy depende de lo que ocurrió ayer. Por otro lado, la aleatoriedad supone que cuando las variables en estudio se asignan al azar, el efecto de las variables no aleatorias, y que no se hallan en estudio, sigue una distribución normal. Las variables no aleatorias pueden, sin embargo, interactuar significativamente con las variables estudiadas. No haber tenido en cuenta, de manera apropiada, el efecto del sitio, del año, de la carga animal o de la alimentación suplementaria son apenas unos pocos ejemplos de las fallas en que incurren los ensayos de pastoreo.

Mucha de la aleatoriedad 'aparente' en los ensayos de pastoreo no es un efecto obtenido verdaderamente al azar sino, más bien, un efecto no aleatorio sin identificar. Esto se puede atribuir, en gran parte, a la ausencia de ciertos conocimientos al diseñar o al interpretar los resultados de un ensayo de pastoreo. En algunos casos está implícita la cuestión de la factibilidad; por ejemplo, los recursos para controlar ciertas variables o hacer ciertas mediciones sencillamente no están disponibles. Infortunadamente, en otros casos las razones son la omisión, el descuido o la falta de conocimientos.

En alguna etapa de la fase de diseño de un ensayo de pastoreo el investigador debe suponer que la variación imposible de atribuir a la parte determinística del modelo se genera por algún proceso aleatorio (Lucas, 1964). Sin embargo, el investigador debe considerar que esta suposición de aleatoriedad puede no ser cierta; en tal caso, no habría garantía contra sesgos.

No prestar atención en forma adecuada a la interacción entre los efectos no aleatorios y las variables estudiadas explica en parte las diferencias de parecer en lo que respecta a los méritos de la carga fija y de la carga variable o del pastoreo continuo frente al pastoreo en rotación.

Efecto de la carga animal en ensayos de pastoreo

Se han realizado muchos ensayos de pastoreo en los que la carga animal, fija o variable, se ha confundido con las variables en estudio. Con frecuencia, las diferencias entre tratamientos han sido tal vez un efecto del uso de diferentes cargas animales con las cuales se pastorean los diversos tratamientos. Si el tratamiento A produce menores ganancias por animal pero tiene mayor capacidad de carga y produce mayor ganancia por unidad de área que el tratamiento B, entonces la diferencia entre A y B puede deberse a la carga animal empleada para pastorear los respectivos tratamientos. La relación entre el comportamiento animal (ganancia de peso o producción de leche) y la carga animal no puede olvidarse si se desea resolver la cuestión del uso apropiado de cargas fijas o variables en los ensayos de pastoreo.

El aumento de la carga (animales/ unidad de área) más allá del valor crítico produce un efecto negativo —básicamente lineal dentro del área de interés económico— en la ganancia de peso vivo por animal (Riewe, 1961; Cowlinshaw, 1969; Jones y Sandland, 1974) como se ilustra en la Figura 1. A medida que aumenta la carga animal —para ejercer una mayor presión de pastoreo, es decir, una mayor demanda de la cantidad total de forraje disponible— la ganancia de peso vivo por animal disminuye y, hasta cierto punto, la ganancia de peso vivo por unidad de área aumenta; sin embargo, a mayores aumentos en la carga animal, la ganancia de peso vivo por unidad de área también disminuye (Figura 2). No obstante, en un punto inferior al nivel crítico de carga la ganancia por animal no aumentará y puede, en realidad, ser inferior a lo que se obtendría con una carga animal más alta (Burns et al., 1970; Edye et al., 1978).

Con una presión de pastoreo ligera, el animal tiene la oportunidad de pastorear selectivamente el forraje más tierno y digestible; la selectividad en la misma pastura sería menor con una presión de pastoreo más alta. Cuando aumenta ésta, se consume mayor proporción del forraje disponible aunque la cantidad consumida por animal sea inferior (Pieper et al., 1959; Campbell,

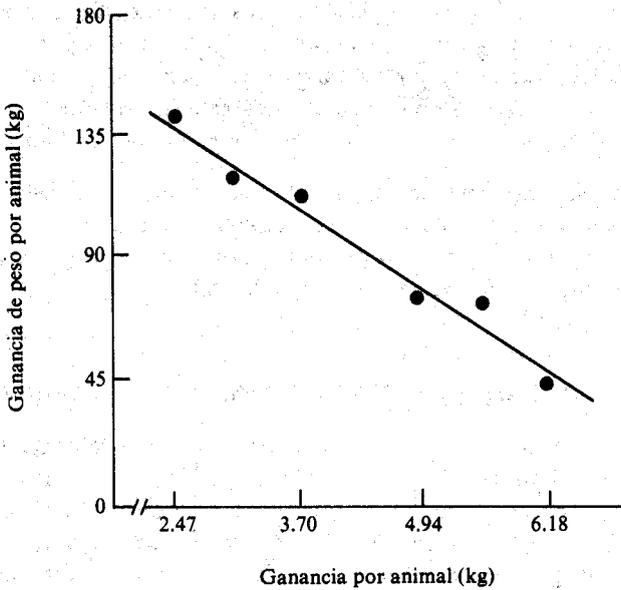


Figura 1. Efecto de la carga en la ganancia de peso por animal, en una pastura de *Paspalum dilatatum* (Dallis grass) asociado con trébol blanco, sometida a pastoreo.

FUENTE: Riewe, 1976.

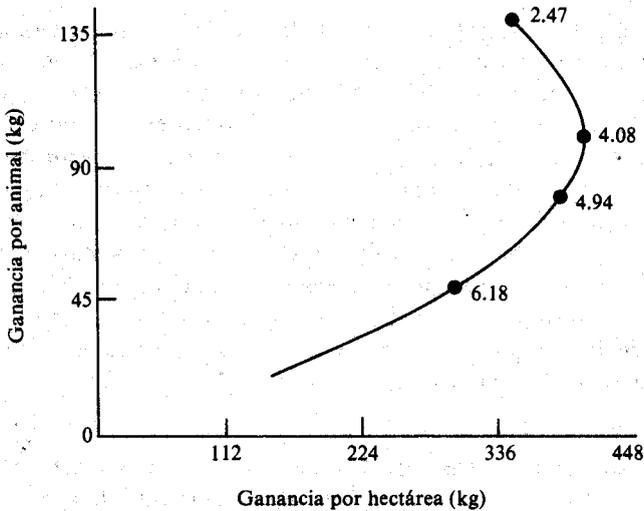


Figura 2. Efecto de la carga en la ganancia de peso por animal y por hectárea, en pasturas de *Paspalum dilatatum* (Dallis grass) asociado con trébol blanco. Los números junto a los puntos de la curva representan animales/ha.

1966; Hull et al., 1967; Hodgson et al., 1971); dispondrá, por tanto, el animal de menor cantidad de energía digestible para dedicarla a ganancia de peso vivo o a producción de leche.

Ciertos modelos teóricos (Owen y Ridgman, 1968; Conniffe et al., 1970) que visualizan una relación curvilínea entre la ganancia de peso vivo por animal y la carga animal pueden ser conceptualmente superiores al modelo lineal si se aceptan diversos supuestos. Sin embargo, Sandland y Jones (1975) han demostrado que el modelo lineal simple incluye, en gran parte, las ventajas teóricas de los modelos considerados superiores. Otros modelos (Mott, 1960) son difíciles de justificar conceptualmente o carecen de datos experimentales de respaldo (Peterson et al., 1965). La modificación que Matches y Mott (1975) hicieron al modelo diseñado por Mott (1960) parece ser, en teoría, apropiada (Figura 3).

Aunque la ganancia de peso o producción por unidad de área se acepta comúnmente como un parámetro importante, tiene, en realidad, un valor limitado en la evaluación ya sea biológica o económica de las pasturas. La razón es que una ganancia de peso por unidad de área se puede lograr con combinaciones diferentes de los parámetros del modelo, como son producción por animal y carga animal o capacidad de carga.

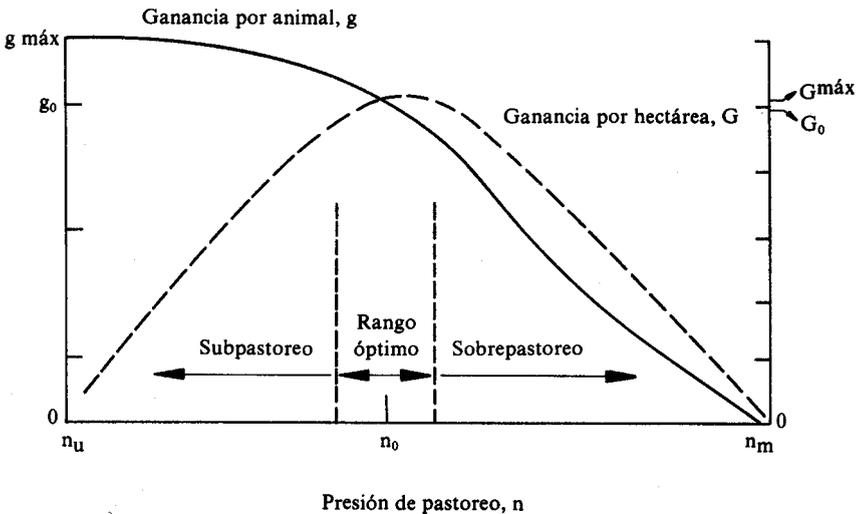


Figura 3. La relación entre la ganancia de peso vivo, por animal y por hectárea, y la presión de pastoreo permite calcular el punto y el rango óptimos de esta última variable.

FUENTE: Matches y Mott, 1975.

Dos pasturas que arrojen la misma producción por unidad de área podrían dar diferentes retornos económicos. Por consiguiente, el enfoque del pastoreo experimental como el de la producción comercial debe dirigirse a evaluar el comportamiento por animal y el número de éstos. En la medida en que la ganancia de peso por unidad de área no se considere un parámetro importante, las estrategias de manejo del pastoreo tendrán poco significado desde el punto de vista económico (Riewe, 1981). En suma, gran parte del desacuerdo aparente en torno al uso de cargas animales fijas o variables o de un sistema de pastoreo u otro, se puede atribuir al peso excesivo que se ha dado a la producción animal por unidad de área.

Objetivos de los ensayos de pastoreo

El uso de cargas fijas o variables o de un sistema de pastoreo en particular dependen mucho de los objetivos del ensayo de pastoreo. Aquí se consideran tres objetivos:

- Documentar el *comportamiento animal* en diferentes tipos de pastura.
- Relacionar *atributos de la pastura* con la respuesta de los animales.
- Integrar las *nuevas pasturas* o prácticas de manejo al sistema de producción.

Comportamiento animal en pasturas de diversos tipos

Tradicionalmente, los ensayos de pastoreo han servido para confirmar los resultados de los estudios agronómicos realizados en parcelas pequeñas. En los experimentos en que no se han incluido varias cargas para cada uno de los tratamientos agronómicos, se debe tomar, obviamente, una decisión sobre la carga animal o la presión de pastoreo adecuadas y acerca de si ésta última se alcanza más fácilmente con cargas fijas o variables. No sobra señalar, una vez más, que el pastoreo con una sola carga, ya sea variable o fija, con repeticiones o sin ellas, produce datos de valor limitado. Estos datos pueden ser útiles para identificar los limitantes de la pastura que merezcan un estudio más detallado. Mayor consideración requiere, generalmente, ya sea en los centros de investigación o a nivel de la finca, la integración de nuevas pasturas al sistema de producción predominante en una región o localidad.

Para saber si una pastura nueva —o una práctica mejorada como la fertilización o el manejo del pastoreo— puede incorporarse al sistema pastura-animal, es necesario conocer tanto el máximo nivel de ganancia —o producción por animal— que se puede esperar de aquella pastura o práctica,

como la tasa de disminución de la producción animal cuando aumenta la presión de pastoreo o la carga animal. La evaluación de los diferentes tipos de pastura quedaría incompleta sin esa información. Es indispensable, además, no confundir el efecto que ejerce la carga en la producción animal con el efecto —en esa misma producción— de otras variables que se estudien.

La carga animal se ha utilizado como una variable en la evaluación comparativa del comportamiento de los animales que pastorean ya sea diferentes gramíneas tropicales (Watson y Whiteman, 1981; Escuder, 1983), o ya diferentes híbridos de *Cynodon* sp. (Conrad et al., 1981), o diferentes niveles de nitrógeno en *Pennisetum clandestinum* (Mears y Humphreys, 1974), o el empleo de nitrógeno o de leguminosas con las gramíneas (Jones y Sandland, 1974; Riewe, 1976), o también diferentes sistemas de pastoreo (Reiwe, 1965). Jones (1981) discutió las características esenciales de estos ensayos en lo que respecta a la calidad nutricional del forraje y a la persistencia de las pasturas.

Relación entre el comportamiento animal y los atributos de la pastura

Los ensayos de pastoreo diseñados para aclarar los principios que actúan en la interfase pastura-animal se han multiplicado durante los últimos 25 años. Una vez reconocido el efecto de la carga en la producción animal, aumentó el interés en establecer relaciones entre las respuestas del animal y los atributos de la pastura. Las siguientes son algunas de esas relaciones:

- a. - Ganancia de peso y forraje disponible (Willoughby, 1959; Tayler, 1966; Alden y Whitaker, 1970; Hodgson et al., 1971).
 - Producción de leche y forraje disponible (Baker et al., 1981).
 - Producción de lana y forraje disponible (Rowe, 1982).
- b. - Consumo de forraje y forraje disponible (Arnold y Dudzinski, 1967).
 - Consumo de forraje y altura de la pastura (Hodgson, 1981).
 - Consumo de forraje y estructura de la pastura (Chacón y Stobbs, 1976).
- c. - Tamaño del bocado y estructura de la planta (Stobbs, 1973a).
 - Tamaño del bocado, rendimiento foliar, y densidad foliar (Stobbs, 1973b).
 - Tamaño del bocado y altura de la pastura (Forbes, 1983).

En estudios de esta naturaleza se ha hecho, generalmente, un esfuerzo por controlar todas las variables posibles, con el fin de evaluar únicamente el efecto de la variable que se estudia. Con este fin, se han utilizado a menudo ya sea la carga variable o un sistema de pastoreo en rotación.

Integración de nuevas pasturas o prácticas mejoradas a los sistemas de producción

Las nuevas pasturas o las prácticas mejoradas (fertilizante, manejo del pastoreo) harán parte, generalmente, de un sistema total de producción de ganado que suministre los nutrimentos necesarios para que el animal subsista, por ejemplo, durante 12 meses del año o hasta su venta. Es esencial, por tanto, evaluar el efecto de las nuevas pasturas, o de las nuevas prácticas, en la producción del sistema considerado como un todo. Se presume que ya se ha recopilado considerable información sobre la nueva pastura o práctica que se evaluará, y que se ha desarrollado la hipótesis de que su empleo favorecerá la totalidad del sistema de producción, satisfaciendo una necesidad claramente definida. Es necesario, por tanto, conocer el nivel de producción por animal que se puede obtener con la nueva pastura o práctica, así como calcular la carga que permitirá alcanzar la producción por animal requerida.

Si el sistema de producción al cual se va a introducir la nueva pastura o práctica es sencillo —p.ej., carneros solamente para producción de lana o novillos solamente para engorde— entonces el procedimiento experimental —o sea, la elección de la carga, del sistema de pastoreo, y del método de estimación del error— puede diferir un poco de aquellos métodos utilizados en la evaluación del comportamiento animal en diferentes tipos de pasturas. Sin embargo, la mayoría de los sistemas de producción de ganado son más complejos, ya que puede estar implicada más de una categoría de animales (novillos, vacas lactantes) o dos o más especies de animales (bovinos y ovinos o cabras).

Es importante que el investigador tenga en mente los factores fundamentales de la adopción de nuevas pasturas en un sistema de producción pecuaria; algunos de estos factores son:

- buen comportamiento de la pastura en una escala comercial;
- manejo de la pastura compatible con el manejo existente;
- simplicidad;
- una relación costo:beneficio favorable;
- semilla disponible, si la especie o el cultivar son nuevos.

Otra consideración, imprescindible en la experimentación relacionada con los sistemas de producción, es el conflicto que puede surgir entre el control del error experimental (número de repeticiones) y la factibilidad del experimento. Generalmente, prevalece lo factible a expensas del control del error por una razón obvia: si la nueva pastura o la práctica mejorada satisfacen los criterios de compatibilidad con el sistema, de simplicidad, y de una relación costo:beneficio favorable, entonces se puede esperar que las fincas comerciales constituyan un tipo de repetición en el tiempo y en el espacio. Si en los

experimentos con estas repeticiones se confirman los resultados anteriores, entonces ocurre, usualmente, una adopción extensa de la nueva pastura o de la práctica mejorada. Si esta clase de experimentación sin repeticiones no confirma los hallazgos anteriores, las nuevas pasturas o prácticas probablemente no serán adoptadas, no importa el grado de control aplicado al error experimental.

En los estudios de pastoreo en sistemas de producción probablemente prevalecerán, para el sistema global, las cargas fijas (excepto para nacimientos, muertes, compras rutinarias y ventas), y a nivel de los componentes del sistema, la carga variable. Se pueden citar varios ejemplos. Con el fin de suministrar más alimento a las ovejas en su última fase de gestación, durante el invierno, Brown (1977) reservó una parte de la finca para descanso durante el otoño; de este modo aumentó la carga animal en el resto de la finca. La carga, para la finca considerada como un todo, permaneció fija, pero se tornó variable para cada uno de los dos componentes. FitzGerald (1976) aumentó de manera semejante la carga animal en un sector de la finca durante la primavera; permitió así que el otro sector descansara y obtuvo heno en pie, o ensilaje, para alimentar los animales durante el otoño. En una parte de esa finca prevaleció una carga variable mientras que para la finca, en su conjunto, la carga permaneció fija.

En otro experimento, Jones y Evans (1984) utilizaron cargas variables en pasturas de *T. repens* y *Desmodium* sp.; sin embargo, la carga permaneció fija para el sistema total. Por otro lado, es factible utilizar una carga variable en el sistema total cuando se manejen dos o más clases de ganado; por ejemplo, vacas lactantes junto con terneros y novillos para engorde.

Cuando se hace investigación para integrar pasturas o prácticas nuevas a los sistemas de producción, se podría emplear el pastoreo rotacional según lo define Hodgson (1979) siempre y cuando se considere apropiado para el sistema total, es decir, cuando se utilice rutinariamente en las fincas comerciales o cuando lo exijan la pastura o la práctica nuevas. Si el pastoreo rotacional no hace parte del sistema pero se considera indispensable para la persistencia de la pastura y, por ende, para producir un impacto en el sistema total, entonces la relación costo:beneficio debe ser extremadamente favorable para que ese sistema de pastoreo sea aceptado por los productores.

Cargas fijas o cargas variables

El uso de cargas fijas o variables en ensayos de pastoreo se ha considerado como un medio para aumentar la objetividad en la conducción de tales ensayos. Los conceptos de carga fija (Wheeler, 1962) y de carga variable

(Mott y Lucas, 1952; Blaser, et al., 1983) han sido defendidos por su objetividad.

Cuando se usa carga animal fija, el número de animales permanece constante durante la estación de pastoreo o en el período experimental de éste. Se espera que la cantidad de forraje disponible por unidad de área y por animal varíe durante la estación. Tales variaciones pueden ser mínimas, bastante grandes, o incluso excesivas, según el tipo de planta forrajera y el ambiente en que se desarrolla. Aunque el número de animales permanece constante, su normal crecimiento durante la estación aumentará, presumiblemente, la demanda de forraje. Sin embargo, a medida que avanza la estación, el consumo de forraje por unidad de peso puede disminuir debido a la inferior calidad del forraje disponible.

En el sistema de cargas animales variables se hace uso de dos categorías de ganado: los animales fijos y los animales *volantes*. Los primeros o animales de prueba, permanecen en la pastura durante la estación —o en el período experimental de pastoreo— y se utilizan para estimar el comportamiento animal en la pastura estudiada. Los animales *volantes* se colocan en la pastura cuando el forraje disponible excede los requerimientos diarios de los animales de prueba estimados por el investigador. Los animales *volantes* se trasladan a pasturas similares cuando el forraje disponible en la pastura experimental disminuye.

El uso de cargas fijas se ha citado como una manera de pastorear objetivamente los tratamientos probados en los ensayos de pastoreo. Se citan también como ventajas de este sistema las siguientes:

- los resultados de los ensayos de pastoreo con cargas fijas se aplican más directamente a nivel de la finca;
- ni la producción por animal ni la producción por unidad de área se sobrestiman, y se obtiene un producto animal compatible con los requisitos locales del mercado.

Entre las desventajas de utilizar cargas fijas se mencionan estas: pueden ocurrir fluctuaciones extremas en el forraje disponible para el pastoreo, y se pueden enmascarar diferencias potenciales entre los tratamientos (Ivins et al., 1958; Wheeler et al., 1973).

Entre las ventajas del uso de cargas variables se menciona la siguiente: el número de animales, o peso vivo, por unidad de forraje se mantiene a un nivel similar para todos los tratamientos en el ensayo de pastoreo, evitando así el sobrepastoreo o el subpastoreo. Este uso permite que la determinación de las ganancias de peso por animal, de la capacidad de carga y de la ganancia de peso por unidad de área se haga bajo condiciones de carga óptima.

Este procedimiento, sin embargo, adolece de una seria deficiencia: el término óptimo, en sí mismo, no es definitivo. La carga animal que permita la máxima o casi máxima ganancia por animal se considera, a veces, como la óptima. Con frecuencia, la carga animal que produzca la máxima ganancia, o producción por unidad de área se acepta como óptima. Por otro lado, la carga animal económicamente óptima no es, en general, ninguna de las dos anteriores: se encuentra más bien en algún punto entre ellas, siendo ocasionalmente mayor que aquélla que produce la máxima ganancia por unidad de área. Se ha planteado que, aun habiendo definido el óptimo, se asume como conocida la ración de forraje que se requiere para la carga óptima (Mott, 1984). Las evidencias disponibles hacen dudoso este supuesto (Johnstone-Wallace y Kennedy, 1944; Willoughby, 1959; Allden y Whittaker, 1970; Hodgson et al., 1971; Jamieson y Hodgson, 1979a; Jamieson y Hodgson, 1979b; Watson y Whiteman, 1981). Este problema se complica aún más por la falta de uniformidad en los métodos utilizados para determinar la cantidad de forraje disponible y por la calidad variable de este mismo forraje.

Es imposible determinar la relación entre las presiones de pastoreo o cargas y la producción animal utilizando una sola presión de pastoreo o carga animal, ya sea fija o variable. Sin embargo, como se indicó anteriormente, el conocimiento de esta relación es fundamental para evaluar, en forma apropiada, las diferencias entre las pasturas o entre los tratamientos dentro de las pasturas.

El uso de cargas animales variables, o de cargas fijas mediante un rango de cargas, se ha evaluado en dos ensayos, por lo menos. Burns et al. (1970) utilizaron *Cynodon dactylon* y hallaron menores errores en la estimación de la ganancia de peso de los novillos empleando cargas variables en vez de cargas fijas. En contraste, Marten y Jordan (1972), utilizando una mezcla de *Medicago sativa* y *Dactylis glomerata*, encontraron menores errores en la estimación de la ganancia de peso de los carneros cuando aplicaban cargas fijas; sin embargo, concluyeron que se podrían obtener resultados similares con cargas animales fijas o variables, siempre y cuando se conociera el rendimiento potencial de la pastura. Citaron, como principal desventaja de la carga fija, los recursos requeridos para obtener, antes del ensayo de pastoreo, algunos estimativos del rendimiento potencial de la pastura. Por consiguiente, si no se puede establecer adecuadamente el rendimiento potencial de una especie forrajera en estudios de parcelas pequeñas, la carga animal variable podría ser ventajosa en la fase inicial de la evaluación de los diferentes tipos de pastura sometidos a pastoreo.

Una revisión del uso de cargas animales fijas o de cargas variables (Wheeler et al., 1973) indica que en las pasturas cultivadas en las regiones húmedas templadas de Estados Unidos y de Europa, y en áreas cubiertas con pasturas de corto ciclo y no anuales, se utilizan frecuentemente cargas animales

variables. La producción de forraje en estas áreas muestra, generalmente, una variación estacional durante el tiempo de crecimiento activo mayor de la que se experimenta en regiones subtropicalés o tropicales y en regiones áridas o semiáridas. La variación se intensifica, con frecuencia, por la aplicación de fertilizantes, especialmente de nitrógeno; en tales casos, las cargas animales variables serían más apropiadas.

Hay menor necesidad de utilizar cargas variables cuando la producción de forraje es relativamente uniforme a lo largo del año bien por una baja precipitación o bien por una precipitación razonablemente uniforme. En general, el uso de cargas fijas puede ser el método adecuado en los siguientes casos:

- a. La tasa de crecimiento del forraje no presenta variaciones extremas.
- b. El exceso de forraje producido puede utilizarse exitosamente in situ y su uso puede posponerse en el tiempo.
- c. La producción animal más eficiente, desde el punto de vista económico, puede ocurrir a niveles de disponibilidad de forraje inferiores a los requeridos para mantener el peso del animal, como cuando se trata de la producción de lana.

Pastoreo rotacional

El concepto de pastoreo rotacional, basado en el movimiento de ganado entre dos o más divisiones o potreros, se remonta, por lo menos, a 400 años atrás (Smith, 1956). Hacia 1800, la mayor parte de las ideas modernas relacionadas con el pastoreo rotacional ya estaban vigentes; entre ellas se destacan las siguientes:

- La rotación rápida entre muchas divisiones de la pastura.
- La aplicación de abonos orgánicos o fertilizantes, junto con el pastoreo en rotación, para aumentar los rendimientos de forraje.
- La introducción del ganado más productivo a un potrero para que sea el primero en pastorearlo, seguido por el ganado de menores requerimientos (como las vacas secas) que pastorearía el forraje residual menos nutritivo.

Entre las ventajas de la rotación se han mencionado: una mayor producción de forraje, una mayor capacidad de carga, y mejor comportamiento animal. Se puede asegurar que quienes han abogado por el pastoreo rotacional asocian el sobrepastoreo con el pastoreo continuo.

La evaluación objetiva del concepto de pastoreo rotacional se inició en la tercera década de este siglo. Primero se publicaron los resultados de un

estudio a largo plazo que comprendía experimentos de corte de una variedad estolonífera ('creeping bentgrass') realizados en Inglaterra por Woodman y asociados. Cincuenta años después, los datos disponibles sobre ensayos de pastoreo que hayan sustentado las conclusiones obtenidas, en experimentos de corte, por éstos y otros investigadores son aún escasos (Wheeler, 1962; Riewe, 1976).

Donde *M. sativa* es un componente importante de la pastura, la ventaja del pastoreo en rotación sobre el pastoreo continuo ha sido clara (Fuelleman, et al., 1948; Brundage y Petersen, 1952; Davis y Pratt, 1956; Blaser et al., 1969; Heineman, 1970). El pastoreo rotacional favorece abiertamente la supervivencia de la alfalfa en la pastura asociada. La alfalfa presenta un crecimiento erecto y es muy palatable, caracteres que facilitan su defoliación por los animales en pastoreo. En contraste, el pastoreo continuo ha favorecido la supervivencia de *Trifolium repens* así como un comportamiento animal igual o superior al obtenido con el pastoreo rotacional (Holdaway y Pratt, 1933; Ahlgren, et al., 1944; Mayton et al., 1947; Davis y Bell, 1957; Hunt et al., 1958; Riewe et al., 1959; Blaser et al., 1969; Hull et al., 1971).

En general, cuando se incluye una leguminosa en la pastura se puede esperar que el comportamiento animal sea superior con aquel sistema de pastoreo que favorezca la supervivencia y el crecimiento de la leguminosa. La relación entre la supervivencia de la leguminosa y el sistema de pastoreo varía con el tipo de aquélla, y es quizá tan importante para las leguminosas tropicales como para las leguminosas de climas templados.

En diversos estudios se ha hallado un impacto significativo de la carga animal en el comportamiento animal, independientemente del sistema de pastoreo utilizado (McElvain y Savage, 1951; McMeekan y Walsh, 1964; Riewe, 1965; Hull et al., 1967; Blaser et al., 1969). Un elemento común en estos estudios ha sido la aparición de una interacción entre la carga animal (presión de pastoreo) y el sistema de pastoreo. Con una carga animal leve o moderada, el comportamiento animal en una pastura bajo pastoreo continuo fue igual o superior al obtenido bajo rotación. Sin embargo, el pastoreo rotacional favoreció el comportamiento animal en las pasturas donde las cargas animales eran más fuertes, como se ilustra en la Figura 4.

Aunque se puede obtener un mejor comportamiento animal con cargas altas en pastoreo rotacional, en comparación con el pastoreo continuo, la producción o ganancia por animal se reduce debido al efecto de una mayor presión de pastoreo. En términos económicos, una mayor producción por unidad de área debe ponderarse frente a la disminución en la producción por animal (Riewe, 1981). Considerando también el aspecto económico, el empleo de sistemas de rotación que permitan obtener una mayor producción por unidad de área sería favorable en los casos en que los gobiernos, como política, subsidien la producción total.

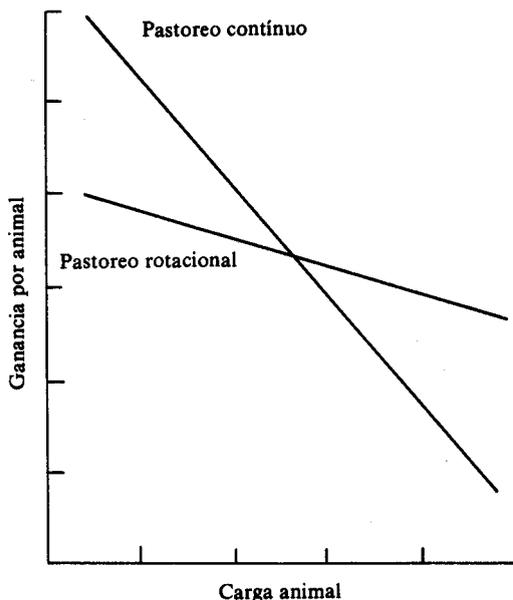


Figura 4. Las relaciones entre la ganancia por animal en la unidad de tiempo, y la carga animal (animales por unidad de área) correspondientes a dos sistemas de pastoreo, continuo y rotacional, interactúan en un punto.

A menos que una pastura soporte en forma continua un pastoreo intenso, el ganado no defolia, ni con frecuencia ni totalmente, una planta individual; lo contrario ocurriría al segar la pastura a una altura de 2 a 4 cm. Por ejemplo, Morris (1969) observó que, bajo pastoreo continuo, un área de 8 x 8 cm de *D. glomerata* fue pastoreada, en promedio, una vez cada 36 días con un índice de área foliar (IAF) de 5.3; una vez cada 24 días, con un IAF de 4.1; y una vez cada 19 días, con un IAF de 3.0. En forma similar, Hodgson (1966) observó que macollas individuales de *Lolium perenne*, pastoreado en forma continua, fueron defoliadas al cabo de 11 a 14 días con pastoreo leve, y a los 7 u 8 días con pastoreo intenso. Curl y Wilkins (1982) confirmaron más tarde estas observaciones; de ellas se desprende la siguiente conclusión: en pastoreo, tanto la frecuencia como el grado de defoliación de las plantas individuales reflejan más un efecto de la presión o de la carga animal que del sistema de pastoreo.

Pastoreo en secuencia

Una modificación del pastoreo común rotacional, ya sea basado en el tiempo de descanso de los potreros o en la disponibilidad del forraje, es el concepto de

pastoreo en secuencia, en el cual se da acceso a los potreros primero a los animales que requieran forraje de mejor calidad, y después a los animales cuyo requerimiento nutricional sea menor. Este sistema de pastoreo en secuencia se conoce también como 'pastoreo de líderes-seguidores', 'pastoreo superior e inferior' y 'primero y último pastoreo'.

En este sistema, grupos sucesivos de animales con diferentes requerimientos nutricionales pueden moverse dentro de un programa de rotación. Como ejemplos podrían mencionarse las vacas lecheras seguidas por el ganado seco, o el ganado joven seguido por vacas maduras, o los terneros lactantes seguidos por sus madres.

Según Smith (1956), Marshall sugirió el concepto de pastoreo en secuencia (líderes-seguidores) desde 1788. El valor de este sistema ha sido comprobado por el trabajo que realizaron, con vacas lecheras en lactación, Bryant et al. (1961) y Archibald et al. (1975). Por otro lado, Blaser et al. (1960) hallaron que la digestibilidad del forraje consumido por los primeros animales de las secuencias de pastoreo fue mayor que la del forraje consumido por los últimos.

En general, el mérito de este sistema depende de que los requerimientos nutricionales de los grupos de animales que integran la rotación sean considerablemente diferentes y de que el forraje disponible tenga un valor nutricional relativamente alto.

Elección del sistema de pastoreo

El pastoreo en rotación ha tenido, y tiene aún, notables seguidores sin que las razones que lo apoyan sean totalmente claras. Sin embargo, para algunos la 'sensación de tener control' parece importante. Excepto en casos específicos, la pastura es un sistema con una alta capacidad amortiguadora ('buffer'), carácter que no es fácilmente modificado por el sistema de pastoreo. Este hecho no siempre se reconoce. Hay otra razón para preferir el pastoreo rotacional: se presume que la cantidad de forraje disponible en la pastura puede estimarse más fácilmente en este sistema que en el pastoreo continuo. Esta suposición corrobora, naturalmente, la idea de que muchas personas gustan de la 'sensación de tener control'. Debe indicarse, sin embargo, que la asignación del forraje al ganado en el pastoreo rotacional no es necesariamente más correcta si la comparamos con la que se hace en el pastoreo continuo. Una última razón puede ser el efecto estético causado por el pastoreo rotacional, en el cual las pasturas están cercadas uniformemente.

La elección del sistema de pastoreo debe apoyarse más en el manejo fácil que en las posibles diferencias en productividad animal que separan un

sistema de otro. Ante todo, se debe prestar atención a la simplicidad, a la facilidad del manejo, y al mantenimiento de la productividad de la pastura.

Control de variables: problemas especiales

En un ensayo de pastoreo se considera deseable, con frecuencia, fijar en un nivel relativamente constante todas las variables que sea posible; para lograrlo, se recurre a menudo tanto a un sistema de pastoreo rotacional como a una carga variable. Sin embargo, en un ecosistema determinado en el cual la productividad de un animal depende de las interacciones secuenciales entre algunas o muchas variables, aquel control de variables puede crear problemas relativamente significativos. En los ensayos de pastoreo se espera, normalmente, la aparición de patrones de correlación puesto que los eventos observados están distribuidos ordenadamente en el tiempo. Estos eventos, por su parte, pueden ser difíciles de incluir satisfactoriamente en los modelos de ajuste de los datos, ya sean lineales o no lineales.

Forraje disponible

La situación anterior se visualiza mejor cuando se intenta relacionar la ganancia de peso de los animales con una expresión adecuada del forraje disponible para el pastoreo. La acción en que el animal consume el forraje de una pastura es una función del número de animales, del tamaño y del estado fisiológico de los animales, de su facilidad para 'cosechar' el forraje, de la tasa de digestión, y de la digestión total del forraje; estas variables están influenciadas, a su vez, por el tipo, la edad, y las características químicas y físicas del forraje disponible.

Si la carga animal es continua, la cantidad y la naturaleza del forraje presente en la pastura se hallan en un estado dinámico que sigue, por lo menos, dos direcciones como resultado de fuerzas opuestas. En la primera, los animales en pastoreo reducen la masa total del forraje. Sin embargo, todos los animales presentes en la pastura —suponiendo que todos sean iguales— tienen un interés no dividido por todo el forraje presente, es decir, no sólo por una fracción discreta del total. Ignorando, por el momento, el crecimiento del forraje, la cantidad total de éste disminuye con el pastoreo de tal manera que, con el tiempo, cada animal experimenta un interés no dividido por una menor cantidad total de forraje disponible. El animal individual no está limitado a una fracción discreta del forraje total de donde él pueda seleccionar forraje al azar, sino que tiene acceso a todo el forraje.

El pastoreo continuo puede causar una disminución persistente del forraje total disponible para el pastoreo. Sin embargo, casi simultáneamente ocurre

un fenómeno opuesto, cual es el crecimiento de la pastura que sirve para suplir nuevas existencias de forraje disponible. Si el nuevo crecimiento es igual a la tasa de remoción de forraje o la supera, el forraje disponible total puede mantenerse constante o aumentar.

La dificultad para recolectar datos suficientes y para expresar matemáticamente la dinámica de la pastura persuaden al investigador a aceptar —quizás sin otra alternativa— valores estáticos como descriptores de los atributos de la pastura. Además, debido a que se requiere un tiempo mínimo finito para medir respuestas animales importantes —como consumo o componentes del consumo, digestión, ganancia de peso, producción de leche— en función de las características de la pastura, se utilizan promedios de dichos atributos para describir la pastura. Así, para cuantificar los atributos de la pastura en el período de tiempo en cuestión se utilizan, p. ej.: el promedio del forraje disponible; el contenido, en promedio, de proteína, de fibra o de minerales; y el promedio de la digestibilidad del forraje.

No siempre se puede hacer con precisión la estimación del forraje disponible bajo pastoreo continuo; así p. ej., es difícil establecer relaciones entre la respuesta animal y el forraje disponible por unidad de área. Por ello, Spedding et al. (1966) indicaron que relaciones importantes como éstas podrían establecerse con mayor precisión mediante del uso del pastoreo rotacional.

Ración de forraje

El concepto de ración diaria de forraje, definido por Hodgson (1979) como el peso de forraje permitido por unidad de peso animal por día, se ha aplicado al estudio de la relación de la respuesta animal en términos del forraje disponible. Este concepto parece apropiado para sistemas de pastoreo rotacional en los que el forraje disponible, en los potreros individuales, se consume rápidamente en intervalos finitos de tiempo. Asimismo, el término de ración diaria de forraje parece aceptable para sistemas en que los potreros son pastoreados durante uno o dos días y se puede ignorar el crecimiento del forraje durante el período de ocupación (Greenhalgh et al., 1966; Combellas y Hodgson, 1979; LeDu et al., 1979).

Jamieson y Hodgson (1979a) hallaron que en el pastoreo en franjas (rotación diaria) de *L. perenne* el consumo de forraje disminuía sustancialmente en la medida en que decrecía la ración de forraje; y ello sin que los animales trataran de aumentar el tiempo de pastoreo. Este efecto indica, probablemente, que el comportamiento de los animales estaba condicionado para recibir diariamente una nueva ración de forraje. En un segundo estudio, Jamieson y Hodgson (1979b) observaron el consumo de forraje de *L. perenne* en pastoreo continuo y vieron que tal consumo se restringió en este sistema porque disminuyó el forraje por unidad de área. En contraste, en el pastoreo

rotacional los terneros intensificaron su tiempo de pastoreo en la medida en que se reducía el forraje disponible, resultado asociado con un menor tamaño del bocado y menor tasa de consumo. En tales condiciones, aumentar el área de la pastura a la cual los animales tienen acceso —o sea, suministrar una ración de forraje más abundante— resultaría en mayor consumo únicamente en el momento en que, al crecer las especies forrajeras en la pastura, se produjera un aumento en la disponibilidad del forraje por unidad de área. Posteriormente, Hodgson (1981) informó que en *L. perenne* el tamaño del bocado y la tasa de consumo fueron más sensibles a las variaciones en la altura del forraje en el pastoreo en franjas que en el continuo; en éste último los cambios ocurridos en la pastura fueron más lentos.

La ración de forraje se determina dividiendo la cantidad de forraje por unidad de área entre el peso vivo animal por unidad de área. Sin embargo, el mismo valor cuantitativo de ración de forraje se puede derivar de una serie de combinaciones de las dos variables. Aunque el término 'ración de forraje' aporta una medida instantánea del equilibrio entre el peso de los animales y el peso del forraje en el sistema, no dice nada sobre la dinámica del forraje o sobre el consumo esperado.

La razón de que no sea posible, en ocasiones, demostrar una correlación significativa entre la respuesta de los animales y el forraje disponible por unidad de área, sería o la ausencia de dicha correlación o que la masa de forraje no se midió con suficiente precisión. Se podría presentar una correlación significativa entre la respuesta animal y la ración de forraje únicamente en virtud de una relación significativa entre el peso vivo, o la carga animal, y la ración de forraje. Por otra parte, podría aparecer una correlación significativa entre la respuesta animal y la ración de forraje únicamente si existiera una buena relación entre esa ración, de un lado, y del otro, el forraje por unidad de área o el peso animal por unidad de área o ambos. Esta discusión ilustra el problema de la autocorrelación y, además, los hallazgos sorprendentes que hace el investigador al tratar de establecer relaciones de causa y efecto.

En los ensayos en que se ha determinado la respuesta animal a la ración de forraje, en el pastoreo en franjas, el forraje por unidad de área ha sido generalmente alto (más de 3000 kg/ha) de tal manera que la ración de forraje se ha controlado, en gran medida, por el peso de los animales. En el pastoreo continuo, en cambio, la masa de forraje disponible es una respuesta al consumo de forraje según lo determine la carga animal o el peso de los animales y, a su vez, el animal responde a la cantidad de forraje disponible o a la altura de la planta, como es de esperarse en un sistema dinámico. Puesto que la ración diaria de forraje implica una porción discreta del forraje total disponible, no describe la naturaleza dinámica de un sistema pastoreado de modo continuo.

Así pues, es esencial prestar cuidadosa atención a los patrones de correlación y al comportamiento de los animales en ensayos de pastoreo para no extraer conclusiones absurdas.

Conclusiones

La decisión de aplicar cargas fijas o variables en un ensayo de pastoreo estará determinada por los objetivos del ensayo, por la variabilidad o estacionalidad en el crecimiento del forraje, y por la duración del período de pastoreo. Se prefiere el empleo de cargas variables cuando se espera un crecimiento del forraje muy fluctuante y un período de pastoreo menor de un año, es decir, un método de pastoreo estacional. Por otro lado, las cargas fijas serán preferibles cuando el pastoreo se realice durante todo el año, cuando el crecimiento del forraje sea poco variable, y cuando su excedente se pueda conservar in situ.

El empleo de uno u otro sistema de pastoreo dependerá de los requerimientos que tengan las plantas deseables en la pastura. Por ejemplo, para que una leguminosa persista en la pastura, es posible que se requiera de un pastoreo rotacional. Si este no es el caso, es poco lo que se puede esperar del pastoreo rotacional en términos de producción animal. La simplicidad del manejo y facilidad de practicarlo son también consideraciones importantes al momento de elegir un sistema de pastoreo.

El sistema de pastoreo, o método de empleo de carga, ha suscitado en algunos ensayos la confusión del efecto de carga en producción animal con otras variables en estudio. Esto ha hecho difícil la interpretación de los resultados y ha llevado incluso a conclusiones ilógicas que, obviamente, deben evitarse.

Referencias

- Ahlgren, H.L.; Rupel, I.W.; Bohstedt, G. y Graul, E.J. 1944. Eight-years results on the effectiveness of fertilization and management in increasing the production of permanent pastures. *J. Amer. Soc. Agron.* 36:301-315.
- Allden, W.G. y Whittaker, I.A. 1970. The determinants of herbage intake by grazing sheep: The interrelationship of factors influencing herbage intake and availability. *Aust. J. Agric. Res.* 21:55-66.
- Archibald, K.A.E.; Campling, R.C. y Holmes, W. 1975. Milk production and herbage intake of dairy cows kept on a leader and follower grazing systems. *Anim. Prod.* 21:147-156.

- Arnold, G.W. y Dudzinski, M.L. 1967. Studies on the diet of grazing animals. II. The effect of physiological status in ewes and pasture availability on herbage intake. Aust. J. Agric. Res. 18:349-359.
- Baker, R.D.; Alvarez, F. y LeDu, Y.L.P. 1981. The effect of herbage allowance upon the herbage intake and performance of suckler cows and calves. Grass and Forage Sci. 36:189-199.
- Blaser, R.E.; Bryant, H.T.; Hammes Jr., R.C.; Boman, R.L.; Fotenot, J.P. y Poland, C.E. 1969. Managing forages for animal production. Virginia Poly. Inst. Res. Div. Bulletin 45.
- ; Johnson, J.T.; McClaugherty, F. y Fotenot, J.P. 1983. Animal production with controlled and fixed stocking and managed stocking rates. Proc. 14th Int. Grassld. Congr. p. 612-615.
- Brown, T.H. 1977. A comparison of continuous grazing and deferred autumn grazing of Merino ewes and lambs at 13 stocking rates. Aust. J. Agric. Res. 28:947-961.
- Brundage, A.L. y Petersen, W.E. 1952. A comparison between daily rotation grazing and continuous grazing. J. Dairy Sci. 35:623-630.
- Bryant, H.T.; Blaser, R.E.; Hammes Jr., R.C. y Hardison, W.A. 1961. Method for increased milk production with rotational grazing. J. Dairy Sci. 35:623-630.
- Burns, J.C.; Mochrie, R.D.; Gross, H.D.; Lucas, H.L. y Teichman, R. 1970. Comparison of set-stocked and put-and-take systems with growing heifers grazing coastal bermudagrass (*Cynodon dactylon* L. Pers.). Proc. 11th Int. Grassld. Congr. p. 904-909.
- Campbell, A.G. 1966. Grazed pasture parameters. J. Agric. Sci. 67:199-221.
- Chacón, E. y Stobbs, T.H. 1976. Influence of progressive defoliation of a grass sward on the eating behaviour of cattle. Aust. J. Agric. Res. 27:709-727.
- Combellas, J. y Hodgson, J. 1979. Herbage intake and milk production by grazing dairy cows. I. The effect of variations in herbage mass and daily herbage allowance in a short-term trial. Grass and Forage Sci. 34:209-214.
- Conrad, B.E.; Holt, E.C. y Ellis, W.C. 1981. Steer performance on Coastal, Callie and other hybrid bermudagrasses. J. Anim. Sci. 53:1188-1192.
- Cowlshaw, S.J. 1969. The carrying capacity of pastures. J. Br. Grassld. Soc. 24:207-214.
- Curl, M.L. y Wilkins, R.J. 1982. Frequency and severity of defoliation of grass and clover by sheep at different stocking rates. Grass and Forage Sci. 37:291-297.
- Davis, R.R. y Pratt, A.D. 1956. Rotational versus continuous grazing with dairy cows. Ohio Agric. Exp. Sta. Bulletin 778.
- , y Bell, D.S. 1957. A comparison of bird's-foot-trefoil-bluegrass and ladino clover-bluegrass for pasture. I. Response of lambs. Agron. J. 49:426-440.

- Edye, L.A.; Williams, W.T. y Winter, W.H. 1978. Seasonal relations between animal gain, pasture production and stocking rate on two tropical grass-legume pastures. *Aust. J. Agric. Res.* 29:103-113.
- Escuder, C.J. 1983. Relation of animal production to stocking rate on cultivated pastures in Cerrados areas of Brazil. *Proc. 14th Int. Grassld. Congr.* p. 738-740.
- FitzGerald, R.D. 1976. Effect of stocking rate, lambing time and pasture management on wool and lamb production on annual subterranean clover pasture. *Aust. J. Agric. Res.* 27:261-275.
- Forbes, T.D.A. 1983. Recent progress in forage production and utilization in Scotland. *Proc. 39th South. Pasture and Forage Crop Improv. Conf.* p. 115-124.
- Fuelleman, R.F.; Burlison, W.L. y Kammlade, W.G. 1948. Methods of management of a brome-grass-alfalfa mixture. *J. Ani. Sci.* 7:100-109.
- Greenhalgh, J.F.D.; Reid, G.W.; Aitken, J.M. y Florence, E. 1966. The effects of grazing intensity on herbage consumption and animal production. I. Short-term effects in strip-grazed dairy cows. *J. Agric. Sci.* 86:355-365.
- Heinemann, W.W. 1970. Continuous and rotation grazing by steers on irrigated pastures. *Washington Agric. Exp. Sta. Bulletin* 724.
- Hodgson, J. 1966. Frequency of defoliation of individual tillers in a set-stocked sward. *J. Br. Grassld. Soc.* 21:258-263.
- . Tayler, J.C. y Lonsdale, C.R. 1971. The relationship between intensity of grazing and the herbage consumption and growth of calves. *J. Br. Grassld. Soc.* 26:231-237.
- . 1979. Nomenclature and definitions in grazing studies. *Grass and Forage Sci.* 34:11-18.
- . 1981. Variations in the surface characteristics of the sward and the short-term rate of herbage intake by calves and lambs. *Grass and Forage Sci.* 36:49-57.
- Holdaway, C.W. y Pratt, A.D. 1933. Progress report of pasture fertilization at the Virginia Agricultural Experiment Station. *J. Dairy Sci.* 16:95-99.
- Hull, J.L.; Meyer, J.H. y Raguse, C.A. 1967. Rotation and continuous grazing on irrigated pastures using beef steers. *J. Anim. Sci.* 26:1160-1164.
- ; Raguse, C.A. y Hendersen, W.D. 1971. Further studies on continuous and rotational grazing of irrigated pasture by yearling beef steers and heifers. *J. Anim. Sci.* 32:984-988.
- Hunt, R.E.; Kincaid, C.M. y Litton, G.W. 1958. Rotational versus continuous grazing of cattle, sheep and horses. *Virginia Agric. Exp. Sta. Bulletin* 495.
- Ivins, J.D.; Dilnot, J. y Davison, J. 1958. The interpretation of data of grassland evaluation in relation to the varying potential outputs of grassland and livestock. *J. Br. Grassld. Soc.* 13:23-28.

- Jamieson, W.W. y Hodgson, J. 1979a. The effect of daily herbage allowance and sward characteristics upon the ingestive behavior and herbage intake of calves under strip-grazing management. *Grass and Forage Sci.* 34:261-271.
- , y ———. 1979b. The effects of variation in sward characteristics upon the ingestive behavior and herbage intake of calves and lambs under a continuous stocking management. *Grass and Forage Sci.* 34:273-282.
- Johnston-Wallace, D.B. y Kennedy, K. 1944. Grazing management practices and their relationship to the behaviour and grazing habits of cattle. *J. Agric. Sci.* 34:190-197.
- Jones, R.J. y Sandland, R.L. 1974. The relation between animal gain and stocking rate; derivation of the relation from the results of grazing trials. *J. Agric. Sci.* 83:335-342.
- . 1981. Interpreting fixed stocking rate experiments. En: Wheeler, J.L. y Mochrie, R.D. (eds.). *Forage evaluation: Concepts and techniques.* AFGC/CSIRO, Melbourne, Australia. p. 419-430.
- LeDu, Y.L.P.; Baker, R.D. y Barker, J.M. 1979. Herbage intake and milk production by grazing dairy cows. II. The effects of level of winter feeding and daily herbage allowance. *Grass and Forage Sci.* 34:249-260.
- Lucas, H.L. 1964. Stochastic models in biological models; their sources and significance. En: Gurland, J. (ed.). *Models in medicine and biology.* Univ. Wisconsin Press, Madison, WI. E.U. p. 355-383.
- Marten, G.C. y Jordan, R.M. 1972. Put-and-take vs. fixed stocking for defining three grazing levels by lambs of alfalfa-orchardgrass. *Agron. J.* 64:69-72.
- Matches, A.G. y Mott, G.O. 1975. Estimating the parameters associated with grazing systems. En: Reid, R.L. (ed.). *Proc. 3rd World Conf. Anim. Prod.* University Press, Sidney, Australia. p. 203-208.
- Mayton, E.L.; Grimes, J.C. y Rogers, H.T. 1947. Effect of grazing management on beef gains from white clover-grass pastures in Central Alabama. *J. Amer. Soc. Agron.* 39:584-595.
- McElvain, E.H. y Savage, D.A. 1951. Eight year comparisons of continuous and rotational grazing on Southern Plains Experimental Range. *J. Range Manage.* 4:42-47.
- McMeekan, C.P. y Walske, M.J. 1964. The interrelationship of grazing method and stocking rate in the efficiency of pasture utilization by dairy cattle. *J. Agric. Sci.* 61:147-163.
- Mears, P.T. y Humphreys, L.R. 1974. Nitrogen response and stocking rate of *Pennisetum clandestinum* pastures. I. Pasture nitrogen requirement and concentration, distribution of dry matter, and botanical composition. *J. Agric. Sci.* 83:451-467.
- Morris, R.M. 1969. The pattern of grazing in continuously grazed swards. *J. Br. Grassld. Soc.* 24:65-70.

- Mott, G.O. 1960. Grazing pressure and the measurement of pasture production. Proc. 8th Int. Grassld. Congr. p. 606-611.
- . y Lucas, H.L. 1952. The design, conduct, and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures. Proc. 6th. Int. Grassld. Cong. p. 1380-1385.
- . 1984. Relationship of available forage and animal performance in tropical grazing systems. Proc. Amer. Forage and Grassld. Coun. Conf. p. 373-377.
- Peterson, R.G.; Lucas, H.L. y Mott, G.O. 1965. Relationship between rate of stocking and per acre performance on pasture. *Agron. J.* 57:27-30.
- Pieper, R.; Cook, W. y Harris, L.E. 1959. Effect of intensity of grazing upon nutritional content of the diet. *J. Anim. Sci.* 18:1031-1037.
- Riewe, M.G.; Smith, J.C.; Hold, E.C. y Jones, J.H. 1959. Systems of grazing dallisgrass-white clover pastures. *Texas Agric. Exp. Sta.* PR-2115.
- . 1961. Use of the relationship of stocking rate to gain of cattle in an experimental design for grazing trials. *Agron. J.* 53:309-313.
- . 1965. An experimental design for grazing trials using the relationship of stocking rate to animal gain. Proc. 9th Int. Grassld. Congr. p. 1507-1510.
- . 1976. Principles of grazing management. En: *Grasses and legumes in Texas.* Texas Agric. Exp. Sta. Research monograph 6C. p. 170-206.
- . 1981a. Expected animal response to certain grazing strategies. En: Wheeler, J.L. y Mochrie, R.D. (eds.). *Forage evaluation: Concepts and techniques.* AFGC/CSIRO, Melbourne, Australia. p. 341-355.
- . 1981b. The economics of grazing. En: J.L. Wheeler and R.D. Mochrie (eds.). *Forage evaluation: Concepts and techniques.* AFGC/CSIRO, Melbourne, Australia. p. 517-526.
- Rowe, B.A. 1982. A relation between wool production per animal and annual pasture dry matter production per animal. *Aust. J. Agric. Res.* 33:705-709.
- Sandland, R.L. y Jones, R.J. 1975. The relation between animal gain and stocking rate in grazing trials: An examination of published theoretical models. *J. Agric. Sci.* 85:123-128.
- Smith, J.H. 1956. Some early advocates of rotational grazing. *J. Br. Grassld. Soc.* 11:199-202.
- Spedding, C.R.W.; Large, R.V. y Kydd, D.D. 1966. The evaluation of herbage species by grazing animals. Proc. 10th Int. Grassld. Congr. p. 479-483.
- Stobbs, T.H. 1973a. The effect of plant structure on the intake of tropical pastures. I. Variation in the bite size of grazing cattle. *Aust. J. Agric. Res.* 24:809-819.
- . 1973b. The effect of plant structure on the intake of tropical pastures. II. Differences in sward structure, nutritive value and bite size of animals grazing

- Setaria anceps* and *Chloris gayana* at various stages of growth. Aust. J. Agric. Res. 24:821-829.
- . 1975. The effect of plant structure on the intake of tropical pasture. III. Influence of fertilizer nitrogen on the size of bite harvested by Jersey cows grazing *Setaria anceps* cv. Kanzungula swards. Aust. J. Agric. Res. 26:997-1007.
- Taylor, J.C. 1966. Relationship between the herbage consumed or carcass energy increment of grazing beef cattle and the quantity of herbage on offer. Proc. 10th Int. Grassld. Congr. p. 463-470.
- Watson, S.E. y Whiteman, P.C. 1981. Grazing studies on the Guadalcanal Plains, Solomon Islands. II. Effects of pasture mixtures and stocking rate on animal production and pasture components. J. Agric. Sci. (Cambridge) 97:353-364.
- Wheeler, J.L. 1962. Experimentation in grazing management. Herb. Abstr. 32:1-7.
- ; Burns, J.C.; Mochrie, R.D. y Gross, H.D. 1973. The choice of mixed or variable stocking rates in grazing experiments. Exp. Agric. 9:289-302.
- Willoughby, W.M. 1959. Limitations to animal production by season fluctuations in pasture and management procedures. Aust. J. Agric. Res. 10:248-268.

Sistemas de manejo flexible para evaluar germoplasma bajo pastoreo: una propuesta

James M. Spain*

José M. Pereira**

Introducción

Durante los últimos años, varios investigadores han estado buscando alternativas a la metodología tradicional empleada para evaluar el germoplasma forrajero tropical desde el ángulo del comportamiento animal. Básicamente, esos autores han hallado que la metodología tradicional no reconoce la dinámica de las asociaciones de gramíneas y leguminosas bajo pastoreo, en el trópico húmedo. Varios factores contribuyen a ese desconocimiento, entre otros el comportamiento del animal y su crecimiento a lo largo del tiempo, el desarrollo de la pastura, y las interacciones entre las especies de la asociación, los eventos climáticos y bióticos, y los accidentes como el fuego no controlado.

Tomando como base ciertos factores o eventos —algunos predecibles, otros no predecibles— se discute en este trabajo una metodología de evaluación de pasturas que incluya el manejo flexible como alternativa para las pruebas de pastoreo de tipo D en ensayos regionales.

Eventos o variaciones ambientales de la pastura

Los eventos o variaciones del medio que más influyen en el comportamiento de una pastura, llegando hasta reclamar el ajuste de su manejo, son los siguientes:

* Edafólogo, Programa de Pastos Tropicales, CIAT, Carimagua, Colombia.

** Zootecnista, Div. de Zootecnia, CEPLAC, Bahía, Brasil.

Predecibles

a. Etapa de desarrollo:

- Etapa posterior al establecimiento, durante la cual la capacidad de carga va, generalmente, en aumento.
- Etapa estable de producción, en que la capacidad de carga debe mantenerse durante varios años.
- Etapa en que, por diversos factores, la pastura comienza a perder su capacidad de carga y su eficiencia en el reciclaje de nutrimentos.

b. Variaciones estacionales:

- Precipitación.
- Temperatura.
- Plagas y enfermedades.

c. Acumulación y degradación cíclica de la fertilidad:

Se refiere, de manera especial, a la materia orgánica y al nitrógeno proveniente de la leguminosa.

No predecibles

a. Eventos climáticos:

- Lluvia excesiva.
- Lluvias o sequía fuera de la estación del año, especialmente los veranillos ocurridos durante la época de lluvias.

b. Eventos bióticos:

- *Ataque de insectos*. Afectan normalmente las especies forrajeras asociadas pero de modo diferencial.
- *Enfermedades*. Ataque diferencial a la asociación, como ocurre con los insectos.

c. Fuego no controlado. Evento accidental.

Es posible planear una investigación tomando en cuenta las variaciones y los eventos predecibles (ajuste estacional de la carga, pastoreo suave al principio del ciclo, y otros). Por otro lado, es muy difícil diseñar un experimento para los eventos y las variaciones no predecibles; éstos pueden tener

implicaciones grandes en cuanto al manejo adecuado de la pastura, a no ser que los ajustes necesarios se hayan previsto desde el principio. La lluvia o la sequía fuera de la estación climática ejercen un fuerte efecto en la disponibilidad del forraje y en la capacidad de carga de la pastura. Se pueden presentar también eventos bióticos que ejerzan un efecto negativo en esa capacidad de carga. Algunas plagas y enfermedades importantes se presentan en forma relativamente cíclica, muchas veces difícil de predecir. Por último, el fuego accidental afecta, generalmente, más a las leguminosas que a las gramíneas.

Frente a una dinámica tan compleja, el productor debe ser flexible en su manejo de las pasturas para asegurar la mayor producción animal posible pero consistente con un grado aceptable de persistencia y estabilidad de las especies de la pradera. Las herramientas principales de manejo de la pastura son:

- la selección de *especies* adaptadas al medio;
- el mantenimiento de una *fertilidad* adecuada;
- la selección y ajuste de *cargas*; y
- los sistemas de *pastoreo* que se emplearán.

Los dos últimos factores son de interés especial en el presente trabajo.

Carga y sistema de pastoreo: sus efectos en la pastura

Se describe aquí, mediante una *revisión de literatura*, el modo como tanto la carga animal y los diferentes sistemas de pastoreo modifican la composición botánica y la productividad de una pastura.

Carga animal

La influencia que ejerce la carga animal en la oferta y en la utilización del forraje disponible y, consecuentemente, en la producción animal y en la persistencia de la pastura, está ampliamente documentada en la literatura. En asociaciones de gramíneas y leguminosas, ese efecto es especialmente relevante debido al papel decisivo que desempeña el balance entre esos dos componentes de la pastura en la producción de animales en sistemas de pastoreo.

En un estudio de cargas realizado en pasturas de *Setaria anceps* cv. Nandi asociada con *Desmodium intortum* o con *Macroptilium atropurpureum* cv. Siratro, Jones (1979) encontró que el rendimiento de la leguminosa y su

contribución al forraje total disponible disminuían al incrementar la carga animal. Un trabajo hecho en CSIRO (Roberts, 1979) en Sanford, Australia, reveló que en una pastura de *Setaria sphacelata* más *D. intortum* la participación de la leguminosa disminuyó de 50 a 6% con el aumento de 1.1 a 2.9 cabezas/ha; hubo una correlación estrecha entre la producción por animal y por hectárea, de un lado, y el porcentaje de leguminosa en la pastura, del otro. Resultados semejantes obtuvieron Evans y Brijair (1973) quienes comprobaron que las ganancias por hectárea estaban relacionadas con el nivel de fertilización fosfórica. Los autores de este trabajo mostraron, a su vez, que tanto la cantidad como la calidad del forraje en oferta son factores determinantes de la producción animal.

Sin embargo, las alteraciones ocurridas en la carga animal no siempre tienen el mismo efecto en el balance gramínea-leguminosa. Austin, citado por Evans (1976), verificó, p.e.j., que en una asociación de *Urochloa mosambicensis* con *Stylosanthes humilis* el porcentaje de leguminosa aumentó de 8 a 75% cuando la carga animal pasó de 0.8 a 2.5 cabezas/ha. Stobbs (1969a, 1969b) trabajó en Uganda con pasturas de *Hyparrhenia rufa* y *Panicum maximum* asociados con *M. atropurpureum* y *S. humilis*, respectivamente, y halló la misma tendencia, es decir, mayor participación de las leguminosas en la asociación cuando aumentaba la carga. Se determinó además, en estos estudios, que el pastoreo intensivo durante las estaciones seca y lluviosa elevó la producción animal sin causar daños excesivos a la pastura.

Las experiencias adquiridas señalan que el efecto de la carga animal en el balance gramínea-leguminosa es bastante variable y que está relacionado con factores bióticos y edáficos. De ellos, la compatibilidad entre los componentes de la asociación y la estacionalidad de la producción son los que más influyen en la tolerancia de las especies asociadas a las variaciones de carga (Stobbs, 1969a; Roberts, 1974). Según Roberts (1979) las leguminosas estoloníferas son más tolerantes a las cargas altas que las volubles o arbustivas.

Conforme a la revisión de Wheeler et al. (1973), en la cual se compararon las metodologías de evaluación de pasturas aplicando cargas fijas o ajustables, el uso de diseños que permitan flexibilidad en el ajuste de cargas entre las estaciones del año, y dentro de ellas, parece muy recomendable, en especial cuando se trata de pasturas asociadas. Los resultados presentados por Edye et al. (1978) corroboran esa suposición: existe un efecto estacional acentuado en la relación *carga-desempeño animal* a lo largo de tres años de utilización de una pastura asociada. Por su parte, Campbell (1966) llama la atención hacia los efectos del forraje residual de una pastura, de un año para otro, en especial si se usan cargas fijas; éstas usualmente dificultan los ajustes que mantienen el balance óptimo entre la carga animal y el estado de máxima eficiencia de la pastura dedicada a la producción de leche.

Dada la complejidad de los diversos factores que interactúan para establecer el balance gramínea-leguminosa bajo condiciones de pastoreo, y considerados los diferentes y variados efectos que la carga animal ejerce en ese equilibrio, parecería que algún sistema de cargas ajustables es el más recomendable para incluir asociaciones.

Sistemas de pastoreo

Son escasos los estudios sobre el efecto de los diferentes sistemas de pastoreo en el balance gramínea-leguminosa, especialmente los referentes a las especies tropicales. Sin embargo, algunos investigadores señalan la necesidad de adoptar sistemas y cargas compatibles con la naturaleza de las asociaciones en uso y con las variaciones climáticas del ecosistema en cuestión. Roberts (1979) recomendó una estrategia de manejo de pasturas que permite elegir entre dos opciones:

- Pastoreo rotacional con largos períodos de descanso que permitan la madurez de la gramínea, haciéndola relativamente menos palatable que la leguminosa.
- Sistema de pastoreo intensivo en el cual el animal consume más la gramínea, favoreciendo así la leguminosa.

La interacción que pueda existir entre carga y sistema de pastoreo se esclarece con los resultados obtenidos por Jones (1979), quien observó mayor producción de *M. atropurpureum* cuando adoptó un sistema de pastoreo con una frecuencia de nueve semanas, a diferencia de la frecuencia usual de tres semanas, y mantuvo una carga animal alta. Por otro lado, Abrames et al. (1983) encontraron que en la asociación de *Setaria anceps* y *Galactia striata* la participación de la leguminosa disminuyó de 13.7 a 2.2% cuando el período de descanso aumentó de 14 a 28 días, manteniendo siempre la misma presión de pastoreo. Stobbs (1969b) comparó el sistema de pastoreo rotacional con el continuo en pasturas de *P. maximum* con *M. atropurpureum* y observó que el contenido de leguminosa de la pradera era más alto en el pastoreo continuo.

Los resultados que han sido revisados son frecuentemente contradictorios. Sin embargo, en la mayoría de los casos los períodos más largos de descanso benefician, aparentemente, a la gramínea, con tal que se mantenga la misma carga animal; en la proporción en que se reduzca el período de descanso, y el sistema tienda al pastoreo continuo, se beneficia la leguminosa. Ese comportamiento podría variar de un ecosistema a otro. Spain (1980) ha presentado la hipótesis de que un factor muy importante en la persistencia de ciertas especies forrajeras es la estabilidad estructural del suelo, siendo los suelos de tipos Oxisol y Ultisol los más estables.

Tergas (1982) menciona la necesidad de realizar trabajos de investigación de largo plazo en los ecosistemas del trópico húmedo, y que en aquéllos se prueben diferentes sistemas de pastoreo y leguminosas agresivas. Por lo regular, en estos ecosistemas más húmedos los animales prefieren las gramíneas durante todo el año por la ausencia de períodos secos bien definidos. Se ha observado en el sur de Bahía, Brasil, que los animales sometidos a pastoreo continuo tienden a buscar la leguminosa solamente cuando la gramínea está sobrepastoreada.¹ Existe la necesidad urgente de definir alternativas de pastoreo para esos ecosistemas con el fin de que se aproveche al máximo el potencial de las leguminosas adaptadas.

Limitaciones de la metodología tradicional

Diseños basados en cargas fijas y con un solo sistema de pastoreo

Los recursos normalmente disponibles en las estaciones experimentales permiten el uso de un solo sistema de pastoreo con dos o tres cargas, manteniendo ambos factores constantes para todas las asociaciones que se ensayan. Según este esquema, una asociación que en las etapas iniciales de evaluación bajo pastoreo haya indicado que funciona bien bajo pastoreo rotacional podría ser evaluada en las etapas finales bajo pastoreo continuo o viceversa. Si así ocurriera, es probable que esa asociación sea inestable especialmente bajo las cargas más altas, lo que resultaría en una subestimación de su potencial; en consecuencia, sería descartada fácilmente debido a su baja productividad o a su falta de estabilidad o a ambas deficiencias.

Otro limitante crítico de este tipo de metodología es su rigidez, que no reconoce la dinámica de las pasturas ni de los ecosistemas en que éstas se evaluán, y tampoco puede responder a ella. Esta limitación da pie a conclusiones erróneas debido a los efectos residuales o acumulativos —o a unos y otros— de los períodos de manejo subóptimo. Por ejemplo, un solo período de sequía severa, cuya probabilidad de ocurrencia sea baja, puede alterar en forma desproporcionada el resultado de un experimento de largo plazo, a causa del sobrepastoreo eventual de las pasturas; éstas, en otras circunstancias, habrían arrojado excelentes resultados. El efecto residual de un solo período de estrés ambiental podría conducir a una fuerte subestimación del potencial de la asociación. Algunas especies son mucho más susceptibles al mal manejo que otras; además, los efectos de los períodos de estrés ambiental pueden ser irreversibles o pueden persistir muchos años en pasturas formadas por especies menos estables y poco persistentes.

1. Pereira, J. M., et al. Datos no publicados.

Diseños con varias cargas y con dos o más sistemas de pastoreo

Cuando los recursos lo permitan, en los experimentos de pastoreo se pueden combinar cargas y sistemas de pastoreo en forma factorial para estudiar así los efectos sencillos y las interacciones. Este tipo de estudio es básico, pero requiere muchos recursos; en él, además, el manejo de cada tratamiento es también predefinido e inflexible. Por consiguiente, estos diseños están sujetos al mismo problema de los anteriores es decir, al efecto acumulativo de los periodos de manejo subóptimo debido a eventos no predecibles.

Las hipótesis de trabajo

Como base para el desarrollo de una metodología alternativa, se han formulado las siguientes hipótesis:

1. En un ecosistema dado, el manejo óptimo puede ser diferente para distintas asociaciones.
2. Una especie dada puede requerir manejos distintos en diferentes asociaciones.
3. Una asociación dada puede requerir manejos distintos en diferentes ecosistemas.
4. La selectividad en el pastoreo es una función de numerosos factores, incluyendo el sistema de pastoreo empleado, ya que puede afectar intensamente el balance que existe entre las especies forrajeras en la mayoría de las praderas tropicales.
5. En general, el pastoreo continuo favorece a la leguminosa mientras que el pastoreo diferido favorece a la gramínea en la mayor parte de las asociaciones tropicales (Spain, 1980).
6. El efecto del pisoteo sobre los pastos es mínimo en los suelos que son estructuralmente estables, a condición de que se mantenga un cubrimiento adecuado del suelo.

La propuesta

Se propone en este trabajo que el manejo de cada asociación sea flexible. Las cargas y los sistemas de pastoreo se ajustarán según dos parámetros, que se medirán o estimarán en las praderas:

La carga se ajustaría cuando la *presión de pastoreo* llegue a límites preestablecidos. A manera de ejemplo, podríamos fijar, como límites, presiones de pastoreo de 3 y 6 kg/100 kg de peso vivo por día fundadas en la disponibilidad de materia verde en base seca. Cuando la pradera alcance alguno de los límites, se ajustaría la carga para mantener la presión dentro del rango preestablecido.

Se prevé que los ajustes de carga no serán muy frecuentes ya que la experiencia, hasta ahora, ha indicado que son ajustes esencialmente estacionales.

- El *sistema de pastoreo* empleado se cambiaría en función del balance *leguminosa/gramínea*. Por ejemplo, podríamos fijar como límites dos porcentajes de leguminosa en la asociación: 15 y 50%; cuando la leguminosa llegue al límite superior, el período de descanso se prolongaría y cuando el porcentaje de leguminosa llegue a su mínimo, el período de descanso se acortaría.

En la Figura 1 se presenta, en forma esquemática, la estrategia que debe seguirse en el ajuste de cargas y de sistema de pastoreo para mantener la oferta de forraje y el balance entre leguminosa y gramínea dentro del 'esquema' de buen manejo.

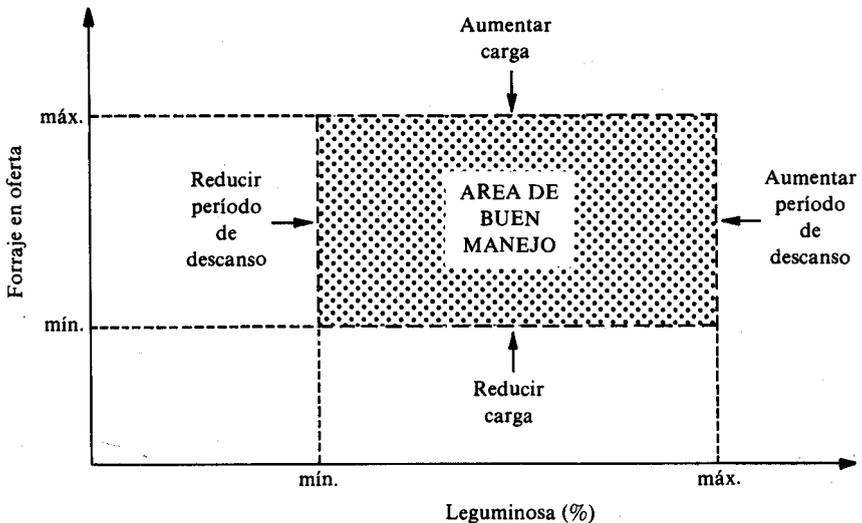


Figura 1. Una presentación esquemática del manejo requerido para mantener la mayoría de las asociaciones de gramíneas y leguminosas tropicales en condiciones de buen manejo.

El diseño de campo

La Figura 2 muestra el diseño de campo utilizado en Carimagua para probar la metodología propuesta; tiene dos repeticiones, con cinco asociaciones en bloques asignados completamente al azar. Un grupo de animales por repetición, alternando entre las dos divisiones, pastorea cada asociación. Las cargas y los sistemas de pastoreo iniciales se basarán en la experiencia adquirida en el manejo de las especies en el ecosistema o de la información obtenida en los ensayos regionales de pastoreo en pequeñas parcelas (ERC). Obviamente, el número de repeticiones agronómicas podría aumentar, si fuere necesario.

En la Figura 3 se indica el modo de incluir dentro de la prueba, en subparcelas pequeñas, otros ecotipos promisorios de una de las especies de la asociación. Se recomienda no sobrepasar el 10% del área total dedicada a las parcelas pequeñas para no afectar el comportamiento animal; esta recomendación supone que es grande la diferencia entre los ecotipos incluidos en pequeñas parcelas y el ecotipo elegido para el resto del potrero. La especie 'asociante' estaría contenida en las parcelas pequeñas al igual que en el resto del potrero.

D1		D2	
E		A	
D		B	
C		D	
A		E	
B		C	

Asociaciones:

- A = *Andropogon gayanus* x *Centrosema macrocarpum*
- B = *Andropogon gayanus* x *Centrosema* sp.
- C = *Andropogon gayanus* x *Stylosanthes macrocephala*
- D = *Brachiaria brizantha* x *Arachis pintoii*
- E = *Brachiaria dictyoneura* x *Arachis pintoii*

Figura 2. Diseño de campo para una evaluación de germoplasma forrajero bajo pastoreo con manejo flexible, en Carimagua, Colombia. Los animales pastorean en forma alterna las dos divisiones (D1 y D2) de cada potrero. Área total del potrero: 7.5 ha.

Asociación A

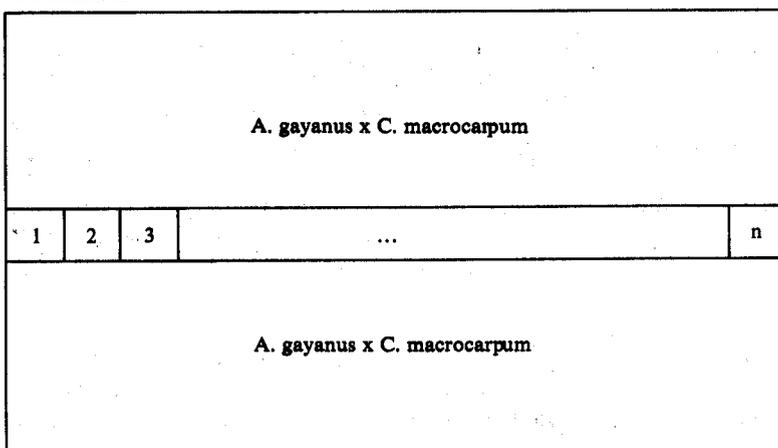


Figura 3. La forma en que se prueban diferentes ecotipos de especies forrajeras en asociación, en el ensayo de manejo flexible en Carimagua. En la asociación A (ver Fig. 2) hay parcelas (1, 2, 3, ... n) que contienen otros ecotipos de C. macrocarpum acompañados por el mismo A. gayanus de la asociación; las parcelas se exponen al pastoreo común del resto del potrero.

Ventajas potenciales del sistema propuesto

- El manejo flexible reconoce la dinámica a corto y a largo plazo de cada asociación y del ecosistema en que ésta se estudia, y puede responder a ella.
- El sistema se ajusta por sí mismo mediante la retroalimentación que, proveniente de las pasturas, se expresa como cambios en los parámetros básicos.
- El sistema flexible es similar, en muchos aspectos, al manejo comercial de las pasturas que casi siempre es elástico; de este modo asegura una producción adecuada y además consistente con una persistencia y un balance aceptables de la asociación.
- El uso de sistemas flexibles obligaría a definir el *buen manejo* en términos prácticos —es decir, como parámetros observables— que servirían de base para las recomendaciones futuras a los productores.
- El sistema propuesto es eficiente respecto a la tierra, a los animales, al personal y al tiempo requerido para seleccionar germoplasma útil en un ecosistema dado; a la vez, permite no sólo determinar el manejo reque-

rido —para lograr la persistencia de las especies asociadas y su balance— sino también estimar el potencial de éstas en términos de producción animal.

- En tanto que el manejo esté definido sólo en términos de los parámetros de la pastura, la información resultante se podrá extrapolar más en el espacio y en el tiempo.

Estado actual de la evaluación de la metodología

Un experimento prototipo fue establecido a finales de 1983 en la Estación Experimental Gregorio Bondar (EGREB) cerca a Barrolandia, en el sur de Bahía, y ha estado bajo pastoreo desde finales de marzo de 1984. El experimento consiste en dos potreros de *Brachiaria humidicola* y *Pueraria phaseoloides* de 0.67 ha cada uno, pastoreados por un grupo de animales (cinco hasta la fecha) en forma alterna, con 21 días de pastoreo y 21 días de descanso. El pastoreo ha requerido un ajuste (octubre de 1984) para impedir la dominancia de la leguminosa que ha superado el 50% del forraje en oferta. Además, se está tratando de establecer, como límites, de 20 a 40% de leguminosa permitida, debido a la agresividad de ésta y a su relativamente baja palatabilidad en el ecosistema.

También en EGREB se atiende otro experimento, localizado frente al prototipo antes mencionado, para evaluar el mismo germoplasma utilizando un diseño tradicional con tres cargas y dos sistemas de pastoreo. Por tanto, se podrán comparar los resultados de las dos metodologías.

Otro experimento, recién establecido en Carimagua, inició el pastoreo en mayo de 1985 (CIAT, 1985). Se prueban en él cinco asociaciones de *A. gayanus*: unas con *S. macrocephala*, y otras con *Centrosema* sp. y con *C. macrocarpum*. También se prueba allí a *Arachis pintoi* en asociación con *B. brizantha* y con *B. dictyoneura*. El experimento tiene dos repeticiones, cada una de tamaño suficiente (7500 m²) que permita dividirla en dos y manejar cada asociación con dos grupos de animales; se empieza con tres animales por grupo, lo que da un total de seis animales por asociación. Las asociaciones están distribuidas en el campo en bloques asignados completamente al azar. Como en Bahía, Brasil, el experimento está ubicado frente a otro en que se estudia a *A. gayanus* asociado con *S. macrocephala* y con dos especies de *Centrosema*, utilizando un diseño tradicional con tres cargas y con dos sistemas de pastoreo para la carga alta.

Referencias

- Abrames, P.L.G.; Meirelles, N.M.F. y Bianchini, D. 1983. Efeito de tres sistemas de manejo na consorciação *Setaria Kazungula-Galactia*. Zootecnia 21(2):89-108.
- Campbell, A.G. 1966. Grazed pastures parameters. I. Pasture dry-matter production and availability in a stocking rate and grazing management experiment with dairy cows. J. Agric. Sci. (Cambridge) 67:199-210.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1985. Pasture development in Carimagua. En: CIAT, Tropical Pastures Program Annual Report, 1984. Cali, Colombia.
- Edye, L.A.; Williams, W.T. y Winter, W.H. 1978. Seasonal relations between animal gain, pasture production and stocking rate on two tropical grass-legume pastures. Aust. J. Agric. Res. 29:103-113.
- Evans, T.R. y Bryan, W.W. 1973. Effects of soils, fertilizers and stocking rates on pastures and beef production on the wallum of south-eastern Queensland. II. Liveweight change and beef production. Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb. 13:530-536.
- y ———. 1976. The establishment and management of tropical pastures for beef production. En: Seminario Internacional de Ganadería Tropical. Aca-pulco, México. p. 51-85.
- Jones, R.M. 1979. Effect of stocking rate and grazing frequency on a Siratro (*Macropitium atropurpureum*)/*Setaria anceps* cv. Nandi pasture. Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb. 19:318-324.
- Roberts, C.R. 1974. Some problems of establishment and management of legume-based tropical pastures. Trop. Grassld. 8(1):61-67.
- . 1979. Grazing management of tall tropical legume based pastures. En: Australian Society of Animal Production Meeting on tropical Pastures for Beef Production, Murwillumbah, Australia. Memorias. Wollongbar Agricultural Research Centre, Murwillumbah. p. 1-11.
- Spain, J.M. 1980. The effect of grazing management on persistence, stability and productivity of legume-grass associations on well-drained soils in the seasonal humid tropics. Internal document. Tropical Pastures Program, CIAT, Cali, Colombia. 12 p.
- Stobbs, T.H. 1969a. The effect of grazing management upon pasture productivity in Uganda. I. Stocking rate. Trop. Agric. (Trinidad) 46(4):293.
- . 1969b. The effect of grazing management upon pasture productivity in Uganda. II. Grazing frequency. Trop. Agric. (Trinidad) 46(3):195-200.
- . 1969c. The effect of grazing management upon pasture productivity in Uganda. III. Rotational and continuous grazing. Trop. Agric. (Trinidad).

Tergas, L.E. 1982. Efecto del manejo del pastoreo en la utilización de la pradera tropical. En: Paladines, O. y Lascano, C. (eds.). *Germoplasma forrajero bajo pastoreo en pequeñas parcelas; metodologías de evaluación*. CIAT, Cali, Colombia. p. 65-80.

Wheeler, J.L., Burns, J.C., Mochrie, R.D. y Gross, H.D. 1973. The choice of fixed or variable stocking rates in grazing experiments. *Exp. Agric.* 9:289-302.

Mediciones de la respuesta animal en ensayos de pastoreo: ganancia de peso

Oswaldo Paladines*

Resumen

La producción animal que resulta del pastoreo de una pradera es la medida más útil y más ajustada a la realidad que se puede obtener de esa pradera y es, por tanto, la mejor medida del valor de un germoplasma forrajero.

Si bien la producción animal se puede expresar como ganancia de peso, como producción de leche, o como peso de terneros destetados, para fines de evaluación y selección de germoplasma se prefiere medir la ganancia de peso por dos razones: la varianza entre animales es menor, y el manejo experimental de estos animales es más fácil. Se asume que la clasificación por categorías animales obtenida según la ganancia de peso será igual a la que se obtiene según la producción de leche o según el peso de los terneros.

La medida de la ganancia de peso depende de factores genéticos y ambientales que inciden sobre la varianza y que deben ser controlados para que ésta se reduzca a un nivel donde sea posible detectar diferencias empleando un número reducido de animales. Se tendrá cuidado de mantener uniformes la raza, el sexo, la procedencia, el peso inicial y la edad de los animales experimentales; éstos serán, de preferencia, novillos jóvenes después del destete.

Los animales recibirán una preparación preexperimental que incluya un control sanitario y se decidirá de antemano si se utilizarán estimulantes del crecimiento; en caso afirmativo, éstos se aplicarán para todos los tratamientos de germoplasma forrajero. Toda información previa que se pueda obtener

* Profesor, Facultad de Agronomía, Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

debe tenerse en cuenta cuando se distribuyan los animales en los tratamientos. En la práctica, la información previa disponible es escasa.

Se debe decidir con anticipación la metodología que se empleará durante el período experimental. Aquélla comprende los siguientes aspectos: el modo como los animales se distribuirán en los tratamientos —distribución totalmente aleatoria, en bloques, o en grupos similares; la frecuencia del pesaje, que depende a su vez del modo en que se realice el pastoreo: si es continuo se recomiendan pesajes cada 28 días o según múltiplos de cuatro semanas, y si es rotacional se prefiere el tercero o cuarto día después del ingreso de los animales a un potrero o lo más cerca posible a cada lapso de 30 días; la mecánica del pesaje —con ayuno previo o sin él, en un solo día o en varios días consecutivos; la hora y la secuencia en que se hará el pesaje, que deben ser constantes.

En el transcurso de un experimento se pierden con frecuencia animales a causa de enfermedades o accidentes; otros manifiestan un comportamiento (actitud o respuesta) extraño respecto a los demás animales del experimento. Esos animales deben ser remplazados lo antes posible y para hacerlo se mantiene un grupo de animales (3 a 5% del total) similares a los usados en la prueba. Se recomienda hacer, finalmente, los remplazos programados después de períodos fijos de tiempo (a ser posible, cada 12 meses) y en forma simultánea para todos los tratamientos.

El animal como medida de la producción de forraje

La producción primaria de una asociación de especies forrajeras es el resultado de la interacción entre la capacidad genética de crecimiento de esas especies y el medio ambiente. Por tal razón, la evaluación —hecha por cortes en la vegetación— y la consiguiente selección del germoplasma forrajero más productivo, pretenden revelar la capacidad verdadera del germoplasma para crecer en el ambiente específico en que se realiza la investigación.

En etapas posteriores de la evaluación, cuando se integran la asociación y el animal en pastoreo, es posible seleccionar aquel germoplasma capaz de mantener su ritmo de crecimiento aun bajo la acción perturbadora del animal. En la segunda reunión de trabajo de la Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (RIEPT), Paladines y Lascano (1983) discutieron los efectos de la interacción entre el medio ambiente, el pasto, y los animales en pastoreo, e hicieron recomendaciones metodológicas para estudiarlas. La conclusión derivada por Hodgson (1981) de que el corte, como medida de producción del germoplasma forrajero no es una guía válida de su ulterior comportamiento bajo pastoreo, se acepta generalmente, a pesar de que, en ocasiones, no se haya encontrado un efecto específico del pastoreo en esa

producción (Aldrich and Elliot, 1974; Camlin and Stewart, 1975). Estos últimos casos se han referido a especies como *Lolium perenne* y *Trifolium repens* que, morfológicamente, están bien adaptados al pastoreo. Aun cuando el germoplasma sea capaz de mantener su presencia y su productividad bajo pastoreo, no garantiza que los animales consumirán la mezcla de especies forrajeras en cantidades suficientes para sostener una adecuada producción comercial. Por tanto, es necesario medir la producción animal en condiciones de pastoreo, para conocer, con relativa certeza, la capacidad de producción de las nuevas pasturas.

No es posible, con los conocimientos actuales, predecir en forma indirecta la producción animal de una pastura. El problema principal radica en la predicción del consumo animal bajo pastoreo. En algunos casos se ha encontrado correlación entre el consumo o la producción animal —o ambas variables— y la cantidad de materia verde en base seca (MVS) disponible ('t Mannetje, 1974) pero esa correlación (0.73) es aún baja para emplearla con fines de predicción. Por otro lado, cuando se correlacionó la ganancia de peso con la disponibilidad de materia seca (MS), o con el contenido de N, o con la digestibilidad de la materia verde, la relación no fue significativa.

En otros casos, el consumo de forrajes tropicales se ha correlacionado con el contenido de nitrógeno de la *dieta consumida* (Siebert y Hunter, 1977) pero el coeficiente de correlación ($r = 0.83$) no tiene valor de predicción. En el mismo trabajo, la correlación entre el consumo y la digestibilidad de la materia orgánica y entre el consumo y el contenido de la pared celular del forraje fue aún más baja. La correlación entre el consumo de materia orgánica digerible (MOD) y el contenido de N de la dieta consumida ($r = 0.95$) mejoró sensiblemente; Siebert y Hunter (1977) derivaron incluso ecuaciones para predecir la ganancia de peso por día de los novillos partiendo del contenido de N de la dieta ($r = 0.99$). Los valores obtenidos indican la activa participación del N en los procesos que limitan el consumo de las especies forrajeras en el trópico, y son válidos para las praderas de gramínea pura y de gramínea más leguminosa. Desde el punto de vista práctico, y aunque estos datos pudieran generalizarse, no desaparecería la necesidad de obtener muestras del forraje consumido para predecir el consumo o la ganancia de peso, o ambas variables, ya que la correlación entre ganancia de peso y contenido de N del *forraje disponible*, dentro de ciertos límites, no es alta ('t Mannetje, 1974).

Las mediciones de la capacidad productiva de las pasturas tomadas en el animal deben hacerse bajo condiciones tan cercanas como sea posible a aquéllas en que las pasturas serán utilizadas. La selección de la especie y del tipo de animal que debe emplearse es, por ello, importante. Si la pastura se dedica a la producción de leche, deben emplearse vacas lecheras en producción; si la pastura se usa para ganado de carne, será necesario emplear vacas de cría ('t Mannetje et al., 1976).

Algunos autores como Morley y Spedding (1968) opinan que el diseño de las pruebas de pastoreo no sólo debe considerar el tipo de ganado que se utilizará sino también el sistema de producción prevalente en la región. Esta indicación es válida puesto que una misma pradera puede emplearse para muchos propósitos y en muchas combinaciones en un mismo predio, pero se debe reconocer que será imposible probar la nueva pastura en todos los sistemas de producción. Se sugiere, por tanto, que en las pruebas de pastoreo se considere el sistema de producción dentro de un contexto general, teniendo en cuenta sus componentes más importantes (p. ej., lechería, cría, engorde, pradera suplementaria); aunque así se hiciera, al evaluar el germoplasma con un criterio comparativo, como ocurre en las pruebas regionales, es necesario considerar más de dos mezclas o combinaciones de germoplasma forrajero que exigen, por su número, el diseño de experimentos simples y fáciles de establecer y de manejar. En estos casos parece lógico el uso de un tipo de animal fácil de uniformar y de manejar durante la prueba. No sin razón, la gran mayoría de los experimentos de pastoreo han empleado novillos jóvenes en la etapa de crecimiento activo.

El autor no conoce ningún experimento en que se hayan evaluado pasturas con novillos y vacas lecheras simultáneamente, y que permita determinar las interacciones *tipo de animal x germoplasma forrajero*. Sin embargo, parece verosímil esperar que el grado de productividad de las pasturas sea igual para ambos tipos de animales. Hay que recordar, además, que en la práctica ganadera los resultados obtenidos con una pastura mejorada no reflejan necesariamente los obtenidos bajo condiciones experimentales y que, por tanto, estos últimos se deben emplear sólo como una guía útil del *potencial* de producción de una nueva especie o de una mezcla de especies.

Fuentes de variación en el comportamiento animal

En toda población animal, tanto la genética como el ambiente son fuentes de variación que influyen en la capacidad de crecer o de producir de los animales. La genética da como resultado la capacidad de producir que los individuos han heredado, mientras que el ambiente es el resultado de las condiciones climáticas o de las prácticas de manejo a que está sujeto el animal durante su edad productiva. Para el ganado de climas tropicales es muy importante la capacidad heredada por los individuos de adaptarse al medio cálido y húmedo. Parecería que las capacidades heredadas tanto para producir como para adaptarse al medio ambiente trabajaran en direcciones opuestas porque no es posible obtener individuos que sean, al mismo tiempo, altamente productivos y altamente resistentes a las condiciones de un ambiente adverso (Vercoe y Frisch, 1981). La acción peculiar y combinada del genotipo y el

medio se denomina 'interacción genéticoambiental', es decir, un animal no tendrá la misma ubicación, relativamente, en la escala de producción que sus congéneres situados en ambientes diversos.

Variación genética

Desde el punto de vista de los ensayos de pastoreo, lo más importante es utilizar animales cuya capacidad genética para producir sea uniforme, cualidad que permitiría minimizar la varianza de los parámetros de producción que deben medirse. Conviene también seleccionar grupos de animales que posean una capacidad genética de producción elevada para que las diferencias que puedan ocurrir entre los tratamientos sean fácilmente detectables.

Comparando las razas y sus cruces, Frisch y Vercoe (1977) encontraron que las diferencias en ganancia de peso correlacionaban estrechamente con el consumo de forraje; además, el consumo de forraje fue mayor en las razas europeas cuando los animales permanecieron en un ambiente libre de estrés climático o sanitario. Sin embargo, en el clima tropical del Norte de Queensland (Australia) la distribución de la ganancia de peso resultó diferente para las razas y sus cruces, con ventajas comparativas, en este caso, para los cruces de ganado europeo con Brahman (Vercoe y Frisch, 1981). La diferencia en el comportamiento de las razas en los dos ambientes se relacionó con la presencia de los siguientes limitantes del crecimiento de los animales: garrapatas, parásitos internos, calor, fluctuaciones en la nutrición, y querato-conjuntivitis (Frisch, 1976); todos ellos predominan en las condiciones de pastoreo del trópico.

En suma, aun si las razas europeas y las razas indias se comportaran de igual manera en condiciones de medio ambiente controlado (Preston y Willis, 1970; Frisch y Vercoe, 1977), se ha demostrado muy bien que en condiciones de pastoreo en el trópico (ambiente no controlado) el ganado indio y sus cruces con ganado europeo exhiben un mejor comportamiento productivo. Esta superioridad se manifiesta, además, en la predominancia de estos animales en el trópico.

La solución práctica al interrogante sobre el tipo o raza de ganado que se empleará en las pruebas de pastoreo es ésta: utilizar los animales que predominan en la zona. Conviene recordar, además, que el énfasis, en estas pruebas de pastoreo, recae en la comparación del rendimiento animal obtenido en una u otra pastura experimental; es entonces necesario emplear animales con un potencial genético de producción suficiente para detectar diferencias entre las pasturas ('t Mannelje et al., 1976).

Es necesario también tener en mente que con estas pruebas de pastoreo se pretende, de un lado, cuantificar la producción potencial de la nueva pastura

con la intención de extrapolar resultados, y de otro, determinar *ex ante* la factibilidad de su uso (Paladines, 1983). Por ello, si en la prueba se emplean animales de capacidad de producción muy superior a la de los locales, la productividad estimada de la pastura, dentro de los sistemas de producción, puede ser errónea. Esta situación se comprobó en un experimento de pastoreo en que se usaron animales comerciales del cruce cebú x criollo y un cruce de cebú x Charolais (1/2 sangre); los resultados se presentan en el Cuadro 1. La ventaja de emplear el ganado cruzado con Charolais consistió en un incremento de 45%, en promedio, en la ganancia de peso/ha, el cual elevó la rentabilidad potencial de la fertilización nitrogenada desde un 12%, con cebú comercial, a un 31% con Charolais x cebú (CIAT, 1973).

Cuadro 1. Ganancia de peso del ganado cebú comercial y de los cruces de Charolais x cebú, pastoreados en pasto pangola.

Nivel de nitrógeno aplicado (kg/ha por año)	Ganancia de peso (kg/día) por animal:		Ganancia de peso (kg/año) por ha en animal:		Ventaja (%) del animal cruzado
	Comercial	Cruzado	Comercial	Cruzado	
168	0.390	0.570	692	1030	46
332	0.379	0.638	793	1352	70
500	0.375	0.507	910	1237	36
672	0.367	0.473	998	1283	29

Fuente: CIAT, 1973.

Variación ambiental

El efecto cuantitativo global del ambiente en la ganancia de peso de los vacunos equivale, aproximadamente, al efecto genético, como se aprecia en los coeficientes de heredabilidad para la ganancia de peso que fluctúan alrededor de 0.5. La obra de Preston y Willis (1970) contiene una revisión completa de los efectos genéticos y ambientales en las características productivas de los vacunos para carne. El efecto del ambiente en la ganancia de peso después del destete de los animales se manifiesta a través de las correlaciones encontradas entre el comportamiento animal antes del destete y después de él. En general, las correlaciones del ambiente con el peso al nacimiento y el peso al destete son bajas; no obstante, en algunos casos las correlaciones entre el ambiente y la ganancia de peso antes del destete han sido negativas, un indicio del efecto de ganancia compensatoria.

Medida de la ganancia de peso

Tipo de animal

Es útil replantear las razones que justifican el empleo de un tipo determinado de animal en las pruebas de pastoreo. Se menciona, como la base de discusión más amplia, la opinión emitida por Morley y Spedding (1968) y que ha sido luego apoyada por muchos otros investigadores (Wiloughby, 1971; Hodgson, 1981; Gardner, 1983). Aquellos dos autores afirman que las pruebas de pastoreo deben diseñarse en consonancia con el sistema de producción al cual se aplicará más tarde el resultado de ellas. La primera decisión es obvia: seleccionar los animales que correspondan al sistema.

Al comparar nuevas pasturas, se debe hacer énfasis en la selección de las especies que presenten las mejores características de productividad en el tiempo (persistencia). Para lograr este objetivo con el mayor grado de precisión, se debe usar un tipo de animal fisiológicamente activo y sensible a los cambios cuantitativos y cualitativos del alimento disponible. El animal que cumple mejor con este requisito es la **vaca lechera** en producción; su empleo se discutirá en otra sección de este manual.

El **animal joven** en crecimiento activo y durante la época posterior al destete, es el segundo animal más sensible porque en esta etapa de su vida obtiene una ganancia de peso importante en un período de tiempo corto (Grassland Research Institute, 1961). El investigador puede decidir que el experimento emplee otro tipo de animal, p. ej., la vaca de cría con su ternero, cuando el sistema de producción imperante en la región así lo requiera. Esta decisión es correcta porque la información cuantitativa obtenida tendrá mayor y más directa aplicación al problema de la ganancia de peso. Sin embargo, en el momento de diseñar el experimento, el investigador deberá recordar que la sensibilidad para medir las diferencias entre un tratamiento y otro es menor en un sistema de cría (vaca y ternero) que en un sistema de crecimiento de novillos (recrea) y que, además, en aquél aumenta la complejidad física y estadística de la prueba (Burns et al., 1983).

El diseño de experimentos con vacas de cría es, físicamente, más complejo, porque se debe tomar en consideración el servicio (monta o inseminación artificial) de las vacas, el cual debe hacerse de tal manera que el procedimiento que se emplee no modifique los resultados. Esto quiere decir que cada uno de los potreros del experimento deberá recibir el mismo número de toros o de inseminaciones —o de unos y otras— durante un período de servicio de igual duración, para que se ofrezca, en todos los tratamientos, la misma oportunidad de concepción. La distribución equitativa de los toros no es fácil ya que la fertilidad y la agresividad reproductiva del macho puede influir en el resul-

tado de la prueba. La inseminación artificial es una alternativa que da buen resultado si cumple dos condiciones:

- garantizar el uso del mismo inseminador; y
- detectar el celo en las hembras de manera eficiente y efectiva.

Detectar celo en el ganado de cría no es fácil y requiere de toros especialmente preparados.

Estadísticamente, la prueba con vacas de cría se hace más compleja por las siguientes razones:

- Aumenta la variabilidad, dado que a la varianza asociada con la ganancia de peso de los terneros se agrega aquélla asociada con los cambios (ganancia y pérdida) de peso de las vacas.
- La varianza de la eficiencia reproductiva de un grupo de vacas, en un potrero determinado, es la suma de los efectos de las vacas, así como del servicio y de la pastura.

El nivel de alimentación de las vacas durante el período comprendido entre el parto y el servicio influye en la eficiencia reproductiva, una prueba más de que la pastura puede tener influencia en la reproducción (Wiltbank et al., 1962; Wiltbank et al., 1964).

Una consideración final respecto al uso de vacas de cría: el tamaño del experimento debe aumentar, por lo menos, al doble del que tendría un experimento con animales para recría porque se debe alimentar la vaca y además el ternero, y porque la varianza se eleva pues se requiere un mayor número de animales para obtener igual precisión. En las siguientes secciones se hará referencia solamente a las pruebas de pastoreo con animales en recría.

Selección de los animales para los experimentos

Una vez elegido el tipo de animal que se utilizará, se escogen los animales. En la práctica, sobre todo en áreas relativamente aisladas de los centros comerciales de ganado, el investigador no cuenta con muchas alternativas para conseguir los animales experimentales y debe aceptar los que se hallan disponibles en la estación experimental o en la zona del ensayo. En tal caso, la selección previa de los animales y la correcta distribución de éstos en los tratamientos será una tarea mucho más importante. Los factores, pues, de mayor importancia en la selección de los animales experimentales son cuatro: la raza, el sexo, la procedencia, y el peso o la edad.

Raza

La primera decisión —y la más lógica— del investigador es escoger la raza de ganado que mejor se adapte al ambiente en el cual se realizarán las pruebas.

En el trópico se acepta que, por lo menos en condiciones de pastoreo, el ganado cebú y sus cruces con el ganado criollo o europeo obtienen mayor ganancia de peso después del destete que las razas puras de ganado criollo, europeo, o cebú (Hernández, 1978; Bailon et al., 1977; Bauer et al., 1981; Verde et al., 1981; Plasse, 1983). El investigador debería, por tanto, tener en cuenta estos efectos de las razas y de sus cruces para la conformación homogénea de los grupos de animales. Lo ideal sería escoger todos los animales de una misma raza o de un cruce de ascendencia conocida.

El investigador puede desear más de una raza o cruce de ganado en un experimento, o podría verse forzado a utilizarlas; ahora bien, con más de una raza aumentaría la varianza de la prueba y esto disminuiría su precisión. En tales casos la decisión correcta sería:

- aumentar el número de animales por tratamiento; y
- distribuir cada raza uniformemente entre los tratamientos.

Sexo

En una etapa de recría hay tres grupos sexuales que se pueden considerar: novillas, toretes y novillos. Para un programa de selección y evaluación de especies forrajeras, en cambio, una política acertada es mantener el mismo sexo de los animales en todas las pruebas a lo largo del tiempo. Esta uniformidad permitirá luego establecer comparaciones —aunque no siempre estadísticas— entre las pasturas, sobre todo cuando se ha conservado una especie forrajera, o una mezcla de ellas, como control permanente.

Disponer de animales de un mismo sexo en el tiempo será, entonces, el primer criterio de selección; este criterio correlaciona bien, generalmente, con el sistema de producción prevalente en una región. Las novillas, conviene recordarlo, tienen una tasa de crecimiento menor que los novillos; y la de éstos, a su vez, es menor que la de los toretes.

Procedencia

Animales de diferente procedencia pueden exhibir un comportamiento variable (Mott y Miles, 1947). Las diferencias en la ganancia de peso de los animales jóvenes de diversa procedencia representan la sumatoria de los efectos genéticos y de aquéllos debidos al manejo animal. Dentro de un área determinada, el efecto cuantitativo de las diferencias causadas por el manejo será mucho mayor que el de las diferencias genéticas; aquéllas son importantes en el crecimiento ulterior de los novillos por dos razones:

- a. Cuando el animal joven ha recibido un nivel insuficiente de alimento hasta el punto de experimentar efectos perdurables, su capacidad de crecimiento se reducirá (Bohman, 1955) y así no podrá expresar el verdadero potencial de la pastura.

- b. Cuando la restricción alimentaria ha sido transitoria, es decir, se ha obtenido una ganancia de peso menor pero no existe una restricción permanente, el animal obtendrá una *ganancia compensatoria* al ingresar a la pastura experimental, y creará una imagen falsa del potencial de producción de ésta (CIAT, 1977; Paladines y Leal, 1979).

En la práctica, sólo se dispondrá de información previa sobre los animales de las pruebas de pastoreo cuando se escojan aquéllos producidos en la propia institución o en fincas con un nivel tecnológico muy alto que llevan registros; en estos casos, los animales no habrán sufrido, con seguridad, restricciones alimentarias serias. Cuando no hay efectos nutricionales permanentes, el peso del animal al nacimiento, su ganancia de peso anterior al destete, o su peso al destete no ejercen ningún efecto en la ganancia de peso en la recría (Matches, 1969).

En todos los sistemas de producción de ganado de cría hay un período de escasez transitoria del forraje que coincide con la época de invierno en los climas templados y con la época de baja precipitación pluvial en el trópico. El efecto fisiológico de la ganancia compensatoria eleva el crecimiento inmediatamente posterior al período de restricción, lográndose recuperar durante este tiempo entre el 60 y el 80% del peso que no fue ganado en la época crítica (Paladines y Leal, 1979). Si los animales experimentales ingresan a la prueba de pastoreo al comienzo de la época de lluvias, obtendrán una ganancia compensatoria que no corresponderá al verdadero potencial de la pastura e introducirá una fuente adicional de error en las medidas de producción. Es recomendable comenzar el período de pastoreo en la época seca — es decir, de restricción de forrajes — y terminarlo al final de la época de lluvias; de este modo, la pastura habrá podido demostrar su capacidad para la producción animal durante la época seca y para el mantenimiento de esa producción en la época de lluvias que sigue a aquélla, aun cuando ocurriera la ganancia compensatoria.

Peso o edad

El peso y la edad de los animales en crecimiento, en una población uniforme, se hallan correlacionados. En animales de origen desconocido, sin embargo, esta afirmación no siempre es verdadera porque dependerá del plano alimenticio en el cual aquéllos se hayan desarrollado. Para las pruebas de pastoreo que utilicen la ganancia de peso como parámetro de respuesta, la edad más adecuada del ganado cebú y de sus cruces es el período posterior al destete, que se extiende hasta el momento en que el animal alcanza los 400 kg de peso.

El peso al destete fluctúa comúnmente entre los 90 y 120 kg (Plasse, 1983) de tal manera que el animal puede lograr una ganancia de 250 a 300 kg en el período experimental sin que sobrepase la etapa de crecimiento acelerado.

Dentro de este rango, el peso y la edad iniciales de los animales no influyen en las ganancias de peso obtenidas más tarde (Kincaid et al., 1945; Mott y Miles, 1947; Lynd et al., 1956; Matches, 1969) de tal manera que los grupos experimentales pueden ser distribuidos en forma aleatoria. Una práctica común, que tiende a minimizar las diferencias de manejo ocurridas antes de un experimento, es la conformación de grupos de animales según su peso para sacar más tarde al azar, de cada grupo, los animales que se distribuirán en los tratamientos.

Manejo anterior al período experimental

Información previa útil

La información preliminar de mayor utilidad es la *raza* (y los cruces presentes) y el nivel previo de *alimentación* ya que, como se discutió anteriormente, ambos factores influyen significativamente en la ganancia de peso de los animales en pastoreo. Esta información no se puede utilizar como covariable en el análisis estadístico porque no se refiere a variables continuas, pero sirve para formar grupos homogéneos dentro de cada clase.

Información obtenida en el campo experimental

En la estación experimental, una vez reunidos los animales, se pueden observar dos características del animal: la *edad bucal*, según el desgaste de los dientes, y el *estado sanitario* del ganado. El desgaste de los dientes sirve para eliminar del grupo de animales aquéllos muy adentrados en la edad adulta. El contacto con los animales durante algunas semanas antes de iniciar el pastoreo y el manejo que ellos reciben en el corral y en la báscula permiten observar detenidamente a cada individuo y saber si son muy nerviosos y si están libres de parásitos e infecciones externas.

Un período de pastoreo anterior al experimento (preexperimental) en condiciones uniformes para todos los animales sería, como se ha sugerido, una buena medida para detectar el potencial de producción de los animales y para establecer, con los datos de ganancia de peso, una covariable que se pueda utilizar al final de la prueba de pastoreo. Sin embargo, no se ha encontrado una buena correlación entre las ganancias de peso anterior y posterior al experimento (Matches, 1969); esto se debe, seguramente, a que los animales, durante el período preliminar, están aún influidos por el efecto del tratamiento previo.

Preparación preexperimental

Manejo sanitario. Antes de distribuir los animales en los potreros experimentales se deben aplicar las prácticas sanitarias que aseguren la inmunidad de esos animales a las enfermedades y plagas del ganado comunes en la

región. Aparte de las vacunas de uso convencional en esa región, conviene tratar el ganado con antiparasitarios internos antes de que ingrese a los potreros y repetir la dosis 21 días más tarde. Los parásitos internos ejercen un marcado efecto en la ganancia de peso de los animales de origen europeo, pero relativamente pequeño en los animales de raza cebú y en sus cruces en la etapa de crecimiento posterior al destete (Turner y Short, 1972). La aplicación inicial del tratamiento antiparasitario será suficiente para los animales cebú o sus cruces, hasta cuando sean retirados del experimento; a los animales europeos, en cambio, se les deben repetir periódicamente los tratamientos contra los parásitos internos y externos, teniendo en cuenta los exámenes de laboratorio y las revisiones hechas al animal, ya que este ganado es mucho más sensible que el cebú. Se recomienda establecer un programa riguroso de baños antigarrapaticidas —aunque los parásitos no afecten la ganancia de peso de los animales— para evitar que las praderas se infesten indebidamente.

Estimulantes del crecimiento. Hay en el mercado una variedad de productos químicos que estimulan el crecimiento de los animales en pastoreo. En la actualidad, un alto porcentaje de animales recibe, durante el tiempo de su engorde, alguno de estos estimulantes. En las pruebas de pastoreo destinadas a comparar pasturas no es conveniente emplear estimulantes. No se han demostrado aún interacciones específicas entre el tipo de la pastura y el efecto estimulante de las drogas; no obstante, los estimulantes pueden acrecentar las diferencias que ocurran entre un tratamiento y otro porque —se sabe ya— estas drogas ejercen un efecto positivo solamente cuando el nivel de alimentación del ganado es alto.

En ciertos casos en que se considere útil el estudio de los estimulantes del crecimiento, el investigador puede implantar un grupo del ganado de cada tratamiento con el estimulante y dejar el otro grupo como control: así estudiará el efecto del implante y de la interacción pastura x estimulante del crecimiento. Esta nueva variable experimental aumenta, obviamente, la varianza total y reduce el número de grados de libertad del error; en consecuencia, se pierde sensibilidad en la prueba estadística. Para contrarrestar esta dificultad, se debe aumentar el número de animales en cada potrero.

Manejo del ganado en el período experimental

Repeticiones por tratamiento

Cuando se emplean animales para medir la productividad de una pastura, la ganancia de peso obtenida, por animal y por hectárea, incluye dos componentes de la varianza.

- a. La varianza debida a la cantidad y a la calidad del forraje de la pastura.

- b. La varianza debida a las diferencias individuales de producción entre animales (Mott y Lucas, 1952; Petersen y Lucas, 1960).

Para controlar la varianza en la producción y en la calidad del forraje de la pastura se diseñan repeticiones de campo, es decir, más de un potrero (repetición) para cada tratamiento; la varianza debida a los animales, en cambio, se reduce aumentando su número en cada potrero. La verdadera diferencia entre uno y otro caso es que el aumento en el número de potreros es una auténtica repetición estadística, en tanto que un mayor número de animales por potrero no equivale a un aumento de las repeticiones. Se incrementa el número de animales que pastorean una repetición (un potrero) para asegurar que la medida de la producción de esa repetición ha sido realizada con la debida precisión.

La estimación del error (varianza residual) presente en la medida de la ganancia diaria de peso, en promedio, de los animales que pastorean un potrero se puede hacer empleando la ecuación propuesta por Petersen y Lucas (1960); ésta considera, como componentes de esa varianza, la duración del período de pastoreo, t , el número de individuos que pastorearon el potrero durante el período t , a , y el número de animales-día de ocupación del potrero, d . La ecuación, que se define como el coeficiente de variación de la ganancia diaria de peso por animal (CV_{GPD}) en porcentaje, se expresa así:

$$CV_{GPD} = \frac{(157.2)^2}{t} + \frac{(17.3)^2}{a} + \frac{(225.4)^2}{d} \quad (1)$$

La ecuación (1) fue desarrollada partiendo de un amplio número de experimentos de pastoreo realizados en el sureste y oeste medio de los Estados Unidos, por lo cual la información cuantitativa que genere podría perder relevancia en otras zonas ecológicas; permite, no obstante, esa ecuación determinar el efecto relativo obtenido al variar el número de animales y la duración de las pruebas. En el Cuadro 2 se presentan, estimados mediante esta ecuación, datos cuyo CV disminuye al aumentar la duración del pastoreo y el número de animales por potrero. El incremento en la precisión de la estimación es muy alto cuando los animales por potrero varían de uno a tres y cuando el período de pastoreo aumenta de 28 a 84 días; sin embargo, el error no se reduce suficientemente sino hasta el punto en que se emplean de tres a cinco animales durante un período de 168 días, por lo menos.

Pepper y Mayer (1982) calcularon la probabilidad de detectar diferencias entre los tratamientos de pastoreo en una pradera natural en Queensland partiendo del número tanto de animales por potrero como de repeticiones de campo. El Cuadro 3 reproduce esos resultados. Se observa que la probabilidad dicha aumenta más cuando crece el número de repeticiones de campo que cuando se incrementa el número de animales. Esta tendencia sugiere, pues,

Cuadro 2. Coeficientes de variación (CV) de la ganancia de peso diaria por potrero según el número de animales y la duración de la prueba de pastoreo, estimados con la ecuación de Petersen y Lucas (1960).

Animales (no.)	Coeficiente de variación (%) en prueba que dure:				
	28 días	84 días	168 días	224 días	365 días
1	54.7	34.6	27.4	25.2	21.2
3	39.8	24.4	18.6	16.9	14.6
5	36.1	21.8	16.4	14.7	12.5
7	34.0	20.6	15.3	13.6	14.4
9	33.4	19.9	14.6	13.5	10.8

Cuadro 3. Diferencias verdaderas detectadas como significativas entre medias de tratamientos según una probabilidad de $P \leq 0.05$.

Animales por potrero (no.)	Potreros por tratamiento (no.)	Diferencias detectadas como ganancias de peso (kg/animal por día) en:					
		Queensland del Norte ^a			Queensland Central		
		$P \leq 0.1$	$P \leq 0.15$	$P \leq 0.20$	$P \leq 0.1$	$P \leq 0.15$	$P \leq 0.20$
5	2	33	61	83	22	42	64
	3	54	87	98	38	68	90
	4	69	95	99	49	82	97
10	2	42	73	92	25	47	69
	3	67	94	99	42	74	92
	4	81	98	99.9	54	87	98

a. En época de lluvias.

FUENTE: Pepper y Mayer, 1982.

que es preferible diseñar experimentos de pastoreo con muchos potreros pequeños, por tratamiento, que con pocos potreros de mayor tamaño (Christian y Shaw, 1952; Yates et al., 1964). Cuando el experimento contempla áreas pequeñas con un solo animal, los potreros deben estar dispuestos de tal manera que los animales puedan verse unos a otros desde cualquier punto; de lo contrario, su comportamiento será aberrante (t Mannelje et al., 1976).

De acuerdo con la información presentada en el Cuadro 3, para medir diferencias del 20% entre tratamientos, y con 90% de confianza, se requerirían 3 repeticiones y 5 animales en cada potrero. En la práctica, el costo de

estos experimentos es alto y difícilmente se podrían establecer más de tres repeticiones. Haydock (1982) sugiere la posibilidad de usar la ganancia de peso de los animales de un potrero para estimar la varianza residual en el análisis estadístico de los experimentos de pastoreo que no tienen repeticiones de campo; no importarían, en este caso, la ausencia de una estimación del error debido a los potreros ni el hecho de que la varianza atribuida a los animales esté confundida con el tratamiento. Este análisis evita que la extrapolación de los resultados sea riesgosa e imprecisa. Cuando se ha empleado este diseño, la confiabilidad de los resultados ha derivado tanto de las profundas diferencias halladas entre los tratamientos como de la larga duración de la prueba, y los resultados han sido consistentes año tras año (Shaw y 't Mannelje, 1970; Paladines y Leal, 1979).

Manejo y trato de los animales

El trato dado al ganado en los experimentos de pastoreo debe sujetarse a las normas de comportamiento técnico y 'humanitario' prescritas para el manejo de los hatos comerciales.

Cualquier estímulo externo que cause perturbación o estrés al ganado puede acarrear un comportamiento productivo inferior. Esta generalización es válida a pesar de que los mecanismos exactos del estrés y del 'acostumbramiento' no han sido aún plenamente aclarados (Dantzer y Mormede, 1983). Gardner y Centeno (1966) encontraron indicaciones de alteración en el comportamiento de los corderos de un experimento de pastoreo por causa del tráfico contiguo a la finca. En otros casos, el estrés producido por la competencia de espacio en las vacas lecheras, si bien provocó síntomas hormonales de estrés, no disminuyó la producción (Friend et al., 1979). En estudios de laboratorio que emplearon ratas como modelo para demostrar los efectos del estrés que produce la competencia por el alimento, se registraron efectos significativos en los niveles de la glucosa circulante en la sangre y en la velocidad de crecimiento de las ratas.¹

El manejo de los animales debe ser pausado, silencioso y sereno. La excitación manifestada por el personal que maneja el ganado se comunicará enseguida a los animales. No se deben usar lazos, látigos, ni picanas (mecánicas o eléctricas). No se debe gritar ni correr, y si es preciso usar caballos para el manejo del ganado, conviene hacerlo rutinariamente. Este manejo sereno garantizará un comportamiento dócil de los animales. Para hacer factible un buen manejo del ganado, es preciso disponer de un corral suficientemente amplio y de construcción firme, con balanza, y con un brete resistente que permita inmovilizar los animales sin lastimarlos.

1. Paladines, O., resultados no publicados.

Distribución de los animales

Algunos aspectos de la distribución de los animales en los tratamientos experimentales fueron mencionados en secciones anteriores. Hay además dos formas generales de distribución: totalmente aleatoria y por grupos.

La distribución *totalmente aleatoria* presupone la existencia de un grupo uniforme de animales por tipo, raza, sexo y procedencia. Se prescinde del tipo porque se espera que las pruebas, en la mayoría de los casos, emplearán animales en crecimiento. La raza es un factor importante e influye en forma significativa en la respuesta animal; el sexo causa también un efecto cuantitativo en esa respuesta, y la procedencia del animal afecta su ganancia de peso por razones genéticas y de manejo. La edad o el peso de los animales al iniciar la prueba —o ambas variables— mantenidas dentro de los límites del crecimiento activo, o sea, con 100 a 400 kg de peso vivo, no han ejercido ningún efecto en la ganancia de peso obtenida más tarde (Mott y Miles, 1947; Kincaid et al., 1945; Lynd et al., 1956; Matches, 1969).

Se recomienda que la distribución de los animales se haga *por grupos* tomando en cuenta solamente el peso inicial del ganado, con tal que se disponga de un lote de animales totalmente uniforme respecto al tipo, la raza, el sexo y la procedencia. Aunque, como se dijo anteriormente, el peso inicial no influye sobre la *ganancia de peso* obtenida luego, las diferencias en el peso, en promedio, de los tratamientos ocasionan, a su vez, diferencias en la *intensidad de pastoreo* de los tratamientos y estas últimas influirán sobre la cantidad de forraje consumido diariamente por unidad de superficie; este consumo, que será variable, creará, finalmente, diferencias en la ganancia de peso por hectárea. Es conveniente que el peso promedio de los animales que pastorean los diversos tratamientos sea igual, resultado que se logra formando grupos de peso semejante y, como ya se dijo, distribuyendo luego un número igual de animales de cada grupo en cada uno de los tratamientos.

Frecuencia del pesaje

El peso de los animales cumple dos propósitos en las pruebas de pastoreo. El primero, y el más importante, es el de representar una *medida de la respuesta* de las pasturas experimentales. Esa respuesta se expresa como ganancia de peso por hectárea en un período determinado de tiempo y se mide como la diferencia de peso de los animales al inicio y al final de un período definido de pastoreo, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$GPH_n = \frac{PF - PI}{s} \quad (2)$$

donde:

GPH_n = ganancia de peso por ha, en el período de tiempo n .

n	=	período de pastoreo, en días.
PF	=	peso final del animal, en kg.
PI	=	peso inicial del animal, en kg.
S	=	superficie del potrero, en ha.

Con esta información básica se pueden calcular otros parámetros de la productividad de la pastura, como se explica enseguida:

- La ganancia de peso por animal que se calcula como:

$$GPA_n = \frac{GPA_n}{A} \quad (3)$$

donde:

GPA_n = ganancia de peso por animal, en el período de tiempo n

A = número de animales en el potrero.

- La ganancia por animal y por día que se expresa así:

$$GPA_d = \frac{GPA_n}{n} \quad (4)$$

donde:

GPA_d = ganancia de peso diaria por animal.

- La ganancia de peso por ha y por día que se expresa así:

$$GPH_d = \frac{GPH_n}{n} \quad (5)$$

donde:

GPH_d = ganancia de peso por ha y por día.

Para los cálculos anteriores bastarán los pesos inicial y final de los animales. Se acostumbra, sin embargo, pesarlos periódicamente para cumplir el segundo propósito el cual, a su vez, consta de dos objetivos. En las pruebas que aplican una carga fija durante el período de pastoreo, los pesajes intermedios —o sea, periódicos entre el inicial y el final— cumplen, esencialmente, un objetivo de *control*, es decir, aseguran que cada uno de los animales se encuentra sano y sin perturbaciones físicas que le impidan desarrollarse normalmente. En las pruebas de pastoreo se prefiere hacer esos pesajes según períodos fijos que pueden ser quincenales, mensuales o bimensuales; cualquier período es adecuado si permite detectar a tiempo los problemas que padezca el ganado. En la práctica, la mayoría de los investigadores pesan los animales cada 28 días (Hughes, 1976).

Al pesar los animales, se aprovecha su paso por el corral y por el brete para realizar todas las medidas sanitarias y de identificación, y para tomar las muestras de sangre, de orina, de heces fecales u otras que se consideren necesarias. Según la experiencia del autor, es recomendable programar así la semana del pesaje:

- el lunes: preparar la balanza y el baño garrapaticida, tomar las muestras en la pastura, y hacer otras labores preparatorias;
- del martes al jueves: pesar los animales;
- el viernes hacer la limpieza del corral, de la balanza, del brete, del baño, y de los demás elementos de trabajo.

Estas previsiones permiten hacer un pesaje rápido y sin interrupciones.

Los pesajes intermedios cumplen un segundo objetivo: *ajustar la presión de pastoreo* cuando se apliquen cargas variables ('put-and-take stocks') en el experimento. En este caso, el pesaje debe realizarse con la frecuencia que el objetivo del experimento lo requiera; los detalles del método experimental con que debe hacerse ese pesaje se discutirán en otra sección.

Método para el pesaje

En las pruebas de pastoreo, se debe pesar a cada animal en forma individual, ya que el peso por grupo es válido para los cálculos de productividad de la pradera pero no permite hacer una estimación de la varianza dentro del potrero. Además, el peso en grupo carece de control para detectar problemas individuales.

La balanza debe registrar pesos con 1 a 3 kg de imprecisión. Las balanzas de mayor precisión son buenas pero, en general, su costo ha aumentado enormemente. No es una idea práctica pretender una precisión mayor de 1 kg de error si se considera que un animal puede evacuar más de 5 kg de heces y orina en un solo evento. Hughes y Harker (1950) encontraron que la varianza residual en el peso del ganado vacuno, de un día para otro, equivalía a $\pm 0.75\%$ del peso vivo; en novillos de 300 kg eso significa una variación de ± 2.25 kg.

Tres consideraciones especiales deben discutirse con relación al peso: el pesaje repetido, el ayuno previo, y la hora del pesaje.

Pesaje repetido. Para determinar los pesos inicial y final de los animales se recomendaba hacer el pesaje en dos o tres días consecutivos y utilizar el promedio como el peso verdadero (Lush et al., 1928; Koch et al., 1958). Sin embargo, varios investigadores han comprobado que no se obtiene una precisión mayor con este método (Baker et al., 1947; Bean, 1948). Se debe repetir el pesaje de los animales solamente cuando se sospeche, por alguna razón, que se han cometido errores en el peso previo.

Ayuno previo al pesaje. La mayor fuente de variación en el peso de un animal, entre un día y otro, es el contenido del tracto digestivo (Koch et al., 1958); esta variación es particularmente notoria cuando se comparan animales que provienen de regímenes alimenticios diferentes (Whiteman et al., 1954) y puede ser importante cuando se pesan animales provenientes de experimentos en que se aplicaron cargas animales diversas. El contenido digestivo es una fracción importante del peso del animal, aun después del ayuno. Paladines y Bateman (1968) encontraron, en ganado criollo, cebú y sus cruces, que el contenido digestivo húmedo, luego de 24 horas de ayuno, correspondía a un 10.5% del peso vivo (rango: 9.8-11.1%) como promedio anual de los cuatro años del experimento, y con un coeficiente de variación de 10.9%. El peso, en promedio, del contenido digestivo fue de 28.9 kg en novillos cuyo peso vivo fluctuaba entre 183 y 351 kg, y no se hallaron diferencias en el porcentaje del contenido de *digesta* entre animales de diferente peso. Sin embargo, otros autores han encontrado que el contenido digestivo, expresado como porcentaje del peso del animal, es menor en la medida en que aumenta este peso (Hughes, 1976). El tipo de dieta influye también en el contenido digestivo; así, Seebeck (1967) encontró mayor contenido porcentual en una de dos raciones empleadas.

El ayuno consiste en un período de tiempo durante el cual el animal no recibe alimento pero puede tomar agua. El ayuno se debe realizar en un corral para evitar el consumo inadvertido de alimento. La pérdida de peso durante el ayuno es una función del peso vivo del animal y tiende a ser una proporción constante del peso. Esa pérdida de peso es mayor cuando aumenta el consumo de alimento (t Mannelje et al., 1976) y, de acuerdo con los resultados obtenidos por Whiteman et al. (1954), es consistentemente mayor cuando la restricción de alimentos no incluye el agua.

La importancia de la precisión en los pesajes del animal está en relación directa con la magnitud de las diferencias de peso que se pretenda medir. En general, las diferencias de peso entre el comienzo y el final de la prueba de pastoreo serán mayores si se extiende la duración de la prueba. La precisión de los pesajes es más crítica en los experimentos de corta duración, y en estos casos se deben eliminar las diferencias causadas por el contenido digestivo mediante ayuno sin alimento ni agua. Algunos investigadores afirman que esta restricción total reduce la ganancia de peso que se obtenga más tarde (Grassland Research Institute, 1961); no obstante, los efectos no son duraderos.

Actualmente se recomienda el pesaje de animales que hayan ayunado de 12 a 18 horas como la alternativa más conveniente (t Mannelje et al., 1976; Corbett, 1978). Este ayuno se practica en las horas de la noche, encerrando los animales en el corral, sin agua, al final de las labores del día anterior, y pesando el ganado temprano por la mañana; así, el ayuno no tendrá efecto nocivo en los animales (Meyer et al., 1960; Meyer, 1962).

Hora del pesaje. La hora del día en que se pese el ganado es importante ya que el peso de los animales experimenta cambios diurnos que están asociados con el hábito de pastoreo (alteraciones en el contenido del retículo-rumen) y con la temperatura y la exposición al sol. La hora del día en que la variación del peso, entre un individuo y otro en pastoreo, es menor se halla tres o cuatro horas después del amanecer (Hughes y Harker, 1950; Tayler, 1954). En ese momento termina el primer período importante de pastoreo del ganado y el retículo-rumen de los animales está lleno. En latitudes en que la hora del amanecer no es constante, el tiempo del inicio del pastoreo también cambia (Arnold, 1962). En el trópico, el comportamiento en pastoreo del ganado europeo es diferente del que manifiesta el de tipo cebú: el primero pastorea en horas en que la temperatura es más baja (Payne et al., 1951) hábito que no tiene el ganado cebú (Harker et al., 1954 y 1961).

Obviamente, la preocupación por las horas de pastoreo antes del pesaje carece de sentido cuando los animales permanecen en el corral, pero aun así es importante que el pesaje se realice después de cierto número de horas de ayuno como p.ej. 12 horas nocturnas. Hughes (1976) concluyó que la varianza en el pesaje —obtenido de 3 a 4 horas después del amanecer— de animales sin ayuno, es igual a la varianza del pesaje de animales con ayuno nocturno; por tanto, el ayuno no es necesario si se puede realizar la labor de pesaje luego del período indicado después del amanecer. El problema, a nivel práctico, es pesar todos los animales en un tiempo suficientemente corto para que las pérdidas de peso por disminución del contenido del retículo-rumen no alteren la varianza. Hughes y Harker (1950) hallaron que la tasa de pérdida de peso en vacunos de 600 kg de peso vivo, con el retículo rumen lleno, era de 1.8 a 2.3 kg por hora después del pastoreo; por consiguiente, en una labor de pesaje de cuatro horas, la diferencia respecto al contenido ya mencionado, entre los primeros y los últimos animales, puede acercarse a los 100 kg.

Para obviar estos problemas es recomendable el ayuno nocturno ya que la tasa de reducción en el peso vivo decrece con el tiempo de ayuno. En la Figura 1 se observa este efecto del ayuno y, además, que las pérdidas son mayores en los meses de primavera cuando el consumo y la digestibilidad del forraje aumentan. El ayuno no se practica con vacas lecheras porque la restricción de alimento, aun durante algunas horas, perjudicaría inmediatamente la producción de leche.

Día de la rotación. Los cambios en el contenido digestivo, ocasionados por un menor consumo al transcurrir los días de pastoreo en los sistemas de rotación de potreros, deben tomarse en cuenta para programar el pesaje (Hughes, 1976). Los cambios en el consumo a lo largo del período de ocupación de un potrero fueron documentados por Chacón y Stobbs (1976) en pasturas tropicales. En los primeros días, los animales consumieron principalmente hojas e hicieron un consumo ad libitum limitado por la capacidad del retículo-

rumen. A los 5 ó 6 días de pastoreo, el consumo fue un 55% del inicial, y el día décimo era un 22% del mismo. Esta diferencia debe reflejarse en el contenido digestivo y ocasiona variaciones en el peso que pueden ser significativas cuando se computan resultados de corta duración. En sistemas donde la rotación es muy frecuente, se ha encontrado que los pesos tomados el día que cae en mitad del período de pastoreo son menos variables y más representativos de los cambios verdaderos de peso (Hughes, 1976). Así se ha averiguado que el consumo durante las primeras horas del día puede ser menor en un sistema de rotación diaria en franjas que en un sistema donde la rotación sea más prolongada (Grassland Research Institute, 1961).

Para evitar los errores asociados con el consumo variable a lo largo de la rotación, es necesario hacer el pesaje del ganado un mismo día de la rotación: el día medio, de preferencia, cuando la rotación es corta (4 a 6 días); y del 40. al 60. día en rotaciones largas.

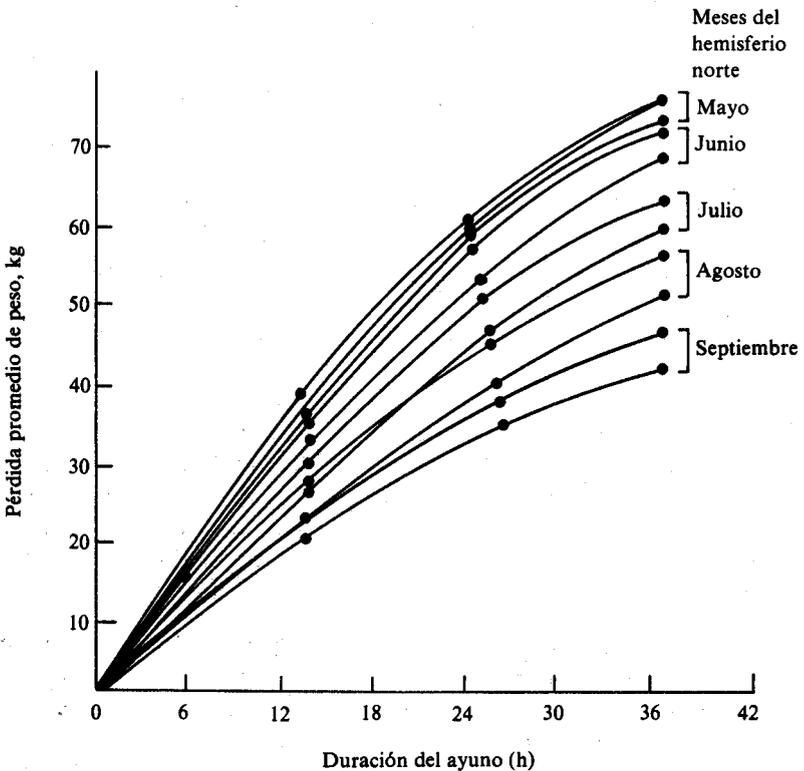


Figura 1. *Pérdida de peso de los novillos durante el ayuno en el hemisferio norte. Las pérdidas de peso son promedios.*

FUENTE: Hughes, 1976.

Métodos para disminuir la varianza

Dos de los métodos que se emplean para reducir la varianza en el peso de los animales se discutieron en la sección anterior; ellos son: ayuno de 12 a 18 horas, y pesaje del ganado 3 ó 4 horas después del amanecer. Otros dos métodos han sido recomendados frecuentemente: la igualación del contenido digestivo, y el peso del cuerpo libre de contenido digestivo.

Igualación del contenido digestivo. Se aplica principalmente a los pesajes iniciales y finales de un período experimental. El método consiste en mantener a todos los animales de un experimento, durante un período de 4 a 8 días, en pastoreo conjunto en una pradera con buena disponibilidad de forraje. Esta práctica debería reducir las diferencias que se presentan en el contenido digestivo debidas a los efectos residuales de la alimentación previa (Balch y Line, 1957) y es, sin duda, lo mínimo que se debe hacer al iniciar un experimento. Cuando éste finaliza, se espera que las diferencias entre un tratamiento y otro sean lo suficientemente grandes para que las diferencias en peso del contenido digestivo, que perduren luego del ayuno, no influyan significativamente sobre la varianza. Taylor (1954) recomienda que, el día anterior al pesaje cuando finaliza el pastoreo, se trasladen los animales a una pastura parcialmente pastoreada para aminorar las diferencias en el contenido digestivo. En los pesajes intermedios es preferible no perturbar el comportamiento rutinario de los animales.

Peso del cuerpo sin contenido digestivo. En cualquier experimento que compare dietas para el ganado, incluyendo los experimentos de pastoreo, existe un efecto de la dieta sobre la producción de carne que es preciso determinar. Por esta razón, la medida de respuesta animal que se considera más apropiada es el peso del cuerpo libre de contenido digestivo; en esa medida se da crédito a todos los órganos y tejidos en que se han convertido los nutrimentos de la pradera. Medir el peso libre de contenido digestivo exige el sacrificio de los animales y el pesaje independiente del contenido gastrointestinal. Para determinar el peso inicial, libre de contenido digestivo, se toma una muestra representativa de los animales disponibles (5 a 8% de la población) y se obtiene ese peso una sola vez por sacrificio; el resultado se aplica a la población total en proporción a su peso vivo. Al finalizar la prueba, se sacrifican todos los animales y se mide su contenido digestivo.

La medida del peso del contenido gastrointestinal es una labor tediosa y desagradable que requiere, primero, vaciar el contenido de todas las vísceras gastrointestinales, separándolo cuantitativamente, y finalmente pesarlo. Por fortuna, se ha descubierto una alta correlación entre el peso de la canal caliente y el peso libre de contenido digestivo y ya se dispone de ecuaciones para calcular el contenido gastrointestinal del ganado europeo (Lofgreen et al., 1962), del ganado criollo, y del cruce criollo x cebú (Paladines y Bateman, 1968). Esas ecuaciones son:

$$\begin{aligned} \text{Para ganado europeo: } Y &= 32 + 1.45 X & (5) \\ S_{yx} &= 11.0 \text{ kg;} \\ r^2 &= 0.9 \end{aligned}$$

Para ganado criollo, y para criollo x cebú:

$$\begin{aligned} Y &= 41 + 1.36 X & (6) \\ S_{yx} &= 9.2 \text{ kg;} \\ r^2 &= 0.9 \end{aligned}$$

Este método puede emplearse solamente en aquellos casos en que la prueba de pastoreo se desarrolle cerca de un centro de sacrificio de animales y cuando se puedan sacrificar los animales sin perjuicio. Meyer et al. (1960) y Meyer (1962) han propuesto métodos que refinan aún más las medidas llevando la expresión de producción animal hasta la cantidad de energía y proteína acumuladas en el cuerpo del animal; estos métodos, si bien mucho más ilustrativos, requieren de un equipo que sobrepasa la capacidad de la institución regional.

Remplazo de animales

Remplazos periódicos programados. Una pregunta frecuente en las pruebas de pastoreo es ésta: ¿Cuánto tiempo se deben mantener los animales dentro del experimento? La respuesta más adecuada es que la duración del experimento, como las demás variables, dependerá del sistema de producción al cual se piense aplicar los resultados. En la recría y el engorde de novillos —el caso más simple— los animales deberían permanecer en la pradera durante todo el período posterior al destete hasta el momento en que adquieran el peso de sacrificio. Este método tiene una desventaja: no es igual para todos los animales el tiempo de permanencia en la prueba. Por ejemplo, en un experimento² donde se compararon tres niveles (alto, medio y bajo: A, M y B) de aplicación de nitrógeno al pasto pará (*Brachiaria mutica*), los animales obtuvieron los siguientes promedios de permanencia, en días, en el experimento —se añade el rango y el CV respectivo— hasta alcanzar el peso de sacrificio (470 kg, sin ayuno):

En tratamiento A: $\bar{X} = 301$ días; rango = 174—364; CV = 29%
 En tratamiento M: $\bar{X} = 289$ días; rango = 143—363; CV = 13%
 En tratamiento B: $\bar{X} = 261$ días; rango = 143—363; CV = 33%

Algunos animales, dentro del mismo tratamiento, permanecieron en el experimento más del doble del tiempo que otros, a pesar de que su peso inicial, con ayuno, fue uniforme; sus promedios de permanencia, también en días son:

2. CIAT, resultados no publicados.

En A: \bar{X} = 345 días; CV = 5.4%

En M: \bar{X} = 349 días; CV = 6.4%

En B: \bar{X} = 340 días; CV = 3.9%

Las diferentes fechas de salida de los animales dificultan el manejo de la información y obligan a mantener siempre un número elevado de animales livianos como remplazo. Para compensar por la desigual permanencia de los animales en la prueba, se recomienda cambiarlos todos —generalmente a finales de la época de lluvias— prescindiendo del peso que hayan alcanzado.

Remplazos ocasionales. Es necesario, a veces, retirar del experimento animales que, por su comportamiento irregular, no representen debidamente el grupo de animales experimentales; al hacerlo, debe existir la seguridad de que ese comportamiento no es un efecto del tratamiento experimental. Las siguientes razones justifican el cambio de los animales:

- enfermedad diagnosticada que impida el crecimiento normal del animal;
- comportamiento perverso del animal;
- accidentes que causen deterioro permanente al animal; y
- la muerte accidental del animal.

El comportamiento perverso describe al animal que constantemente demuestra desadaptación al manejo experimental, que infunde intranquilidad en el resto del ganado, y que prolonga indebidamente las faenas de pesaje y, en general, del manejo. En el ganado cebú y en los cruces con cebú se encuentran, con frecuencia, animales de este tipo, especialmente cuando se emplean lotes de ganado comercial deshabituados al manejo en el corral. Para todos estos remplazos se debe mantener, en cada lote de animales, un grupo de remplazo que equivalga a un 3 a 5% del lote. Se debe proporcionar a los remplazos una alimentación semejante a la del lote experimental.

Referencias

- Aldrich, D.T.A. y Elliot, C.S. 1974. A comparison of the effects of grazing and of cutting on the relative herbage yields of six varieties of perennial ryegrass (*Lolium perenne*). Proc. 12th. Int. Grassld. Congr., Moscow, 1974. Section 5. p. 11-17.
- Arnold, G.W. 1962. The influence of several factors in determining the grazing behaviour of Border Leicester x Merino sheep. J. Brit. Grassld. Soc. 17:41-51.
- Bailon, G.; Muñoz, H.; Vohnout, K. y Deaton, O.W. 1977. Aspectos genético-fisiológicos del crecimiento del ganado de carne en el trópico. Memoria ALPA 12:57-65.

- Baker, A.L.; Phillips, R.W. y Black, W.H. 1947. The relative accuracy of one-day and three-day weaning weights of calves. *J. Anim. Sci.* 6:56-59.
- Balch, E.C. y Line, C. 1957. Weight changes in grazing cows. *J. Dairy Res.* 24:11-19.
- Bauer, B.; Plasse, D. y Verde, O. 1981. Peso al destete de 17 grupos raciales de bovinos de carne en el Beni, Bolivia. *Memoria ALPA* 16:144-145. (Compendio.)
- Bean, H.W. 1948. Single weight versus a three-day average weight for sheep. *J. Anim. Sci.* 7:50-54.
- Bohman, V.R. 1955. Compensatory growth of beef cattle: The effect of hay maturity. *J. Anim. Sci.* 14:249.
- Burns, J.C.; Giesbrecht, F.G.; Harvey, R.W. y Linnerud, A.C. 1983. Central Appalachian hill land pasture evaluation using cows and calves. I. Ordinary and generalized least squares analysis for an unbalanced grazing experiment. *Agron. J.* 75:865-871.
- Camlin, M.S. y Stewart, R.H. 1975. Reaction of Italian ryegrass cultivars under grazing as compared with cutting. *J. Brit. Grassld. Soc.* 30:121-129.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1973. Informe Anual 1973. Cali, Colombia. p. 35.
- . 1978. Informe Anual 1977. Cali, Colombia. A1-A124.
- Corbett, J.L. 1978. Measuring animal performance. En: 't Mannetje, L. (ed.) Measurement of grassland vegetation and animal production. Commonwealth Bureau of Pastures and Field Crops, Bulletin 52. Hurley, England. p. 163-231.
- Chacón, E. y Stobbs, T.H. 1976. Influence of progressive defoliation of a grass sward on the eating behaviour of cattle. *Australian Journal of Agricultural Research* 27:709-727.
- Christian, C.S. y Shaw, N.H. 1952. A study of two strains of Rhodes grass (*Chloris gayana* Kunth) and of Lucerne (*Medicago sativa* L.) as components of a mixed pasture at Lawes in southeast Queensland. *Aust. J. Agric. Res.* 3:277-299.
- Dantzer, R. y Mormede, P. 1983. Stress in farm animals: a need for reevaluation. *J. Anim. Sci.* 57:6-18.
- Friend, T.H.; Gwazdauskas, F.C. y Polan, C.E. 1979. Changes in adrenal response from free stall competition. *J. Dairy Sci.* 62:768-771.
- Frisch, J.E. 1981. A model of reasons for breed differences in growth of cattle in the tropics. *Proc. Aust. Sc. Anim. Prod.* 11:85-88.
- y Vercoe, J.E. 1977. Food intake eating rate, weight gains, metabolism rate and efficiency of feed utilization in *Bos taurus* and *Bos indicus* crossbred cattle. *Anim. Prod.* 24:343-358.
- Gardner, A.L. 1983. Evaluación por corte y por pastoreo en parcelas pequeñas: comparación de resultados. En: Paladines, O. y Lascano, C. (eds.). Germoplasma forrajero bajo pastoreo en pequeñas parcelas, metodologías de evaluación. CIAT, Cali, Colombia. p. 107-120.

- y Centeno, G.A. 1966. Removal of the effects of uneven grazing in pasture experiments. *J. Brit. Grassld Soc.* 21:264-269.
- Grassland Research Institute. 1961. Research techniques in use at the Grassland Research Institute. Commonwealth Bureau of Pastures and Field Crops. Bulletin 45. Hurley, England, 1961. p. 166.
- Harker, K.W.; Taylor, J.I. y Rollinson, D.H.L. 1954. Studies on the habits of Zebu cattle. I. Preliminary observations on grazing habits. *Journal of Agricultural Science (Cambridge)* 44:193-198.
- ; Rollinson, D.H.L.; Taylor, J.I.; Gourlay, R.N.; y Nunn, W.R. 1961. Studies on the habits of Zebu cattle. VI. The results of different pastures. *J. Agric. Sci. (Cambridge)* 56:137-141.
- Haydock, D.P. 1982. Consequences arising when the design of a grazing trial is not ideal. *Anim. Prod. Aust.* 15:52-54.
- Hernández B., H. 1978. Factores ambientales y genéticos en ganado de carne tropical. *Memoria ALPA* 13:145. (Compendio).
- Hodgson, J. 1981. Testing and improvement of pasture species. En: Morely, F.H.W. (ed.). *Grazing animals; World animal science* Bl. Elsevier. p. 309-317.
- Hughes, J.C. 1976. Short-term variation in animal liveweight and reduction of its effect on weighing. *Anim. Breed. Abstr.* 44:111-118.
- Hughes, G.P. y Harker, K.W. 1950. The technique of weighing bullocks on summer grass. *J. Agric. Sci.* 40:403-409. Johnson, W.M. y Laycock, W.A. 1963. Kind, number and selection of livestock for grazing studies, and animal measurements most suited for evaluating results. *Range Research Methods* p. 137-142.
- Kincaid, C.M.; Litton, G.W. y Hunt, R.E. 1945. Some factors that influence the production of steers from pasture. *J. Anim. Sci.* 4:164-173.
- Koch, R.M.; Schleicher, E.W. y Arthaud, V.H. 1958. The accuracy of weights and gains of beef cattle. *J. Anim. Sci.* 17:604-611.
- Lynd, J.Q., Graybill, F. y Totuse, K.R. 1956. Factors affecting results of grazing trials with yearling steers. *Agron. J.* 48:352-355.
- Lush, J.L.; Christensen, F.W.; Wilson, C.V. y Black, W.H. 1928. The accuracy of cattle weights. *J. Agric. Res.* 36:551.
- 't. Mannelje, L. 1974. Relations between pasture attributes and liveweight gains on a subtropical pasture. *Proc. 12th Int. Grassld. Cong.* vol. III. p. 299-304.
- ; 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. Commonw. Bur. Past. Field Crops. Bulletin* 51. Hurley, England. p. 194-234.
- Matches, A.G. 1969. Pasture research methods. *Proc. National Conference on Forage Quality Evaluation and Utilization*, 1969.

- Meyer, H.J.; Lofgreen, G.P. y Barrett, W.N. 1960. A proposed method for removing sources of error in beef cattle feeding experiments. *J. Anim. Sci.* 19:1123-1131,
- Meyer, J.H. 1962. Removing sources of error in lamb feeding experiments. *J. Anim. Sci.* 21:127-131.
- Morley, F.H.W. y Spedding, C.R.W. 1968. Agricultural systems and grazing export ments. *Herb. Abstr.* 38:279-287.
- Mott, G.O. y Miles, S.R. 1947. Relationship of certain factors upon the gains of steers on pasture. *J. Anim. Sci.* 5:41. (Resumen).
- y Lucas, H.L. 1952. The design, conduct and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pasture. *Proc. 6th Int. Grassld. Cong.* 6:1380-1385.
- Paladines, O. 1983. Evaluación y selección de germoplasma forrajero. Depto. de Zootecnia, Facultad de Agronomía, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile. p. 58.
- y Bateman, J.V. 1968. Predicción del peso del cuerpo libre de contenido digestivo en vacunos. *Turrialba* 18:21-25. y Leal, J. 1979. Manejo y productividad de las praderas en los Llanos Orientales de Colombia. En: Tergas, L.E. y Sánchez, P.A. (eds.). *Producción de pastos en suelos ácidos de los trópicos.* CIAT, Cali, Colombia. p. 331-346.
- 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. 165-183.
- Payne, W.J.A.; Laing, W.I. y Raikova, E.N. 1951. Grazing behaviour of dairy cattle in the tropics. *Nature (London)* 167:610-611.
- Pepper, P.M. y Mayer, R.J. 1982. Replication rates for grazing experiments with beef cattle on native pasture in central and north Queensland. *Anim. Prod. Aust.* 15:56-58.
- Petersen, R.G. y Lucas, H.L. 1960. Experimental errors in grazing trials. *Proc. 8th Int. Grassld. Cong.* p. 8:747-750.
- Plasse, D. 1983. Crossbreeding results from beef cattle in the Latin American Tropics. *Anim. Breed. Abstr.* 51:799-797.
- Preston, T.R. y Willis, M.B. 1970. *Intensive beef production.* Pergamon Press, Oxford. p. 544.
- Seebeck, R.M. 1967. Developmental growth and body weight loss of cattle. I. Experimental design, body weight growth and the effects of developmental growth and body weight loss on the dressed carcass and official. *Aust. J. of Agric. Res.* 18:1015-1031.
- Shaw, N.H. y 't Mannelje, L. 1970. Studies on a Spear grass pasture in central coastal Queensland. The effect of fertilizer, stocking rate, and oversowing with *Stylo-*

- santhes humilis* on beef production and botanical composition. Trop. Grassld. 4:43-56.
- Siebert, B.D. y Hunter, R.A. 1977. Prediction of herbage intake and liveweight gain of cattle grazing tropical pastures from the composition of the diet. Agric. Systems 2:199-208.
- Taylor, J.C. 1954. Technique of weighing the grazing animal. Proc. Brit. Soc. Anim. Prod. p. 3-16.
- Turner, H.G. y Short, A.J. 1972. Effects of field infestations of gastrointestinal helminths and of cattle ticks (*Boophilus microplus*) on growth of three breeds of cattle. Aust. J. Agric. Res. 23:177-193.
- Vercoe, J.E. y Frisch, J.E. 1981. Animal breeding for improved productivity. En: Hacker, J.B. (ed.). Nutritional limits to animal production from pastures. Proc. Int. Symp., St. Lucia, Queensland, Australia. Commonw. Agric. Bur. Farnham Royal, U.K. p. 327-342.
- Verde, O.; Plasse, D. y Bauer, B. 1981. Peso a los 18 meses de catorce grupos raciales de bovinos de carne en el Beni, Bolivia. Memoria ALPA 16:145. (Compendio).
- Whiteman, J.V.; Loggins, P.F.; Chambers, D.; Pope, L.S. y Stephens, D.F. 1954. Some sources of error in weighing steers on grass. J. Anim. Sci. 13:832-842.
- Wiltbank, J.N.; Rowden, W.W.; Ingalls, J.C. y Zimmerman, D.R. 1964. Influence of post-partum energy level on reproductive performance of Hereford cows restricted in energy intake prior to calving. J. Anim. Sci. 23:1049-1053.
- ; Rowden, W.W.; Ingalls, J.E.; Gregory, K.E. y Koch, R.M. 1962. Effect of energy level on reproductive phenomena of mature Hereford cows. J. Anim. Sci. 21:219-225.
- Willoughby, W.M. 1971. Feeding value and utilization of pasture. Proc. Aust. Soc. Anim. Prod. 8:415-421.
- Yates, J.J.; Edey, L.A.; Davies, J.G. y Haydock, K.P. 1964. Animal production from a *Sorghum alnum* pasture in southeast Queensland. Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb. 4:326-335.

Mediciones de respuesta animal en ensayos de pastoreo: vacas lecheras y de doble propósito

Lucía de Vaccaro*

Resumen

Emplear vacas de ordeño para la evaluación de los pastos tropicales reviste especial interés porque aquéllas son más exigentes que los animales en crecimiento respecto a sus requerimientos nutricionales, y más sensibles a los cambios ocurridos en la calidad de la dieta. Sin embargo, la variación, entre individuos, que ocurre en la producción lechera es mayor, y los factores que la afectan en las condiciones tropicales son diferentes de aquéllos de la zona templada.

Se discuten en este trabajo algunos aspectos que deben considerarse en la medición de la producción lechera de vacas ordeñadas, con amamantamiento del becerro y sin él. La producción de las vacas en ordeño debe medirse en términos de la leche y los sólidos producidos (más lo consumido por el becerro en los sistemas de amamantamiento), de los cambios de peso corporal de las vacas y de los becerros y de la eficiencia reproductiva de las vacas en ensayos de larga duración. Es probable que la producción de leche deba medirse diariamente o cada dos días para minimizar los errores.

Se presentan también evidencias referentes a la necesidad de balancear grupos experimentales de animales según la producción lechera en la lactancia en curso, según la época o el año del parto, la edad de la vaca, el estado de gestación, y el sistema de ordeño previo o actual. En los sistemas con amamantamiento, la ganancia de peso del becerro varía conforme al grupo racial

* Zootecnista, Instituto de Producción Animal, Facultad de Agronomía, UCV, Maracay, Venezuela.

de la madre y del padre, al año o época de nacimiento, al sexo y a su peso al nacer. Se comentan los procedimientos apropiados que pueden aplicarse por la muerte del becerro.

Con respecto al contenido de sólidos de la leche, lo adecuado sería medirlo bimensualmente o mensualmente y tener en cuenta los mismos factores que afectan la variación en la producción de leche. Es necesario además asegurarse de que la muestra de leche tomada para la medición de sólidos sea representativa del total producido, y se señala la dificultad de uniformar ese procedimiento en los sistemas de ordeño con amamantamiento.

Para medir la eficiencia reproductiva se sugiere la concepción natural —rotando toros de conocida fertilidad entre los grupos experimentales de vacas— como la práctica con mayor posibilidad de minimizar los errores. En general, las vacas cruzadas (europea con cebú o con criollo) que posean entre 50 y 75% de genes europeos tienen suficiente potencial genético para que la variación en cantidad y en calidad de los pastos se refleje debidamente en su producción de leche.

En conclusión, es necesario disponer de un elevado número de animales experimentales para seleccionar aquellos grupos experimentales que generen errores mínimos; además, los resultados de los experimentos serán aplicables solamente a las poblaciones que posean las mismas características de la muestra utilizada.

Introducción

El uso de vacas lactantes para evaluar pastos tropicales ha cobrado interés especial en años recientes. En primer lugar, los requerimientos nutricionales de las vacas en lactación son superiores a los de los bovinos en crecimiento; además, la producción de leche refleja cualquier variación en el valor nutritivo de la dieta con mayor precisión que los cambios del peso corporal. Por tanto, si se logra mejorar la calidad y la cantidad del forraje disponible en las pasturas, las vacas lecheras ofrecerán posibilidades más atractivas para su evaluación.

En segundo lugar, el desarrollo de los sistemas de producción de leche basados en pastoreo en el trópico abre, aparentemente, una vía más promisoría hacia la producción económica de leche en los países latinoamericanos, la mayoría de los cuales arrastra un pesado déficit nacional de productos lácteos (Seré y Vaccaro, 1984). En consecuencia, es de sumo interés contar con información sobre el potencial de las pasturas más promisorias que, en cada región, utilizan las vacas en lactación.

El uso de vacas lecheras para evaluar los pastos plantea, no obstante, problemas especiales en las condiciones del trópico si las comparamos con aquéllas de las zonas templadas. No solamente se encuentra mayor variabilidad en la producción de leche entre individuos en el trópico, sino que las fuentes principales de variación y su importancia relativa son también allí diferentes. El objetivo de este trabajo es discutir algunos aspectos sobre el animal que debe usarse y sobre la medición del comportamiento productivo que se debe tener en cuenta en el diseño de estudios de evaluación de pasturas en que se emplean vacas en lactación.

Variables y razas

Características productivas que conviene medir

En la evaluación de los pastos consumidos por las vacas, es necesario considerar no sólo la cantidad de leche producida, incluyendo la que consume el becerro en los sistemas de amamantamiento, sino también el contenido de energía o de proteína —o de una y otra— en la leche. Los cambios de peso corporal también deben considerarse, pues frecuentemente se registran rendimientos superiores a los que pueden justificarse con los nutrimentos consumidos, fenómeno causado por la movilización de las reservas del animal. En estudios de larga duración, la eficiencia reproductiva merece consideración porque la afecta de manera notable el estado nutricional de la vaca. Sin embargo, en vista de la relación entre la actividad reproductiva y los cambios de peso corporal, puede prescindirse de la medición de esta actividad si se cuenta con información sobre los pesos de los animales a lo largo del estudio.

Genotipos de bovinos que pueden usarse

La producción relativa de diferentes tipos genéticos de bovinos en el trópico varía de acuerdo con la magnitud de las diversas formas de estrés a que están sometidos los animales. Los genotipos de mayor potencial productivo no son capaces de manifestarlo bajo condiciones de estrés tropical. Los principios de este fenómeno han sido demostrados claramente por Vercoe y Frisch (1982) en bovinos de carne y son igualmente aplicables a bovinos de leche. En pastoreo, los factores de estrés suelen ser considerables. Los animales reciben poca protección contra los efectos directos del clima, especialmente si no encuentran sombra, una situación frecuente en las parcelas experimentales. Si las parcelas no fueron diseñadas para que las utilizaran vacas lactantes, éstas tendrían que caminar largas distancias hasta el lugar del ordeño consumiendo así en forma innecesaria una parte de la energía acumulada.

Por otra parte, no puede descartarse la presencia de ectoparásitos y endoparásitos en los sistemas de pastoreo y ha sido comprobado que aquéllos

reducen el consumo del animal (Seebeck et al., 1971; Steel y Symons, 1979). Además, si el pasto no es de buena calidad, el calor metabólico producido por su digestión es mayor; éste aumenta la carga calórica del animal e induce la cadena de síntomas asociados con el *estrés climático* que se han observado en animales europeos y de alto mestizaje. Es preciso, por tanto, elegir tipos genéticos de animales capaces de demostrar el potencial productivo de la pastura; éste sería enmascarado por animales con problemas de adaptación al ambiente.

En la práctica, es probable que vacas con 50 a 75% de herencia europea, y una base genética de ganado criollo o cebú, sean las más adecuadas para el trópico. Se esperaría mayor variación en la producción lechera entre individuos de cualquier genotipo específico, dentro de estos límites, que entre los genotipos mismos. En general, los cruces de Holstein con cebú o con criollo han mostrado un comportamiento productivo superior a los cruces de Pardo Suizo con cebú o con criollo (Vaccaro, 1984). Con cargas de 3 a 4 vacas/ha, y poca o ninguna suplementación, las vacas mestizas de este tipo han sido capaces de producir de 6 a 9 litros de leche/día, y de 1500 a 2500 litros por período de lactancia en ordeño sin becerro (Fernández et al., 1977; De La Torre et al., 1978; Martínez y Jerez, 1979; Alvarez et al., 1980; Cubillos, 1982; Fernández-Baca et al., 1984).

La producción de leche: fuentes de variación

Como se mencionó anteriormente, la variación entre individuos en la producción de leche es mayor bajo condiciones tropicales que en las zonas templadas. Lamentablemente, los datos que de ordinario se publican excluyen las lactancias cortas y, por ello, la variación real resulta subestimada. En el Cuadro 1 se resumen algunos resultados de estudios basados en datos no seleccionados; son notorios los coeficientes de variación que suelen alcanzar el 50% o más, en comparación con valores de 20 a 25% encontrados en estudios para clima templado. Es evidente también en esos resultados que estas elevadas cifras se obtienen tanto en las razas tropicales como en las europeas y en los grupos mestizos; no hay, en cambio, evidencia de que la variación en los grupos mestizos sea mayor que en las razas puras, lo cual concuerda con evidencias obtenidas en otras especies (Warwick, 1955). En vista de la amplia variación que afecta la producción entre individuos, es necesario conocer las principales fuentes de variación en las condiciones del trópico para poder formar grupos homogéneos de animales que puedan usarse en los experimentos de pastoreo.

Causas genéticas

Dentro de un grupo racial dado, las causas genéticas explican una fracción relativamente pequeña de la diferencia en producción de leche entre indivi-

Cuadro-1. Ejemplos de la variabilidad presente en la producción de leche^a en distintos grupos raciales en el trópico.

FUENTE	País	Sistema de manejo ^b	Grupo racial	n	\bar{X}	\pm D.T.	CV (%)
Wijeratne (1972)	Sri Lanka	0 = sin becerro	Sinhala (S)	105	570	257	45.0
			F ₁ Frison x S	157	1573	362	23.0
			F ₂ Frison x S	34	989	326	32.9
Hayman (1972)	Australia	0 = sin becerro, Semiestabulación	Jersey (J)	212	1944	1187	61.0
			F ₁ Sahiwal x J	81	758	1034	136.0
			F ₂ Sahiwal x J	47	895	1028	115.0
Nair (1973)	India	0 = sin becerro, Past. + Conc. + Semiestabulación	Cebú (C)	155	723	804	111.0
			Pardo Suizo (PS)	98	2660	957	36.0
			F ₁ PS x C	156	2188	697	31.9
Schaar et al. (1981)	Etiopía	0 = sin becerro, Past. + Conc. (1a. lactancia)	Arussi (A)	202	224	291	129.9
			F ₁ Friesian x A	46	1736	551	31.7
Fernández-Baca et al. (1984)	México	0 = sin becerro, Past + S. Lim. (1a. lactancia)	F ₁ C x Holstein (H)	29	1377	781	56.7
Cardozo et al. (1983)	Venezuela	0 = sin becerro, Estabulación	75-100% H	918	3409	1286	37.7
			75-100% PS	2084	3148	1414	44.9
Capriles et al. (1984)	Venezuela	0 = con becerro (1x), Past + S. Lim.	F ₁ Europeo x Cebú x Criollo	53	1234	622	50.4
Wilkins et al. (1979)	Bolivia	0 = con becerro (1x), Past + Conc.	Pardo Suizo (PS)	11	916	613	66.9
			Mestizos PS no definidos	24	1558	671	43.0
			87.5% PS	32	1661	778	46.8
			50 y 75% PS	80	1775	602	33.9
Breinholt (1983)	Bolivia	0 = con becerro (1x), Past + S. Lim.	Europeo (E)	64	804	419	52.1
			50% E	76	713	283	39.7
			Criollo (Cr)	94	690	250	36.3
			Cebú x Cr	99	669	250	37.4

a. Producción de leche por lactancia, incluyendo lactancias cortas.

b. O = ordeño; Past. = Pastoreo; Conc. = suplementación con concentrados; S. Lim. = suplementación limitada, con melaza u otro producto; (1x) = un ordeño por día; D.T. = desviación típica.

duos. No hay evidencia de que el índice de herencia difiera de los valores de 0.20 a 0.25 usualmente encontrados en los climas templados; sin embargo, pocas veces se ha estimado confiablemente ese índice en las poblaciones mestizas y en los sistemas de ordeño con amamantamiento. Por otro lado, la experiencia indica que la repetibilidad de la producción de leche entre una lactancia y otra es, a veces, muy baja (Lobo et al., 1979b; Valle, 1981). Por tanto, es más aconsejable, probablemente, agrupar los animales experimentales de acuerdo con su rendimiento en la lactancia en curso que por su producción en la anterior; técnicas de covarianza pueden usarse luego para minimizar los efectos de las diferencias presentes entre individuos respecto a su producción inicial. Sin embargo, en estudios que duren más de un período de lactancia de las vacas no se puede asumir que la variación hallada en los períodos posteriores de lactancia sería minimizada por estos procedimientos.

Causas no genéticas

Año y época del año. Estos dos factores suelen ser fuentes importantes de variación en la producción de leche, aunque su magnitud varía de acuerdo con la zona. Por tanto, en los centros experimentales podría resultar conveniente restringir la época de servicio de las vacas a dos o tres meses en el año con el propósito de reducir la variación debida a esta causa. Un beneficio adicional de esta práctica sería la generación de grupos de animales contemporáneos para experimentos posteriores.

Edad de la vaca. La relación curvilínea entre la producción de leche y la edad de la vaca observada en las zonas templadas no se produce, necesariamente, bajo condiciones tropicales. Algunos autores han observado efectos de muy poca importancia (Bodisco et al., 1968; Schneeberger et al., 1982; Abreu et al., 1983) o diferencias entre grupos raciales (Bodisco et al., 1968; Meini, 1973). Esas diferencias deben atribuirse, en parte, a la edad de la vaca al primer parto y a la velocidad con que alcanza la madurez fisiológica, y en parte también a diferentes intensidades de selección. Mientras no se tenga información precisa sobre la población que ha generado los animales experimentales, parecería aconsejable balancear los grupos respecto a la proporción de novillas y vacas de dos o más partos, además de considerar su producción en la lactancia en curso.

Estado de lactancia. Debido a la relación curvilínea entre la producción de leche por día y el número de días después de la parición, se ha recomendado emplear, en experimentos de nutrición, vacas que hayan remontado ya la cresta de la curva de producción y se encuentren en el segmento más estable de la curva (Lucas, 1960). Sin embargo, varios estudios han revelado un descenso lineal en la producción lechera después del parto, tanto para las vacas criollas (Contreras y Rincón, 1979) como para las europeas y mestizas (Reaves, 1976; Madalena et al., 1979) bajo condiciones del trópico. Este

aspecto de la metodología experimental requiere investigación pues encierra ventajas obvias cuando se desea incorporar las vacas en los experimentos durante el primer mes después del parto en vez de hacerlo así en el tercero o cuarto mes.

Estado de gestación. La producción de leche en climas templados comienza a experimentar los efectos negativos de la preñez desde el quinto mes de gestación (Gaines y Davidson, 1926). Las diferencias entre individuos en los días de preñez contribuirán a la variación que presenten esas vacas en su producción de leche, y deberían tenerse en cuenta en la formación de los grupos experimentales. La práctica de limitar los servicios de las hembras a una época determinada del año ayudaría a disminuir la variación debida a esta causa.

Sistema de ordeño. Las vacas mestizas (europea x cebú o europea x criolla) en sistemas de ordeño con amamantamiento tienden a producir mayores cantidades de leche que las vacas en ordeño sin becerro (Ugarte y Preston, 1972; Alvarez et al., 1980). Por su parte, vacas que hayan sido ordeñadas amamantando su becerro, en lactancias anteriores, y luego sean ordeñadas sin becerro, tienden a disminuir la producción de leche (Nair, 1973). De modo semejante, la producción de leche de las vacas cuyos becerros mueren tiende a decrecer en los sistemas de ordeño con becerro (Moulick et al., 1972; Ngere et al., 1973).

Elevadas tasas de descarte —hasta de un 70%— han sido registradas en vacas mestizas debido a las lactancias cortas en el ordeño sin becerro (Hayman, 1972; Alvarez et al., 1980). Es de interés señalar que este resultado no es, necesariamente, el caso general. En un estudio reciente de México, solamente el 10% de la novillas F_1 del cruce Holstein x cebú se secó antes de los 100 días *post partum*, resultado que se atribuyó al manejo muy cuidadoso que recibieron antes y después del parto (Fernández-Baca et al., 1984).

Otro ejemplo aparece en el estudio de Nair (1973) donde hay datos de todas las vacas que parieron y donde se logró un nivel, en promedio, de 2188 kg de leche por lactancia en vacas del cruce Pardo Suizo x cebú (F_1); este resultado indica que la proporción de lactancias cortas no puede haber sido elevada. Lamentablemente, los resultados de muchos otros estudios de este tipo no son fácilmente interpretables porque no indican si las lactancias cortas fueron excluidas o qué proporción representan del total de lactancias.

En conjunto, la evidencia parece indicar que los animales F_1 pueden usarse exitosamente en los sistemas de ordeño sin becerro si reciben un manejo adecuado desde una edad temprana. Es recomendable uniformar el sistema de ordeño en todos los grupos experimentales y evitar cambios en el sistema —en especial, de ordeño 'con becerro' a ordeño 'sin becerro'— de una lactancia a otra.

Frecuencia de medición. En las condiciones del trópico, los errores en la predicción del rendimiento total de leche por lactancia —basada aquélla en pesajes semanales o a intervalos de dos, cuatro e incluso ocho semanas— no han excedido generalmente el 1.5% del promedio real (Jordão et al., 1947; Jardim et al., 1956; Bodisco y Carnevali, 1970; Lindstrom, 1976; Martínez et al., 1979) aunque, en ocasiones, los datos utilizados fueron seleccionados excluyendo las lactancias cortas. Sin embargo, debido a la elevada desviación típica, pueden obtenerse errores considerables en casos individuales tal como ilustró claramente Lindstrom (1976) en un estudio de datos de vacas europeas y cebúes en Kenia. Aun con un error medio de 1.4% del promedio real (2767 kg/lactancia) los pesajes semanales arrojaron errores de -201 a +279 kg de leche en casos individuales, y mayores aún cuando se hicieron pesajes bimensuales o mensuales. Errores de esta magnitud significan que una diferencia equivalente al 17% del promedio podría estar en juego en la comparación de dos vacas, una situación debida solamente a la inexactitud del procedimiento empleado para la medición del rendimiento. Partiendo de esta evidencia, parecería que pesajes diarios o con intervalos de algunos días fuesen recomendables para la evaluación de pastos en las condiciones del trópico.

Producción en el sistema de ordeño con amamantamiento

Los sistemas de ordeño con amamantamiento predominan en el trópico bajo de América Latina, hecho que constituye un argumento poderoso en favor del empleo de este sistema en la evaluación de las pasturas en una zona o región.

Las ventajas del sistema de ordeño con becerro, resumidas por Alvarez et al. (1980), son: un aumento en el rendimiento total de leche, menor incidencia de mastitis, y menor mortalidad de becerros. La desventaja que usualmente se ha observado en este sistema es un relativo aumento en el intervalo entre parto y concepción. Sin embargo, el manejo de la unidad [vaca + becerro] y el análisis de los resultados concomitantes son más complejos que los de la sola unidad [vaca]; además, las fuentes de variación del crecimiento entre becerros también deben tenerse en cuenta.

La producción de la unidad [vaca + becerro] en estos sistemas puede definirse como el rendimiento de leche y sólidos en ordeño más el peso del becerro al destete o en la fecha final del estudio. La ganancia de peso del becerro variaría según los siguientes factores: el grupo racial de la madre y la edad de ésta, el grupo racial del padre, el año y la época de nacimiento, el sexo del becerro, y su peso al nacimiento. Parte de esta variación quedaría minimizada por las prácticas, ya señaladas, de balancear los grupos de acuerdo con la proporción de las novillas y vacas, y de limitar la época de servicio de las hembras. Esta última es de especial importancia porque, además del efecto

directo de la época de nacimiento sobre la ganancia de peso, la velocidad de crecimiento de los becerros varía con la edad y, en consecuencia, no es conveniente comparar tratamientos en los cuales las edades de aquéllos sean muy diferentes. El efecto del genotipo del padre debería minimizarse empleando reproductores de calidad genética similar para servir a las madres. Si se toman las medidas prácticas necesarias para uniformar la edad de las madres, la raza y la calidad genética de los padres, la época de nacimiento y, por ende, la edad del becerro, al finalizar el estudio sería necesario, únicamente, corregir los pesos de los becerros según el sexo y el peso al nacimiento. Cuando las vacas entren al experimento después del parto, sería recomendable no incluir aquéllas cuyos becerros tengan pesos extremos al nacimiento ($\bar{x} \pm 2 \sigma$).

Para comparar la producción total de diferentes tratamientos experimentales sería útil, probablemente, expresar el rendimiento de la unidad [vaca + becerro] en forma agregada, en vez de hacerlo como x kg de leche más y kg de peso vivo del becerro. Una opción posible, de fácil aplicación, es expresar la producción total en términos de proteína sumando la derivada de la producción de leche a la derivada del peso vivo del becerro (Vaccaro et al., 1984).

Un problema práctico que suele presentarse en este sistema es la muerte del becerro. Si ésta ocurre, la unidad [vaca + becerro] debe ser sustituida por otra equivalente sólo si el investigador está seguro de que el estado nutricional del becerro no ha contribuido en forma directa o indirecta a su muerte. En caso de duda, es preferible dejar sólo la vaca en el experimento asignándole 0 kg para el peso del becerro producido, sin olvidar que el rendimiento de leche pudo experimentar un efecto negativo. Por tanto, un doble efecto perjudicial resulta de cualquier insuficiencia nutricional del pasto en los sistemas de este tipo.

Contenido de sólidos lácteos: medición y fuentes de variación

El contenido de sólidos lácteos es menos variable que el volumen de leche producida pues los coeficientes de variación respectivos son inferiores al 10% (Duarte et al., 1979; Lobo et al., 1979a; Guerra y Menéndez, 1983). Las fuentes de variación en los sólidos son, en general, las mismas que afectan el volumen de leche obtenido. En consecuencia, los mismos procedimientos utilizados para minimizar la variación entre individuos respecto a la cantidad de leche tenderían a minimizar también la variación en calidad. Usualmente, el porcentaje de grasa es aquel aspecto de la calidad de la leche que resulta más fácil de medir y sirve por ello como indicación adecuada del contenido total de sólidos. No se dispone de información precisa al respecto, pero es probable

que las muestras bimensuales sean suficientes para caracterizar la calidad de la leche producida en la lactancia.

Es importante que se tome la muestra, proporcionalmente, de toda la leche obtenida en el ordeño de la mañana, y que se combine con otra muestra tomada de toda la leche recogida en el ordeño de la tarde, cuando hay dos ordeños; así se obvia la variación en el porcentaje de sólidos que ocurre durante el ordeño y entre ordeños, según sea el intervalo de tiempo entre éstos. Vacas que amamantan sus becerros al final del ordeño producen porcentajes menores de sólidos en la leche ordeñada pues la porción más rica en sólidos se queda en la leche residual y la consume el becerro (Alvarez et al., 1980). En consecuencia, los resultados obtenidos con distintos sistemas de ordeño no son comparables.

Eficiencia reproductiva: medición y fuentes de variación

Cuando se considere la eficiencia reproductiva de las vacas en la evaluación de las pasturas experimentales, será necesario tener en mente que la variación entre individuos, en cuanto a sus características reproductivas, es elevada y obedece principalmente a factores ambientales.

Estando libres las vacas de anomalías fisiológicas y de infecciones, se espera que las variaciones en la calidad y la cantidad de la pastura se manifiesten, principalmente, como variación en los intervalos entre el parto y el primer celo, y entre el parto y la concepción. Para que estas diferencias puedan cuantificarse con precisión, lo ideal es mantener las vacas junto con toros de reconocida fertilidad. Los toros deben cambiarse o rotarse con frecuencia para evitar que la respuesta de las vacas se confunda con la fertilidad de uno —o de pocos— machos. El uso de toros *retajos* para detectar las vacas en celo que luego serán servidas por un mismo toro durante períodos relativamente cortos (4 a 6 semanas) contribuirá a reducir las posibles causas de error debidas a las diferencias entre los toros.

Si no es factible usar toros para la detección del celo, sería necesario prestar atención muy especial a este aspecto. Errores humanos en la detección de celos han sido señalados, lamentablemente, como la causa más frecuente de la baja fertilidad de las vacas en las condiciones del trópico (Zemjanis, 1965; Bane y Hultnas, 1974). Es recomendable, por ello, que el control del celo se realice tres veces por día durante una media hora en cada oportunidad. Si se usa la inseminación artificial, los toros y los inseminadores deben ser iguales para las vacas asignadas a las distintas pasturas experimentales.

Diseños y número de animales que pueden usarse

La media ponderada de los datos presentados en el Cuadro 1 para vacas F_1 de los cruces europeo x cebú o europeo x criollo, en pastoreo, indica que una varianza (σ^2) de aproximadamente $382,000 \text{ (kg)}^2$ de leche por lactancia sería de esperar si no hay selección previa. Esta cifra equivale a aproximadamente 2.25 (kg)^2 como varianza de la producción diaria. Si se empleara el diseño completamente aleatorizado, sería necesario contar con 40 a 50 vacas por tratamiento para detectar diferencias de un kg/día de leche cuando se prueban de 3 a 6 pasturas distintas como tratamientos: evidentemente, es necesario recurrir a diseños como el de bloques o el de sobrecambio ('change-over' o permutable). Excelentes discusiones de las ventajas y desventajas de los diferentes diseños que pueden ser útiles en estos ensayos han sido publicadas por Lucas (1960), Gill (1981) y, más recientemente en español, por Morton y Wyllie (1983). Por otra parte, una reducción de las diferencias entre individuos puede lograrse seleccionando los animales experimentales, por ejemplo, según la edad y el nivel de producción, como se ha señalado antes. Cabe anotar, sin embargo, que esta selección solamente puede hacerse cuando se disponga de un número grande de animales para los experimentos. En cualquier caso, las conclusiones que se extraigan se aplicarán únicamente a poblaciones que posean las mismas características de la muestra utilizada.

Conclusión

El uso de vacas lecheras y de doble propósito para la evaluación de los pastos tropicales es muy deseable. Sin embargo, se presenta mayor variación entre individuos con respecto a la producción de leche en el trópico que en los climas templados; además, las fuentes de variación y los procedimientos de medición son diferentes para unos y otros. Tales diferencias deberían considerarse en el diseño de las investigaciones que se realicen.

Referencias

- Abreu, O.; Labbé, S. y Kennedy, B.W. 1983. Factores de ajuste de la producción por edad en vacas criollas limoneras. 11a. Reunión de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal. Santiago, Chile. p. GM-40. (Resumen.)
- Alvarez, F.; Saucedo, G.; Arriaga, A. y Preston, T.R. 1980. Efecto sobre la producción de leche y el comportamiento de los becerros al ordeñar las vacas cebú/europeo con y sin apoyo del becerro y amamantamiento restringido. *Producción Animal Tropical* 5:27-39.

- Bane, A. y Hultnas, C.A. 1974. La inseminación artificial del ganado vacuno en los países en desarrollo. *Revista Mundial de Zootecnia* 9:6-11.
- Bodisco, V. y Carnevali, A. 1970. Estimación de rendimientos de vacas lecheras con base en controles periódicos de producción. *Agronomía Tropical* 20:463-469.
- ; ———; Cevallos, E. y Gómez, J.R. 1968. Cuatro lactancias consecutivas en vacas criollas y Pardo Suizas en Maracay, Venezuela. *Memoria. Asociación Latinoamericana de Producción Animal* 1968. p. 61-74.
- Breinholt, K.A. 1982. Annual milk yields and reproductive performance on small scale dairy ranches in tropical Bolivia. *Tropical Animal Prod.* 7:267-274.
- Capriles, M.; Paredes, L.; Vaccaro, L.; Paz, M.; Muñoz, M. y Rivero, A. 1984. Producción de leche y respuesta de becerros a los 6 meses en el rebaño de doble propósito de San Nicolás. En: *Informe Anual 1983. Instituto de Producción Animal, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela, Maracay. (En impresión.)*
- Cardozo, R.; Vaccaro, L.; Vaccaro, R.; Muñoz, A. y Moreno, E. 1983. Evaluación biológica y económica de un sistema intensivo de producción de leche en los Llanos Occidentales. *Informe técnico no. 2. Vice-Rectorado de Producción Agrícola, Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales, Guanare, Venezuela. 50 p.*
- Contreras, R. y Rincón, E. 1979. Curvas de lactancia de vacas criollas limoneras en el trópico húmedo. *Memoria. Asociación Latinoamericana de Producción Animal* 14:140-141. (Resumen.)
- Cubillos, G. 1982. Sistemas de producción de leche en las zonas tropicales. En: Vaccaro, L. (ed.) *Sistemas de producción con bovinos en el trópico americano. Instituto de Producción Animal, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela, Maracay. p. 59-74.*
- De La Torre, M.; Pezo, D. y Echevarría, M. 1978. Producción de leche basada en pastoreo en la Amazonia peruana. *Memoria. Asociación Latinoamericana de Producción Animal* 13:156. (Resumen.)
- Duarte, F.M.; Lobo, R.B.; Ramos, A.A. y Bezerra, L.A.F. 1979. Estudo da porcentagem de gordura de vacas Gir leiteira. I. Efectos não genéticos. *Memoria. Asociación Latinoamericana de Protección Animal* 14:144. (Resumen.)
- Fernández, A.; Macleod, N.A. y Preston, T.R. 1977. Coeficiente de producción de un hato de doble propósito para la producción de leche y becerros destetados. *Producción Animal Tropical* 2:45-49.
- Fernández-Baca, S.; De Lucía, G.R. y Jara, L.C. 1984. Una experiencia de producción de leche y carne en pastoreo en el trópico húmedo de México. *Revista Mundial de Zootecnia. (En impresión.)*
- Gaines, W.L. y Davidson, F.A. 1926. Rate of milk secretion as affected by advance in lactation and gestation. *Illinois Agric. Exp. St. Bulletin no. 272. 63 p.*

- Gill, J.L. 1981. Evolution of statistical design and analysis of experiments. *J. Dairy Sci.* 64:1494-1519.
- Guerra, D. y Menéndez, A. 1983. Causas de variación de la producción de leche y grasa en vacas Holstein. 11a. Reunión de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal. Santiago, Chile. p. GM-29. (Resumen.)
- Hayman, R.H. 1972. *Bos indicus* and *Bos taurus* crossbred dairy cattle in Australia. I. Crossbreeding with selection among filial generations. *Aust. J. Agric. Res.* 23:519-532.
- Jardim, W.R.; Peixoto, A.M.; Silveira Filho, S. y Gomes, F.P. 1956. Estudo sobre a precisão de alguns métodos práticos de controle leiteiro. *R. Agric. Piracicaba.* 31:33-44.
- Jordão, L.P.; Assis, F.P.; Medina, P. y Guaragna, R.N. 1947. Estudo sobre a periodicidade do controle quantitativo da produção leiteira. *B. Ind. Anim.* 9:62-71.
- Lindstrom, U.B. 1976. El registro lechero en los países en desarrollo. *Rev. Mundial de Zootecnia* 19:38-46.
- Lobo, R.; Duarte, F.M. y Wilcox, C.J. 1979a. Informações sobre alguns aspectos reprodutivos e produtivos na raça Pitanguieras. *Memoria. Asociación Latinoamericana de Producción Animal* 14:140. (Resumen.)
- ; Seki, K.; Masotti, N.; Ghion, E. y Nali, L. 1979b. Aspectos reprodutivos e produtivos de um rebanho leiteiro no municipio de Pirassununga, São Paulo, Brasil. *Memoria. Asociación Latinoamericana de Producción Animal* 14:147. (Resumen.)
- Lucas, H.L. 1960. Critical features of good dairy feeding experiments. *J. Dairy Sci.* 43:193-212.
- Madalena, F.E.; Martínez, M.L. y Freitas, A.F. 1979. Lactation curves of Holstein Friesian and Holstein Friesian x Gir cows. *Animal Prod.* 29:101-107.
- Martínez, R.O. y Jerez, I. 1979. Producción de leche de vacas Holstein y Holstein x Cebú pastando pasto Pangola (*Digitaria decumbens* Stent) sin suplementación de concentrados. *Rev. Cubana de Ciencia Agrícola.* 13:11-18.
- Martínez, M.L.; Madalena, F.E. y de Freitas, A.P. 1979. Frecuencia dos registros na seleção para produção de leite. *Pesq. Agropec. Bras.* 14:243-250.
- Meini, G. 1973. Ajuste para edad y peso en producción de leche en ganado Criollo Centroamericano. IICA, Turrialba, Costa Rica. Tesis. 33 p.
- Morton, J.R. y Wyllie, D. 1983. El diseño e interpretación de los experimentos sobre alimentación de animales en los trópicos. *Producción Animal Tropical* 8:306-326.
- Moulick, S.K.; McDowell, R.E.; Van Vleck, L.D. y Guha, H. 1972. Potential of Deshi cattle of India for dairy production. *J. Dairy Sci.* 55:1148-1155.

- Nair, R.N.R. 1973. Evolutionary crossbreeding as a basis for cattle development in Kerala State, India. University of Zurich, Suiza. Tesis.
- Ngere, L.O.; McDowell, R.E.; Bhattacharya, S. y Guha, S. 1973. Factors influencing milk yield of Harianna cattle. *J. Anim. Sci.* 36:457-465.
- Reaves, C.W. 1976. Management factors that pay based on a five-year study of El Salvadorean dairy herd records. Central American Short Course on Beef and Dairy Cattle, San Salvador, 1976. 22 p. (Mimeografiado.)
- Schaar, J.; Brannang, E. y Meskel, L.B. 1981. Breeding activities of the Ethio-Swedish integrated rural development project. II. Milk production of zebu and cross-bred cattle. *World Animal Review* 37:31-36.
- Schneeberger, C.P.; Wellington, K.E. y McDowell, R.E. 1982. Performance of Jamaica Hope cattle in commercial dairy herds in Jamaica. *J. Dairy Sci.* 65:1364-1371.
- Seebeck, R.M.; Springell, P.H. y O'Kelly, J.C. 1971. Alterations in host metabolism by the specific and anorectic effects of the cattle tick (*Boophilus microplus*). I. Food intake and body weight growth. *Aust. J. Biol. Sci.* 24:373-380.
- Seré, C. y Vaccaro, L. 1984. Milk production from dual-purpose systems in tropical Latin America. Proceedings. International Conference on Milk Production in Developing Countries. Edinburgh University, Escocia. (En impresión.)
- Steel, J.W. y Symons, L.E.A. 1979. Current ideas on the mechanisms by which gastro-intestinal helminths influence the rate of wool growth. En: Black, J.L. y Reis, P.J. (eds). *Physiological and environmental limitations to wool growth*. Univ. of New England Publishing Unit, Armidale, Australia. p. 311-320.
- Ugarte, J. y Preston, T.R. 1972. Amamantamiento restringido. I. Efecto de amamantamiento una o dos veces al día sobre la producción de leche y el desarrollo de los terneros. *Rev. Cubana de Ciencia Agrícola* 6:185-194.
- Vaccaro, L. 1984. El comportamiento de la raza Holstein Friesian comparada con la pardo suiza en cruzamiento con razas nativas en el trópico: una revisión de literatura. *Producción Animal Tropical* (En impresión.)
- ; Vaccaro, R. y Capriles, M. 1984. Control de producción en rebaños lecheros de doble propósito. II. La evaluación de vacas de doble propósito. En: Instituto de Producción Animal, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Informe Anual, 1983. Maracay, Venezuela. (En impresión.)
- Valle, A. 1981. Heredabilidad de características productivas y reproductivas en vacas tipo Carora. 8a. Reunión de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal. Santo Domingo, República Dominicana. p. G-26. (Resumen.)
- Vercoe, J.E. y Frisch, J.E. 1982. Animal breeding for improved productivity. En: Hacker, J.B. (ed.). *Nutritional limits to animal production from pastures*. Common. Agric. Bur., Inglaterra. p. 327-342.

- Warwick, E.J. 1955. The place of crossbreeding and inbreeding. En: Rhoad, A.G. (ed.). Breeding beef cattle for unfavorable climates. Univ. Texas Press, Austin, E.U. p. 133-149.
- Wijeratne, W.V.S. 1970. Crossbreeding Sinhala cattle with Jersey and Friesian in Ceylon. Anim. Prod. 12:473-483.
- Wilkins, J.V.; Pereyra, G.; Ali, A. y Ayola, S. 1979. La producción de leche en los llanos tropicales de Bolivia. Rev. Mundial de Zootecnia 32:25-31.
- Zemjanis, R. 1965. Report on cattle fertility survey and related activities: Jamaica. A.I.D., Kingston, Jamaica. 22 p.

Mediciones en la pastura en ensayos de pastoreo

Pablo Mendoza*

Carlos Lascano**

Resumen

Como un objetivo de las pruebas de pastoreo, se plantea la evaluación de las pasturas y su reacción al manejo del pastoreo en función de los parámetros de la producción animal. Se indica además que para facilitar la interpretación de los resultados de dichas pruebas es necesario realizar mediciones de los atributos de la pastura que tengan alguna relación con la producción animal. Se definen, por último, los atributos que experimentalmente se han correlacionado con la ganancia de peso y se discuten algunos métodos de medición de esos atributos.

Introducción

Un objetivo de los ensayos de pastoreo es evaluar las pasturas y su reacción al manejo del pastoreo, en términos de los parámetros de producción animal y de la persistencia de las especies forrajeras estudiadas. Para entender y explicar posteriormente los resultados obtenidos en las respuestas del animal y la persistencia de las especies en la pastura, es necesario hacer mediciones en ésta de tal forma que se pueda describir la cantidad y la calidad del forraje en oferta, así como la dinámica de las especies que la componen.

Se pretende en este trabajo definir los atributos de la pastura y su relación con la producción animal, y resumir luego algunas técnicas para medir esos

* Agrónomo, ICA, Bogotá, Colombia.

** Zootecnista, Programa de Pastos Tropicales, CIAT, Cali, Colombia.

atributos sin perder de vista ciertas consideraciones estadísticas. Los factores relacionados con la persistencia serán tratados por otro autor en este mismo manual.

Atributos de la pastura y producción animal

Es lógico pensar que bajo condiciones de pastoreo, donde la única fuente de alimento —excepción hecha de los minerales— es el forraje en oferta, existe una relación entre uno o varios de los atributos de la vegetación y la producción animal.

Los atributos comúnmente medidos en los ensayos de pastoreo son:

- disponibilidad de forraje;
- composición botánica del forraje (gramínea, leguminosa, malezas);
- calidad del forraje en oferta y seleccionado en el pastoreo.

Las mediciones menos comunes son: la tasa de rebrote y la calidad y composición botánica del forraje seleccionado. La relación que une las mediciones practicadas en la pastura con la producción animal se discute a continuación.

Disponibilidad de forraje

Una medición muy generalizada en los ensayos de pastoreo es la del forraje total disponible la cual, por definición, es la cantidad de forraje en base seca presente por unidad de área en un momento dado y bajo un determinado sistema de pastoreo (Campbell, 1966). En general, se acepta que en la medida en que aumenta la intensidad del pastoreo —a causa de la mayor carga animal o del menor intervalo entre pastoreos— disminuye el forraje total en oferta hasta llegar, a veces, a un punto de sobrepastoreo donde la calidad de ese forraje es alta pero su cantidad limita la producción animal (Willoughby, 1959; Cajas, 1984). De otro lado, cuando la disponibilidad de forraje no es un limitante, no se ha encontrado una buena relación entre el forraje total en oferta y la producción animal (Bryan, 1968; 't Mannetje, 1974; Toledo, Lascano y Giraldo, 1983).

La ausencia de relación entre el forraje total en oferta y la producción animal, sobre todo en las pasturas tropicales, tiene su explicación en la selectividad animal, la cual determina que el forraje consumido a lo largo del año no represente una proporción constante del forraje presente ('t Mannetje

y Ebersohn, 1980). Este hecho se ilustra con datos aportados por Lascano, Tergas y Velásquez (1983) en pasturas de *Brachiaria humidicola* en los Llanos Orientales de Colombia; en ellas, la proporción de materia inerte en el forraje en oferta fue, en promedio, de 15% en época de lluvias y de 73% en época seca, y los valores correspondientes en la dieta fueron de 0% y 19%, respectivamente.

La literatura sobre ciencias agropecuarias ofrece muchos trabajos que informan haber hallado una buena correlación entre la materia verde en base seca disponible (hoja + tallo) y la producción animal (Willoughby, 1959; Roe, Southcott y Turner, 1959; Yates et al., 1964; 't Mannelje, 1974; Watson y Whiteman, 1981). En el experimento descrito por 't Mannelje (1974), la materia verde en base seca (MVS) de leguminosa y de gramínea explicaba 58 y 47%, respectivamente, de la variación observada en la ganancia de peso. Indica además este autor que la variabilidad no explicada pudo deberse a errores en las mediciones de la pastura y de los animales, como también a no haber considerado el rebrote durante el período de ocupación de los potreros.

La importancia de estimar el rebrote para predecir la ganancia de peso bajo pastoreo se aclara con los resultados comunicados por Toledo, Lascano y Giraldo (1983). En un potrero de *Andropogon gayanus* + *Centrosema pubescens* bajo pastoreo continuo, con cargas variables, se midieron cada seis semanas las siguientes variables:

- materia seca total disponible;
- materia verde en base seca presente (hoja + tallo) de gramínea y leguminosa;
- materia verde en base seca real ofrecida (materia verde en base seca presente + rebrote);
- ganancia de peso.

El ajuste de la relación entre los atributos medidos en la pradera (X) y la ganancia de peso por animal por día (Y) mediante un modelo exponencial ($Y = a - be^{-cx}$) reveló que la materia seca total disponible no estaba relacionada con la producción animal. Al incluir en el modelo de ajuste la MVS presente se obtuvo un poco más de correlación con la ganancia de peso ($r^2 = 0.16$), y al incluir el rebrote para obtener MVS real ofrecida, mejoró aún más la relación ($r^2 = 0.67$) debido, posiblemente, a que la medición reflejaba mejor lo consumido por el animal. La escasa relación entre la MVS presente y la ganancia de peso observada en este trabajo pudo deberse al estrecho rango que abarcan las variables estudiadas, dada la optimización que se procuró dar al manejo durante la fase de medición.

Resulta evidente que bajo las condiciones del trópico —con sus períodos lluviosos y secos que afectan no sólo la cantidad del forraje en oferta sino también su composición en términos de la proporción (MVS): (materia

inerte)— el forraje total disponible no tiene relación con la ganancia de peso. Por tanto, para interpretar los resultados de los ensayos de pastoreo es importante medir fracciones constitutivas del forraje total en oferta haciendo énfasis en la MVS y en el rebrote que se produce durante la ocupación del potrero. Por otro lado, la MVS sería más útil que la materia seca total en oferta para documentar procesos de estabilidad o degradación de la pastura en el tiempo y para calcular el número de animales que se deben colocar en los ensayos de pastoreo donde se aplican cargas variables para mantener una presión de pastoreo constante.

Está claro que la medición de la materia inerte será de utilidad en los ensayos de pastoreo cuyo objetivo central sea estudiar el reciclaje de nutrimentos.

Composición botánica del forraje

Una medición muy generalizada en los ensayos de pastoreo es la de la composición botánica, es decir, la proporción en que las especies están presentes en el forraje en oferta en un momento determinado y bajo cierto manejo del pastoreo. Específicamente, resulta de interés medir la disponibilidad o la proporción de leguminosas en las pasturas asociadas, ya que muchos investigadores han encontrado una buena relación entre ganancia de peso y leguminosa disponible (Norman, 1970; Evans y Bryan, 1973; Shaw, 1978b; Watson y Whiteman, 1981). En el trabajo elaborado por Evans y Bryan (1973) se encontró una relación positiva ($r = + 0.89$) entre el contenido de leguminosa de la pastura y la ganancia de peso. Asimismo, Shaw (1978b) halló relaciones positivas y significativas entre el rendimiento de *Stylosanthes humilis* (\log_{10} kg/ha) y la ganancia de peso por animal. Por último, en un análisis de datos que comprende diferentes pasturas, cargas animales y años, Watson y Whiteman (1981) encontraron una relación asintótica ($Y = 0.459 - 0.255 e^{-0.184x}$) entre porcentaje de leguminosa en la pradera (X) y ganancia por animal y por día (Y).

Las mediciones de la composición botánica también han sido utilizadas para interpretar los resultados de ensayos de pastoreo donde la carga animal es una variable de manejo. De un análisis de los resultados de experimentos de pastoreo publicados, Roberts (1980) concluyó que en ciertas pasturas los cambios marcados en la composición botánica parecían tener poco efecto en la relación (*ganancia de peso*):(*carga animal*), mientras que en otras pasturas la pérdida de ciertos componentes, como las leguminosas, podían afectar esa relación sobre todo si tales componentes eran remplazados por especies poco consumidas como algunas malezas. Un buen ejemplo que ilustra este último punto es la relación positiva entre la ganancia de peso y las leguminosas ($r = + 0.89$) que se torna negativa ($r = - 0.92$) respecto a las malezas (Evans y Bryan, 1973).

En ciertas leguminosas existe, sin duda, una disponibilidad mínima que limita la producción animal; los niveles por encima de este límite no afectan la ganancia de peso (t Mannetje, 1974; Watson y Whiteman, 1981). Sin embargo, un exceso de leguminosas de baja palatabilidad en la pastura (*Calopogonium mucunoides*, *Desmodium ovalifolium*, *Pueraria phaseoloides*) puede resultar en una reducción de la ganancia de peso por animal debido al poco consumo de energía digestible (CIAT, 1982). Asimismo, el exceso de ciertas leguminosas puede afectar adversamente la ganancia de peso por unidad de superficie puesto que se hace necesario reducir la carga para lograr un adecuado equilibrio entre las especies de la pastura (CIAT 1980, CIAT 1981, y CIAT 1982).

De la discusión anterior se infiere que la medición de la composición botánica es de singular importancia en los experimentos de pastoreo en praderas asociadas, ya que existe una relación positiva, por lo menos dentro de cierto rango, entre la disponibilidad de ciertas leguminosas y la producción animal. Sin embargo, no se debe limitar la medición de la composición botánica a determinar la proporción de leguminosas en el forraje disponible sino que debe también cuantificar otras especies no sembradas las cuales, en algunos casos, pueden afectar negativamente la producción y la capacidad de carga de las pasturas.

Se debe subrayar que las mediciones de la composición botánica y de la disponibilidad de forraje en la pastura no sólo sirven para explicar ciertas respuestas en producción animal, sino también para evaluar cómo algunos tratamientos (fertilización, manejo del pastoreo) modifican la persistencia de las especies sembradas (Stobbs, 1969; Winks et al., 1974; Winter et al., 1977; Shaw, 1978a).

Calidad del forraje en oferta y seleccionado en el pastoreo

Si el investigador decide considerar la calidad del forraje como uno de los atributos de la pastura, puede esperar que la interpretación que haga de las relaciones existentes entre esos atributos y la producción animal sea más acertada. Esta afirmación es particularmente cierta si se acepta que la producción animal es, en gran medida, una función de los factores de calidad del forraje, cuando la cantidad de éste no es un limitante. Un buen ejemplo son los datos de Watson y Whiteman (1981) quienes encontraron que las ganancias de peso más altas por animal en *B. mutica* + leguminosas —con respecto a otras praderas como *B. decumbens* + leguminosas o *Panicum maximum* + leguminosas— estaban asociadas no sólo con una mayor cantidad de leguminosa en la mezcla sino también con mejores atributos de calidad (digestibilidad de la materia seca, proteínas y minerales) en la gramínea ofrecida y, por ende, seleccionada. En el estudio ya mencionado de Toledo, Lascano y Giraldo (1983) el grado de predicción de la ganancia de peso individual se

mejoró cuando la MVS real ofrecida al animal se corrigió mediante la inclusión de la digestibilidad in vitro de los componentes; el resultado fue un r^2 de 0.84.

Es un hecho conocido que las deficiencias de proteína en el forraje afectan el consumo y, por ende, la producción animal (Minson y Milford, 1967). En ensayos de pastoreo con *B. humidicola* en los Llanos Orientales de Colombia, la baja ganancia de peso durante la época de lluvias se ha asociado (Lascano, Tèrgas y Velásquez, 1983) con las deficiencias marcadas de proteína cruda tanto en el forraje en oferta (3.2%) como en el forraje seleccionado por animales fistulados del esófago (3.7%). Por otro lado, el efecto positivo de las leguminosas para aumentar el contenido de proteína de la gramínea asociada y para elevar la ganancia de peso se ha documentado en varios ensayos de pastoreo en los Llanos de Colombia, mediante la medición del valor nutritivo del forraje tanto en oferta como seleccionado (CIAT, 1981; CIAT, 1983). En estos ensayos, las mayores ganancias de peso obtenidas en asociaciones de *A. gyanus* con *S. capitata* (CIAT, 1981) y de *B. decumbens* con *P. phaseoloides* (CIAT, 1983), en comparación con los monocultivos respectivos, se han relacionado con un mayor contenido de proteína en la gramínea total y en sus componentes (høja y tallo) como también en la dieta de los animales en pastoreo.

Frente a los estudios en que los atributos de calidad medidos en el forraje en oferta han ayudado a interpretar los resultados de ensayos de pastoreo, aparecen otros trabajos que afirman lo contrario. En una comparación de cuatro pasturas asociadas en Australia no se encontró ninguna relación entre los atributos de calidad de la pastura y la ganancia de peso (Bryan, 1968); sugiere allí el autor que la falta de correlación entre los atributos medidos y la ganancia de peso pudo deberse a que no se estaba midiendo lo que realmente consumían los animales, a causa del pastoreo selectivo.

La intensa selectividad expresada por el animal en pastoreo ha sido estudiada en una serie de trabajos en los cuales se han podido documentar diferencias entre:

- especies de plantas (Cowlshaw y Alder, 1960);
- ecotipos de una misma especie (CIAT, 1983);
- plantas fertilizadas y no fertilizadas (CIAT, 1982);
- materia verde y materia inerte (Lascano, Tergas y Velásquez, 1983);
- hojas y tallos (Chacón y Stobbs, 1976).

En general, las mediciones de la selectividad del animal en los ensayos de pastoreo han servido para los siguientes propósitos:

- a) Establecer relaciones entre la materia verde en base seca (MVS) disponible y seleccionada (Hamilton et al., 1973).

- b) Explicar las ganancias de peso en épocas secas y lluviosas en pasturas de gramíneas asociadas con leguminosa (Hunter et al., 1976; Gardener, 1980; CIAT, 1982; CIAT 1983).
- c) Medir el efecto de la fertilización en el consumo de leguminosas por el animal en las pasturas asociadas (McLean et al., 1981).
- d) Predecir la ganancia de peso de animales que pastorean gramíneas solas o asociadas con leguminosas, midiendo la concentración de nitrógeno en la dieta de los animales fistulados (Siebert y Hunter, 1977).

De los trabajos revisados resulta claro que ciertos atributos del forraje, no siempre medidos en los ensayos de pastoreo, están relacionados con la producción animal. Es importante, por consiguiente, medir esos atributos para contribuir a la interpretación de los resultados obtenidos. Por otro lado, la frecuencia con que se deberán realizar mediciones en la pastura dependerá, en gran medida, del objetivo del ensayo; en experimentos de pastoreo diseñados para establecer modelos de predicción de ganancia de peso a partir de los atributos de la pastura, el número y la frecuencia de las mediciones será mayor que en los ensayos donde únicamente se quiere evaluar el manejo del pastoreo y la productividad animal.

Consideraciones estadísticas en el muestreo

En los ensayos de pastoreo en que se estén evaluando especies forrajeras —bajo diferentes manejos del pastoreo, con fertilización o sin ella— es interesante ver cómo estos factores afectan los atributos más importantes de la vegetación y, a la vez, la producción animal. Sin embargo, para poder detectar en la pastura diferencias significativas debidas a los tratamientos, es necesario que, además de un adecuado control de la variabilidad inherente al ensayo de pastoreo (suelo, pastura, tipo de animales), se realicen mediciones tan precisas como sea posible. Para lograr esta precisión, se requiere alguna idea sobre la varianza esperada entre las parcelas experimentales y dentro de ellas. Se recomienda, por tanto, que antes de proceder a muestrear las pasturas experimentales se haga un reconocimiento de cada potrero para determinar su grado de variabilidad tanto en términos de disponibilidad como de composición botánica.

En general, se acepta que cuanto mayor sea el número de muestras que se tomen mayor será la precisión con que se estime la media de algún atributo de la vegetación. Sin embargo, el número de muestras requeridas para estimar la media de la vegetación total con una determinada precisión puede ser menor que el requerido para estimar la media de algunos de los componentes de esa vegetación (materia verde en base seca, materia seca inerte, leguminosas). Por

ejemplo, en un potrero de *A. gayanus* + *D. ovalifolium* bajo pastoreo alterno se necesitaron nueve muestras para estimar la media del forraje total en oferta (gramínea + leguminosa) con un intervalo de confianza de $\pm 20\%$ en torno a la media. En contraste, para estimar la disponibilidad de la leguminosa con la misma precisión se necesitaron aproximadamente 150 muestras.¹

El número de muestras que se debe tomar está también relacionado con la heterogeneidad de la pradera que se está evaluando, con el tipo de muestreo que se realice, y con la altura de corte. Esta relación se ilustra muy bien con los datos suministrados por Amézquita et al. (1983), procedentes de mediciones de forraje disponible en pasturas de *A. gayanus*, *B. decumbens* y *B. humidicola*. En estas pasturas se midió la cantidad de MVS presente utilizando un muestreo aleatorio y estratificado (tres estratos según la altura del forraje en el marco para muestras). El número de muestras requeridas para estimar la cantidad de forraje, con un 20% de precisión en torno a la media y empleando el muestreo aleatorio, fue de 61, 24 y 12 para *A. gayanus*, *B. decumbens* y *B. humidicola*, respectivamente. Sin embargo, cuando se estratificaron las muestras requeridas para obtener la misma precisión ($\pm 20\%$) su número fue de sólo 17 en *A. gayanus* y de 21 y 8 en *B. decumbens* y *B. humidicola*, respectivamente. Es evidente que el muestreo estratificado contribuyó a reducir el número de muestras requeridas, efecto mucho más notorio en la pastura más heterogénea de *A. gayanus* que en las más homogéneas de *Brachiaria* sp.

En el mismo trabajo (Amézquita et al., 1983) el coeficiente de variación en la estimación de MVS de *A. gayanus* se redujo de 134 a 95% al hacer cortes uniformes a 10 cm sobre el suelo en lugar de cortes cuya altura no se tenía en cuenta.

Otro aspecto relacionado con la precisión del muestreo es el tamaño de los marcos utilizados; aquélla aumenta al tomar más muestras con marcos pequeños que si se toma un número menor de muestras con marcos más grandes. Sin embargo, en praderas conformadas por especies erectas (p. ej., *A. gayanus* + *S. capitata*) sembradas en líneas —o donde la vegetación sea dispersa o rala— el empleo de marcos muy pequeños puede resultar ineficiente, sobre todo si se quiere medir la composición botánica del forraje (Tothill, 1978).

Por último, no debe descuidarse la forma del marco que se va a utilizar ya que afecta la eficiencia del muestreo; son recomendables los rectangulares, de preferencia con uno de los lados abiertos para facilitar su manejo (Tothill, 1978). Sin embargo, el efecto de borde es mayor cuando se usan marcos rectangulares y menor con marcos circulares, lo cual implica mayor dificultad

1. Lascano, C. 1984. Datos no publicados.

para decidir si debe considerarse una planta como situada dentro o fuera de un marco rectangular.

Técnicas de medición de atributos en la pastura

Mucho se ha escrito sobre los métodos para medir los atributos de las pasturas, y no es el propósito de este trabajo presentar una revisión exhaustiva de la literatura sobre el tema, sino más bien resumir algunas técnicas de medición ampliamente descritas en las publicaciones de Shaw y Bryan (1976) y Crowder y Chheda (1982) y en las revisiones de 't Mannelje (1978) y Tothill (1978), pero haciendo referencia a algunos trabajos específicos, en beneficio del lector.

Se describen a continuación algunas alternativas para medir diversos atributos:

- Medición de la cantidad de forraje disponible.
- Medición de los componentes del forraje disponible (MVS y materia inerte).
- Medición de la composición botánica de la pastura.
- Medición del rebrote bajo pastoreo.
- Medición de la calidad del forraje en oferta.
- Medición de la composición botánica y la calidad de la dieta.

Medición de la cantidad de forraje disponible

La mayoría de los autores que han escrito sobre técnicas para determinar la disponibilidad de forraje en una pastura indican que el método escogido dependerá, en gran medida, de los siguientes factores:

- tamaño y forma del área experimental;
- tipo de pastura en términos de uniformidad, de densidad y de composición de las especies;
- precisión requerida en la prueba;
- disponibilidad de mano de obra y facilidades de procesamiento de muestras y de datos.

En general, el método que se emplee deberá basarse en consideraciones estadísticas, de practicabilidad, y de costos.

Los métodos de muestreo para estimar la disponibilidad del forraje se pueden dividir en dos grandes grupos: destructivos y no destructivos.

Métodos destructivos. Son aquéllos en que la cantidad de forraje se mide por corte manual o mecánico, mientras que en los no destructivos se miden o

estiman algunas variables de la vegetación que se pueden relacionar con cantidad ('t Mannetje, 1978).

En los métodos destructivos se pueden utilizar desde el corte manual (tijeras, hoz) hasta los equipos mecánicos con propulsión propia o sin ella. Para una descripción detallada de estos equipos se remite al lector a la publicación de 't Mannetje (1978). Por razones obvias, los equipos de corte o cosechadoras de forraje son convenientes para medir forraje disponible en grandes áreas experimentales. Sin embargo, presentan ciertas desventajas, p. ej:

- dificultad de graduar la altura de corte;
- dificultad para separar los componentes de la pradera (gramínea y leguminosa);
- posibilidad de contaminación de las muestras con partículas de suelo.

Por otro lado, la estimación del forraje disponible utilizando marcos y corte manual puede exigir grandes esfuerzos, sobre todo si se quiere alcanzar una precisión alta en la estimación. Es recomendable, entonces, que estas técnicas de muestreo se acompañen con algún tipo de estratificación que permita reducir el número de muestras sin perjuicio de la precisión.

Métodos no destructivos. Básicamente, estos métodos han surgido en respuesta a las desventajas que ofrecen los anteriores. Los principales son:

- estimaciones visuales;
- mediciones de altura y 'cobertura' de las especies forrajeras;
- mediciones de capacitancia y atenuación ('t Mannetje, 1978).

Aun cuando estos métodos no son muy exactos, permiten aumentar la precisión dado que es posible realizar un gran número de observaciones. Para el estudio en detalle de algunos métodos, el lector puede consultar las publicaciones de Mott y Teare (1965), Phillips y Clarke (1971), Lowett y Burch (1972), y Angelone, Toledo y Burns (1980a y 1980b).

Diferentes métodos de estimación del forraje disponible que impliquen observaciones visuales han sido descritos por 't Mannetje (1978). Estos métodos van desde la estimación de la cantidad mediante observaciones puramente visuales, sin ninguna referencia a la cantidad estimada mediante el corte, hasta los métodos de doble muestreo en los cuales se combinan las observaciones visuales con los valores obtenidos en los cortes. De los métodos de doble muestreo, el más utilizado en la actualidad es, tal vez, el de Haydock y Shaw (1975); en éste, el forraje disponible se estima visualmente mediante 50 o más marcos por hectárea, colocados en forma aleatoria o siguiendo una división transversal al potrero o a la parcela ("transepto"); en ellos se da una calificación de 1 a 5, donde 1 representa menos forraje y 5 más forraje. Se utilizan como referencia cinco puntos previamente seleccionados y debida-

mente identificados, los cuales representan la escala o rango (1 a 5) que contiene las variaciones del forraje disponible en la pastura. Una vez hechas las lecturas visuales, los puntos o marcos de referencia se cortan, se pesan y se secan. Con los valores del forraje disponible en los cinco marcos, se construye una regresión lineal ($y = a + bx$) que sirve para estimar la disponibilidad del forraje (y) partiendo de las lecturas visuales (x).

Los métodos para estimar la disponibilidad del forraje, con los cuales se mide la altura y el cubrimiento de la vegetación, también han sido descritos por t Mannelje (1978). Baste mencionar que este método no es, necesariamente, más rápido que los métodos que requieran corte, y que su uso se recomienda más en pasturas relativamente homogéneas.

La constante búsqueda de métodos rápidos, eficientes y verdaderamente no destructivos para estimar la disponibilidad de forraje ha llevado al desarrollo de medidores electrónicos (de capacitancia) y de atenuación β . Las técnicas disponibles han sido revisadas por varios autores entre los cuales se menciona a Tucker (1980) y a Angelone, Toledo y Burns (1980a). Los medidores electrónicos de capacitancia, perfeccionados por Campbell, Phillips y O'Reilly (1962) mediante el uso de electrodos de sonda ('probes') cargados eléctricamente, miden los cambios en capacitancia debidos al tamaño, es decir, a las propiedades aislantes (dieléctricas) del cuerpo situado entre dos electrodos. La constante dieléctrica del agua es mucho mayor ($d_{\text{H}_2\text{O}} = 81$) que la de la celulosa de los tejidos vegetales ($d_{\text{cel.}} \approx 1$; $d_{\text{aire}} = 1$). Por consiguiente, las mediciones con ese instrumento están íntimamente relacionadas con el contenido interior de agua de la planta y con el agua exterior a ella que se encuentra en su superficie, en el aire circundante y en las partículas de suelo adheridas a ella. La técnica está sujeta, por tanto, a problemas de calibración ya que factores ambientales como el rocío y la humedad del suelo o los diferentes porcentajes de humedad interna de la vegetación, introducen errores en las mediciones.

Para obviar esas limitaciones, Angelone, Toledo y Burns (1980a) y Toledo et al. (1981) desarrollaron, calibraron, y utilizaron exitosamente un nuevo medidor de forraje por capacitancia. Este instrumento utiliza un electrodo del tipo disco de tierra ('earthplate') en vez de los electrodos de sonda, y mide los cambios en capacitancia debidos a diversos aspectos de la vegetación (como la altura, la densidad, la superficie) en un área definida por el disco de tierra. En estas condiciones, se cargan eléctricamente el suelo y el disco; como las propiedades dieléctricas del aire tienen aquí un valor constante, los valores de capacitancia se relacionan mejor con la materia seca de la planta que con su contenido de agua. Infortunadamente, este instrumento existe únicamente como prototipo y no se consigue comercialmente.

Por último, la técnica de atenuación β (absorción por la biomasa de las partículas emitidas por isótopos radiactivos) no ha sido suficientemente

probada bajo condiciones diversas de campo como para recomendarla en la actualidad (Tucker, 1980).

Medición de los componentes del forraje disponible

La estimación de los componentes del forraje disponible (materia verde en base seca, materia inerte, hojas y tallo) puede hacerse por separación manual del material cortado o por métodos indirectos.

La *separación manual* exige, muchas veces, tomar submuestras de forraje en los marcos utilizados para medir la disponibilidad de forraje, procurando realizar la separación antes de secar el forraje. El forraje obtenido con los marcos debe mezclarse bien y dividirse en cuartos, de los cuales se sacan las submuestras cuyo tamaño fluctúa entre 0.5 a 1.0 kg de forraje. Como una alternativa, la separación de hojas y tallos, para su uso en análisis químico, se puede hacer en el campo en muestras cortadas sin marco a una altura definida.

Los *métodos indirectos* consisten en medir en el forraje algún constituyente que se halle en diferente concentración en cada uno de los componentes que se quiere separar (Cooper et al., 1957). Este principio ha sido utilizado para estimar la proporción de MVS y de materia inerte mediante la medición de pigmentos solubles en alcohol (Hunter y Grant, 1961) o de la clorofila (Grant, 1971). La confiabilidad del método de los pigmentos solubles en metanol puede reducirse por la variabilidad de las lecturas, la que, a su vez, es un efecto del tamaño de la muestra, de la sensibilidad de los pigmentos al calor y a la luz, y de las diferencias entre especies vegetales en el grado de pigmentación (Hunter y Grant, 1961).

Medición de la composición botánica de la pastura

La composición botánica de una pastura puede estimarse haciendo mediciones de los siguientes factores:

- número o densidad de plantas;
- cobertura de las especies;
- pesaje de las especies presentes.

El *número de plantas* por unidad de área y la *cobertura de las especies* son mediciones muy utilizadas para evaluar el establecimiento y la persistencia de gramíneas y leguminosas en pasturas experimentales. Una descripción del procedimiento con que se hacen estas mediciones se encuentra en la metodología descrita por Toledo y Shultze-Kraft (1982).

El *pesaje de las especies* que conforman la vegetación es una medida muy objetiva para determinar la composición botánica de la pradera. Sin embargo, es un método muy laborioso pues la separación debe hacerse,

generalmente, en forma manual. Para agilizar ese trabajo se recomienda hacer la separación en submuestras representativas (0.5-1.0 kg) de forraje cosechado en marcos, y preferiblemente antes de secar las muestras.

Otra alternativa diferente del corte y la separación manual de las especies para determinar la composición botánica en una pastura es el método del *rango de peso seco* propuesto por 't Mannelje y Haydock (1963) y luego mejorado por Jones y Hargreaves (1979). Este método se basa en determinar qué especies ocupan el primero, el segundo y el tercer lugar, en términos de peso seco, en marcos colocados en forma aleatoria en la pastura. Estas posiciones corresponden a los porcentajes 70.2, 21.1, y 8.7, respectivamente. Para calcular la composición botánica, se determina el número de marcos en que cada especie ocupa el primero, segundo o tercer lugar. Estos números se multiplican por los factores 0.702, 0.211, y 0.087, respectivamente, y los valores se suman para dar como resultado los porcentajes de cada especie en base seca.

Este método es aplicable únicamente en pasturas donde existan, en forma consistente, más de dos especies como gramíneas, leguminosas y malezas. Su empleo es altamente aconsejable en pasturas muy extensas donde haya una gran densidad de especies, como ocurre en las pasturas nativas.

Dos problemas suscita el método original de 't Mannelje y Haydock (1963): los errores que se pueden presentar en las pasturas donde exista una relación entre el rendimiento del forraje en los marcos, de una parte, y el orden en que se hallan las especies, de la otra; asimismo, los errores debidos a la dominancia de una especie. Las modificaciones propuestas por Jones y Hargreaves (1979) tienden a aminorar estos problemas porque introducen correcciones en la calificación de las especies en cada marco por el rendimiento del forraje y porque asignan más de una calificación a la especie dominante.

Una gran ventaja posee el método del rango de peso seco: se puede combinar con el método del doble muestreo por rango visual, lo que permite estimar el forraje disponible y la composición botánica en una sola operación. Obviamente, con este tipo de muestreo se pueden realizar muchas mediciones lo que a su vez aumenta el grado de precisión de la media. Existe un programa de computador llamado BOTANAL (Hargreaves y Kerr, 1978) mediante el cual se pueden analizar los datos obtenidos en el muestreo en forma rápida y eficiente. Los sistemas de muestreo incluidos en el BOTANAL se describen ampliamente en la publicación de Tothill, Hargreaves y Jones (1978).

En general, el éxito del doble muestreo para estimar disponibilidad así como del método de rango de peso seco para estimar la composición botánica se basan en el entrenamiento de los observadores. Deben, por tanto, calibrarse los métodos haciendo que cada observador califique un número determinado de marcos y que sus resultados se comparen con aquéllos

obtenidos por corte y separación manual de las especies en los mismos marcos.

Medición del rebrote bajo pastoreo

La medición de la tasa de crecimiento o rebrote bajo pastoreo continuo o rotacional con períodos de ocupación largos (más de tres días) exige que se protejan ciertas áreas por medio de jaulas. Hay que tener en cuenta que dentro de la jaula se puede alterar el microambiente porque se reducen el viento y la transpiración, y aumentan la humedad y —en algunos casos— la temperatura (Williams, 1951), cambios que afectan el crecimiento de las plantas (Cowlshaw, 1951). Además, para obtener resultados aceptables desde el punto de vista estadístico, es necesario utilizar, en ocasiones, un número considerable de jaulas (Waddington y Cooke, 1971). Los resultados de un estudio hecho en Carolina del Norte, E.U., mostraron que para medir el rebrote y la composición botánica de modo confiable en un ensayo de pastoreo se requerían, por hectárea, más de 24 jaulas de 1.2 x 1.2 m (Joint Comm. Rep., 1952).

La forma tradicional de medir el rebrote en los ensayos de pastoreo ha sido seleccionar varios sitios al azar en la pastura, en los cuales se escogen dos puntos tan uniformes como sea posible respecto a la disponibilidad de forraje y a la composición botánica: en uno de ellos se estima el forraje disponible y en el otro se coloca una jaula. Al final de un período de tiempo determinado se cosecha el área protegida y, por diferencia, se calcula la tasa de rebrote. Esta operación se repite cuantas veces sea necesario. Si el pastoreo es rotacional, con períodos de ocupación muy cortos, el rebrote durante el pastoreo se puede ignorar; la tasa de crecimiento en este caso se calcula tomando como base el forraje disponible antes y después del pastoreo.

Cuando se estima el rebrote en un ensayo de pastoreo interesa también obtener mediciones de la utilización del forraje, tarea que no exige grandes esfuerzos adicionales. Básicamente, se mide el forraje disponible en dos períodos determinados de tiempo y el resultado se corrige respecto al crecimiento del forraje aplicando la siguiente fórmula de Lineham, Lowe y Stewart (1952):

$$\text{Forraje utilizado} = (c - f) \frac{\log d - \log f}{\log c - \log f} \quad (1)$$

donde:

- c = cantidad de forraje presente al comienzo del período de pastoreo;
- d = cantidad de forraje en la jaula al final del período de pastoreo;
- f = cantidad de forraje fuera de la jaula al final del período de pastoreo.

Medición de la calidad del forraje en oferta

Si el objetivo del investigador es obtener datos sobre la calidad del forraje para relacionarlos con la producción animal, es recomendable que las muestras se tomen simulando el pastoreo. Para hacerlo, se observa lo que los animales seleccionan y simultáneamente se cortan las muestras. Sin embargo, debe tenerse en mente que el muestreo que simula el pastoreo puede sobrestimar el valor nutritivo de la dieta (N, DIVMS) cuando se trata de forrajes de alta calidad, y subestimarlos cuando se miden forrajes de baja calidad (Langlands, 1974). Como alternativa se realizan análisis químicos en los componentes de la biomasa disponible; para ello, se toman hojas, tallos y materia inerte de las especies presentes en la pastura que procedan de submuestras obtenidas en los marcos de forraje con que se hicieron los muestreos de disponibilidad.

En los análisis químicos rutinarios (digestibilidad *in vitro*, nitrógeno y minerales) es importante evitar al máximo la contaminación de las muestras con tierra o excrementos. Si no se dispone de un congelador, el secamiento de las muestras debe hacerse tan rápidamente como sea posible, utilizando temperaturas no mayores de 60°C para evitar alteraciones de los componentes químicos del forraje (Van Soest, 1964).

Medición de la composición botánica y calidad de la dieta

Gracias al desarrollo de técnicas para fistular animales en el esófago (Torell, 1954; McManus, 1962; Little y Takken, 1970) es posible obtener muestras del forraje que han seleccionado los animales en pastoreo.

El objetivo de un gran número de trabajos experimentales ha sido el estudio de los factores que pudieran afectar la estimación de la dieta bajo pastoreo utilizando animales fistulados (Langlands, 1967; Langlands, 1969; Arnold y Dudzinski, 1967; McManus, Arnold y Ball, 1968; Little, 1972; Little, 1975; Cohen, 1979). Baste indicar que si se desea obtener buenas estimaciones del forraje consumido por los animales en pastoreo conviene adoptar las siguientes recomendaciones.

- familiarizar a los animales fistulados con el área experimental;
- no permitir ayunos muy prolongados;
- utilizar el mayor número posible de animales por muestreo;
- hacer muestreos en diferentes épocas del año (p. ej., en lluvias o en sequía);
- tomar ciertas precauciones en el procesamiento de las muestras de forraje extraídas del esófago, sobre todo en el secado (a temperatura no mayor de 60°C).

Mediante el análisis químico del forraje obtenido con fistulas esofágicas se pueden estimar el nitrógeno y las fracciones solubles (Little, 1972) y también

la digestibilidad de la dieta (Cohen, 1979). Además, Little (1975) comprobó que con muestras del esófago se podía estimar con bastante precisión las concentraciones de Ca, S, Cu y Mg en la dieta y, con menor precisión, el Mo y el Mn. Sin embargo, la gran contaminación que ocasiona la saliva no permite estimar las concentraciones de fósforo y zinc en la dieta utilizando las muestras obtenidas en esa forma (Little, 1972; Little, 1975).

La proporción hoja:tallo en la dieta de los animales en pastoreo se puede estimar en el forraje extraído del esófago (Chacón, Stobbs y Haydock, 1977) por separación manual o mediante aire que circule a través de una columna del tipo utilizado para limpieza de semillas (Lascano, 1979). Es posible también estimar esa relación mediante lecturas con un microscopio de la frecuencia de aparición de hojas o tallos (puntos) en las muestras de forraje esparcidas en un plato de Petri (Heady y Torell, 1959).

La composición botánica de la dieta de los animales en pastoreo se puede estimar mediante la lectura de las muestras extraídas del esófago con un estereoscopio de 400 puntos (Heady y Torell, 1959). Con este método se identifican únicamente los fragmentos grandes de la planta porque se emplea poca magnificación ($X \leq 18$). Respecto al peso, conviene corregir los datos de frecuencia de puntos leídos en una muestra, mediante ecuaciones de predicción desarrolladas a partir de una mezcla de especies en proporciones conocidas (Heady y Van Dyne, 1965). En general, se considera que el método de lectura es confiable únicamente para estimar la composición botánica de la dieta dentro de rangos relativamente amplios definidos como poco ($\leq 20\%$), intermedio (21-50%) o alto ($\geq 50\%$) (Marshall y Squires, 1979).

Otra alternativa para estimar la composición botánica en la dieta es utilizar un constituyente como el calcio, cuya concentración es diferente en las gramíneas y las leguminosas (Playne et al., 1978). Sin embargo, este método presenta dificultades, ya que la concentración de calcio puede ser diferente entre una y otra hoja o entre uno y otro tallo de una misma planta y cambia según la madurez de ésta.

La composición de la dieta de los animales en pastoreo también se ha estimado utilizando las heces para identificar epidermis o fragmentos de planta (Storr, 1961; Stewart, 1967; Williams, 1969). Más recientemente, se ha utilizado la proporción de los isótopos naturales de carbono ($^{12}\text{C}:^{13}\text{C}$) en las heces para estimar la composición de la dieta de animales en pastoreo (Jones et al., 1979). Se basa el método en que la relación $^{12}\text{C}:^{13}\text{C}$ en las gramíneas (plantas C_4) es diferente de la relación en que esos isótopos se hallan en las leguminosas (plantas C_3). El empleo de esta técnica ha sido revisado por Jones (1980) y basta decir que ofrece, indudablemente, varias ventajas para estimar la composición de la dieta, entre otras, que no requiere animales fistulados. Sin embargo, las diferencias en digestibilidad entre gramíneas y

leguminosas pueden introducir algún error en las estimaciones de la composición botánica de la dieta. Además, su empleo podría restringirse seriamente dados los altos costos del espectrofotómetro de masas que se necesita para analizar los isótopos naturales del carbono.

Conclusiones

Para interpretar los resultados obtenidos en las pruebas de pastoreo es necesario realizar mediciones de los atributos de la vegetación relacionados con la producción animal, tales como:

- MVS en oferta, ojalá corregida respecto a las tasas de rebrote y a los factores de calidad;
- Composición botánica del forraje en oferta.

La frecuencia de medición de estos atributos dependerá de los objetivos del ensayo de pastoreo; será mayor en la medida en que se quieran formular modelos de predicción de la ganancia de peso, y menor únicamente cuando se busque información útil para interpretar los resultados de la producción animal.

Varios métodos pueden emplearse para hacer mediciones en la pastura y el empleo de cualquiera de ellos debe fundarse en consideraciones de tipo estadístico, en su practicabilidad y en sus costos. Los métodos de muestreo destructivos y manuales son objetivos pero exigen gran trabajo; si se emplean estos métodos, sobre todo en pasturas muy heterogéneas, se recomienda estratificarlas con el fin de reducir el número de muestras que se cortarán sin alterar la precisión del muestreo. Las técnicas de muestreo no destructivas —basadas en medidores de capacitancia comercialmente disponibles— adolecen todavía de problemas de calibración, sobre todo aplicadas a pasturas con proporciones variables de materia verde y de materia inerte.

Otras técnicas, como el doble muestreo por rango visual para estimar la disponibilidad del forraje, y el método del rango de peso seco para estimar la composición botánica, son atractivas porque permiten realizar un gran número de observaciones en poco tiempo y, relativamente, con poco esfuerzo. Sin embargo, su uso debe estar precedido por una buena calibración e ir acompañado, en lo posible, por un programa adecuado de manejo de datos por computador.

Las estimaciones de la composición química y la composición botánica de la dieta son ayudas adicionales para la interpretación de los resultados de los ensayos de pastoreo. Sin embargo, su medición implica, generalmente, el empleo de animales fistulados, no siempre disponibles en la mayoría de las estaciones experimentales. Otras técnicas para estimar la composición de la dieta —discutidas en este trabajo— requieren largo entrenamiento o equipos muy costosos.

Referencias

- Angelone, A.; Toledo, J.M. y Burns, J.C. 1980a. Herbage measurements in situ by electronics. 1. Multiple-probe type capacitance meter; a brief review. *Grass and Forage Sci.* 35:25-33.
- ; ———. y ———. 1980b. Herbage measurement in situ by electronics. 2. Theory and design of an earth plate capacitance meter for forage dry matter estimation. *Grass and Forage Sci.* 35:95-103.
- Amézquita, M.C.; Toledo, J.M.; Giraldo, H. y Rojas, A. 1983. Número de muestras a tomar para estimar producción de forraje bajo pastoreo. IX Reunión Latinoamericana de Producción Animal. (Resumen.)
- Arnold, G.W. y Dudzinski, M.L. 1967. Studies on the diet of the grazing animal. II. The effect of physiological status of ewes and pasture availability on herbage intake. *Aust. J. Agric. Res.* 18:349-359.
- Bryan, W.W. 1968. Grazing trials on the Wallum of South-eastern Queensland. 1. Comparison of four pastures. *Aust. Exp. Agric. Anim. Husb.* 8:512-520.
- Cajas, Socorro. 1984. Efecto de la carga en el crecimiento y aparición de celo en novillas de levante en los pastos *Brachiaria humidicola*, *Melinis minutiflora* y *Desmodium ovalifolium*. Facultad de Zootecnia, Universidad Nacional de Colombia, Palmira. Tesis. 102 p.
- Campbell, A.G. 1966. Grazed pasture parameters. I. Pasture dry-matter production and availability in a stocking rate and grazing management experiment with dairy cows. *J. Agric. Sci. Camb.* 67:199-216.
- ; Phillips, D.S.M. y O'Reilly. 1962. An electronic instrument for pasture yield estimation. *J. Br. Grassld. Soc.* 17:89-99.
- Chacón, E.; Stobbs, T.H. y Haydock, K.P. 1977. Estimation of leaf and stem contents of oesophageal extrusa samples from cattle. *J. Aust. Inst. Agric. Sci.* 43:73-75.
- . y Stobbs, T.H. 1976. Influence of progressive defoliation of a grass sward on the eating behaviour of cattle. *Aust. J. Agric. Res.* 27:709-727.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1984. Informe anual del Programa de Pastos Tropicales, 1983. Cali, Colombia. 388 p.
- . 1983. Informe anual del Programa de Pastos Tropicales, 1982. Cali, Colombia. 361 p.
- . 1982. Informe anual del Programa de Pastos Tropicales, 1981. Cali, Colombia. 299 p.
- . 1981. Informe anual del Programa de Pastos Tropicales, 1980. Cali, Colombia. 137 p.
- Cohen, R.D.H. 1979. Factors influencing the estimation of the nutritive value of the diet selected by cattle fistulated in the oesophagus. *J. Agric. Sci.* 93:607-618.

- Cooper, C.S.; Hyder, D.N.; Petersen, R.G. y Sneva, F.A. 1957. The constituent differential method of estimating species composition in mixed hay. *Agronomy Journal*. 49:190-193.
- Cowlshaw, S.J. y Alder, F.E. 1960. The grazing preferences of cattle and sheep. *J. Agric. Sci. Camb.* 54:257-265.
- . 1951. The effect of sampling cages in the yields of herbage. *J. Br. Grassld. Soc.* 28:155-160.
- Crowder, L.V. y Chheda, H.R. 1982. Measurement of pasture production. En: Wringley, G. (ed.). *Tropical grassland husbandry; Tropical Agriculture Series*. Longman, Nueva York y Londres. p. 386-410.
- Evans, T.R. y Bryan, W.W. 1973. Effects of fertilizers and stocking rates on pasture and beef production on the Wallum of South-eastern Queensland. 2. Animal response in terms of liveweight change and beef production. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 13:530-536.
- Gardener, C.J. 1980. Diet selection and liveweight performance of steers on *Stylosanthes hamata* - native grass pastures. *Aust. J. Agric. Res.* 31:379-392.
- Grant, S.A. 1971. The measurement of primary production and utilization on heather moors. *J. Br. Grassld. Soc.* 26:51-58.
- Hamilton, B.A.; Hutchinson, K.J.; Annis, P.C. y Donnelly, J.B. 1973. Relationships between the diet selected by grazing sheep and the herbage on offer. *Aust. J. Agric. Res.* 24:271-277.
- Hargreaves, J.N.G y Kerr, J.D. 1978. Botanal; a comprehensive sampling and computing procedure for estimating pasture yield and composition. II. Computational package. Division of Tropical Crops and Pastures, Tropical Agronomy, CSIRO, Australia. Technical memorandum no. 9.
- Haydock, K.P. y Shaw, N.H. 1975. The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 15:663-670.
- Heady, H.F. y Van Dyne, G.M. 1965. Prediction of weight composition from point samples on cipped herbage. *J. Range Mgmt.* 18:144-148.
- . y Torell, D.T. 1959. Forage preference exhibited by sheep with oesophageal fistulas. *J. of Range Manage.* 12:28-34.
- Hunter, R.A.; Siebert, B.D. y Breen, M.J. 1976. The botanical and chemical composition of the diet selected by steers grazing Townsville stylo grass during a period of liveweight gain. *Proc. Aust. Soc. Anim. Prod.* 11:457-460.
- Hunter, R.F. y Grant, S.A. 1961. The estimation of 'green dry matter' in a herbage sample by methanal-soluble pigments. *J. Br. Grassld. Soc.* 16:43-45.
- Joint Comm. Rep. 1952. Pasture and range research techniques. *Agron. J.* 44:39-50.
- Jones, R.M. y Hargreaves, J.N.G. 1979. Improvements to the weight-rank method for measuring botanical composition. *Grass and Forage Science* 34:181-189.

- Jones, R.J. 1980. The use of natural carbon isotope ratios in studies with grazing animals. En: Wheeler, J. L. y Mochrie, R.D. (eds.). Forage evaluation: concepts and techniques. CSIRO, Australia. p. 277-286.
- ; Ludlow, M.M.; Troughton, J.H. y Blunt, C.G. 1979. Estimation of the proportion of C₃ and C₄ plants species in the diet of animals from the ratio of natural ¹²C and ¹³C isotopes in the faeces. J. Agric. Sci. Camb. 92:91-100.
- Langlands, J.P. 1974. Studies on the nutritive value of the diet selected by grazing sheep. VII. A rate on hand pucking as a technique for estimating dietary composition. Animal Production 19:249-252.
- . 1969. Studies on the nutritive value of the diet selected by grazing sheep. IV. Variation in the diet selected by sheep differing in age, breed, sex, strain, and previous history. Anim. Prod. 11:369-378.
- . 1967. Studies on the nutritive value of the diet selected by grazing sheep. I. Differences in composition between herbage consumed and material collected from oesophageal fistulae. Anim. Prod. 9:167-175.
- Lascano, C. 1979. Determinants of grazed forage voluntary intake. Texas A&M University, College Station, Texas. Tesis. 199 p.
- ; Tergas, L.E. y Velásquez, J. 1983. Medición de consumo voluntario en experimentos de pastoreo en los Llanos Orientales de Colombia. IX Reunión Latinoamericana de Producción Animal. (Resumen.)
- Lineham, P.A.; Lowe, J. y Stewart, R.H. 1952. The output of pasture and its measurement. J. Br. Grassld. Soc. 7:73-98.
- Little, D. A. 1975. Studies on cattle with oesophageal fistulae: Comparison of concentrations of mineral nutrients in feeds and associated boluses. Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husband. 15:437-439.
- . 1972. Studies on cattle with oesophageal fistulae: the relation of the chemical composition of feed to that of the extended bolus. Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husband. 12:126-130.
- y Takken, A. 1970. Preparation of oesophageal fistulae in cattle under local anaesthesia. Aust. Vet. J. 46:335-337.
- Lowett, J.V. y Burch, G.J. 1972. The electronic measurement of small herbage yields using a high sensitivity capacitance meter. J. Br. Grassld. Soc. 27:83-86.
- 't Mannetje, L. y Ebersohn, J.P. 1980. Relations between sward characteristics and animal production. Tropical Grasslands 14:273-280.
- . 1978. Measuring quantity of grassland vegetation. En: 't Mannetje, L. (ed.). Measurement of grassland vegetation and animal production. Bulletin no. 52. Commonwealth Bureau of Pastures and Field Crops, Hurley, England. p. 63-90.
- . 1974. Relations between pasture attributes and liveweight gains on a subtropical pasture. En: Proc. 12th Int. Grassld. Congr. Grassland utilization. 1. Moscú, URSS. p. 386-390.

- y Haydock, K.P. 1963. The dry weight-rank method for the botanical analysis of pasture. *J. Br. Grassld. Soc.* 18:268-275.
- Marshall, Janice W. y Squires, V.R. 1979. Accuracy of quantitative methods used for the botanical analysis of oesophageal fistula samples. *Trop. Grassld.* 13:140-148.
- McLean, R.W.; Winter, W.W.; Matt, J.J. y Little, D.A. 1981. The influence of superphosphate on the legume content of the diet selected by cattle grazing *Stylosanthes* - native grass pastures (nota breve). *J. Agric. Sci. Camb.* 96:247-249.
- McManus, W.R.; Arnold, G.W. y Ball, J. 1968. Effect of physiological status on diet selection by grazing ewes. *J. Br. Grassld. Soc.* 23:223-227.
- : 1962. Oesophageal fistulation studies in the sheep. *Aust. Vet. J.* 38:85-91.
- Minson, D.J. y Milford, R. 1967. The voluntary intake and digestibility of diets containing different proportions of legume and mature Pangola grass (*Digitaria decumbens*). *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 7:546-551.
- Mott, G.O. y Teare, I.D. 1965. Estimating forage yield in situ. *Crop. Sci.* 5:311-313.
- Norman, M.J.T. 1970. Relationships between liveweight gain of grazing steers and availability of Townsville lucerne (*Stylosanthes humilis*). *Proc. 11th Int. Grassld. Cong., Surfers Paradise, Australia.* p. 829-832.
- Playne, M.J.; Megarrity, R.G. y Le Feurere, R.P. 1978. Estimation by calcium analysis of the proportion of grass in oesophageal fistula samples from cattle grazing grass-stylo pastures. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 18(92):325-334.
- Phillips, D.S.M. y Clarke, S.E. 1971. The calibration of a weighed disc against pasture dry matter yield. *Proc. N.Z. Grassld. Assoc.* 33:68-75.
- Roe, R.; Southcott, W.H. y Turner, H.N. 1959. Grazing management of native pastures in the New England region of New South Wales. 1. Pasture and sheep production with special reference to system of grazing and internal parasites. *Aust. J. Agric. Res.* 10:530-554.
- Roberts, C.R. 1980. Effect of stocking rate on tropical pastures. *Tropical Grasslands* 14:225-231.
- Shaw, N. H. 1978a. Superphosphate and stocking rate effects on a native pasture oversown with *Stylosanthes humilis* in Central Coastal Queensland. 1. Pasture Production. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 18:788-799.
- . 1978b. Superphosphate and stocking rate effects on a native pasture oversown with *Stylosanthes humilis* in Central Coastal Queensland. 2. Animal Production. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 18:800-807.
- y Bryan, W. W. 1976. Tropical pasture research: principles and methods. *Bulletin no. 51. Commonwealth Bureau of Pastures and Field Crops, Hurley, England.*

- Siebert, B. D. y Hunter, R. A. 1977. Prediction of herbage intake and liveweight gain of cattle grazing tropical pastures from the composition of the diet. *Agricultural Systems* 2:199-208.
- Storr, G. M. 1961. Microscopic analysis of faeces, a technique for ascertaining the diet of herbivorous mammals. *Aust. J. Biol. Sci.* 14:157-164.
- Stewart, D. R. M. 1967. Analysis of plant epidermis in faeces: a technique for studying food preference of grazing herbivores. *J. Appl. Ecol.* 4:83-111.
- Stobbs, T. H. 1969. The effect of grazing management upon pasture productivity in Uganda. III. Rotational and continuous grazing. *Trop. Agric. (Trinidad)* 46:293-301.
- Toledo, J. M.; Lascano, C. y Giraldo, H. 1983. Medidas en la pastura y su relación con producción animal. 9a. Reunión Latinoamericana de Producción Animal. (Resumen.)
- . y Schultze-Kraft, R. 1982. Metodología para la evaluación agronómica de pastos tropicales. En: Toledo, J. M. (ed.). *Manual para la evaluación agronómica; Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales*. CIAT, Cali, Colombia. p. 91-110.
- . ; Burns, J.C.; Lucas, H.L. Jr. y Angelone, A. 1981. Herbage measurements in situ by electronics. III. Calibration, characterization and field application of the earth-plate forage capacitance meter: a prototype. *Grass and Forage Sci.* 35:189-196.
- Torell, D. T. 1954. An oesophageal fistula for animal nutrition studies. *J. Anim. Sci.* 13:878-884.
- Tothill, J. C. 1978. Measuring botanical composition of grasslands. En: 't Mannelje, L. (ed.). *Measurement of grassland vegetation and animal production*. Bulletin no. 52. Commonwealth Bureau of Pastures and Field Crops, Hurley, England. p. 22-55.
- . ; Hargreaves, J.N.G. y Jones, R.M. 1978. Botanical; a comprehensive sampling and computing procedure for estimating pasture yield and composition. I. Field sampling. Division of Tropical Crops and Pastures, Tropical Agronomy, CSIRO, Australia. Technical memorandum no.8.
- Tucker, C.J. 1980. A critical review of remote sensing and other methods for non-destructive estimation of standing crop biomass. *Grass and Forage Science* 35:177-182.
- Van Soest, P.J. 1964. Symposium on nutrition forages and pastures: New chemical procedures for evaluating forages. *J. Anim. Sci.* 23:838.
- Waddington, J. y Cook, D.A. 1971. The influence of sample size and number on the precision of estimates of herbage production and consumption in two grazing experiments. *J. Br. Grassld. Soc.* 26:95-101.

- Watson, S.E. y Whiteman, P.C. 1981. Grazing studies on the Guadalcanal Plains, Salomon Islands. II. Effects of pasture mixtures and stocking rate on animal production and pasture components. *J. Agric. Sci. Camb.* 97:353-364.
- Williams, O.B. 1969. An improved technique for identification of plant fragments in herbivore faeces. *J. Range Manage.* 22:51-52.
- Williams, S. S. 1951. Microenvironment in relation to experimental techniques. *J. Br. Grassld. Soc.* 6(4):207-217.
- Willoughby, W.M. 1959. Limitations to animal production imposed by seasonal fluctuations in pasture and by management procedures. *Aust. J. Agric. Res.* 10:248-268.
- Winks, L.; Lamberth, F.C.; Mair, K.W. y Pepper, Patricia M. 1974. Effect of stocking rate and fertilizer on the performance of steers grazing Townsville stylo-based pasture in north Queensland. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 14:146-154.
- Winter, W.H.; Edey, L.A.; Megarrity, R.G. y Williams, W.T. 1977. Effects of fertilizer and stocking rate on pasture and beef production from sown pastures in northern Cape York Peninsula. 1. Botanical and chemical composition of the pastures. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 17:66-74.
- Yates, J. J.; Edey, L. A.; Davies, J. G. y Haydock, K. P. 1964. Animal production from a *Sorghum alnum* pasture in South-east Queensland. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 4:326-335.

Persistencia de las especies forrajeras bajo pastoreo

R.M. Jones*

Resumen

Se discuten en este trabajo aspectos relacionados con la persistencia de las especies forrajeras en una pastura en términos del equilibrio entre la muerte de los individuos y el surgimiento de nuevas plantas por medios sexuales o asexuales; de estos dos los primeros se describen como etapas del desarrollo de las plantas relacionadas con la formación de la semilla, con las reservas de semilla en el suelo, y con la regeneración y supervivencia de las plántulas.

Los diversos factores que controlan la persistencia de las especies forrajeras se agrupan, en sentido amplio, en aquéllos que pueden ser manejados y controlados por el productor, y en aquéllos en que el productor no puede intervenir. Los factores controlables comprenden la carga animal, el sistema de pastoreo y la aplicación de fertilizantes. Algunos ejemplos indican cómo, mediante el conocimiento de los efectos asociados con el manejo del pastoreo, es posible diseñar prácticas que aseguren la persistencia de las especies en una pastura.

Se hace también una breve referencia a las mediciones requeridas para cuantificar varios estados de persistencia de una pastura, y a las ventajas y desventajas que presentan las diferentes técnicas de medición. Se hacen sugerencias sobre el momento apropiado para hacer mediciones detalladas de la persistencia en los ensayos de pastoreo y se recomienda que sólo pensar sobre la persistencia y sus mecanismos es conveniente, aun cuando no haya

* CSIRO, Division of Tropical Crops and Pastures, St. Lucia, Australia.

oportunidad de hacer mediciones. Se menciona, finalmente, que en muchos casos es necesario considerar la variabilidad de una pastura cuando se habla de persistencia.

Introducción

En los últimos años se han escrito varios libros o documentos sobre la metodología que debe seguirse en ensayos de pastoreo (Alexander, 1973; Shaw y Bryan 1976; t Mannetje, 1978) pero se le ha prestado poca o ninguna atención al tema de la persistencia de las plantas. Por consiguiente, los problemas asociados con la persistencia se reconocen cada vez más como una preocupación real. Anteriormente, la mayoría de los informes sobre persistencia en los experimentos de pastoreo tendían a presentarse en términos tales como: "en este experimento la especie A persistió bajo la mayor carga animal, en tanto que la especie B no lo hizo...". Los conocimientos de esta naturaleza son de uso limitado en la extrapolación de los resultados de ensayos de pastoreo o en la formulación de técnicas para mejorar la persistencia, ya que éstas describen solamente los resultados obtenidos y no los procesos fundamentales.

En este trabajo se examinan primero los mecanismos de persistencia de las plantas en pastoreo; luego se considera el valor de dicha información; por último, se describen brevemente algunas metodologías de medición pertinentes, seguidas por recomendaciones sobre su uso en los experimentos de pastoreo. Se hace también énfasis en el componente leguminosas de las pasturas asociadas, dado que su persistencia en muchas situaciones (aunque no en todas) es más problemática que la persistencia de las gramíneas. Se utilizaron aquí citas de libros y de revisiones como referencias generales a la literatura ecológica sobre la persistencia de las plantas, pero las referencias específicas se han limitado a las especies de pastos, particularmente a las del trópico y subtropical.

Mecanismos de persistencia

La dinámica de poblaciones, o 'demografía' de las plantas, se relaciona con el número de plantas de la pradera y con el modo como cambian estos números a medida que pasa el tiempo (Harper, 1977). Las tasas importantes son las que se relacionan con la aparición y muerte de individuos; en cualquier momento, la densidad de población —la cual es una medición de etapa y no de tasa— depende del ingreso y egreso de individuos. Dichos cambios están ocurriendo siempre, incluso en pasturas botánicamente estables; por ejemplo, algunos estolones del pasto pangola (*Digitaria decumbens*) estarían muriendo cuando nuevos estolones se están formando, pese a que la contribución de este pasto a

la pastura puede permanecer estática. Igualmente, es posible obtener pasturas anuales botánicamente estables en el sentido de que la composición botánica es similar de un año a otro, a pesar de que se repite anualmente el ciclo de regeneración de las plántulas, su crecimiento y la formación de semillas. En las pasturas anuales, una persistencia pobre significa que en los años sucesivos se regeneran cada vez menos plántulas.

Supervivencia y mortalidad

El concepto de persistencia de especies en las pasturas se ilustra en la Figura 1. Cuando se siembra una especie en un campo preparado, hay una oportunidad razonable de alcanzar la densidad de población deseada manipulando la tasa de siembra, preparando el terreno, y eligiendo la fecha de siembra. La probabilidad de éxito se reduce cuando se siembra la semilla a voleo, pero, en general, las especies recién introducidas constituyen una población donde todas las plantas sembradas se establecen, virtualmente, al mismo tiempo. No obstante, todas esas plantas podrían morir. En algunos casos, la superviven-

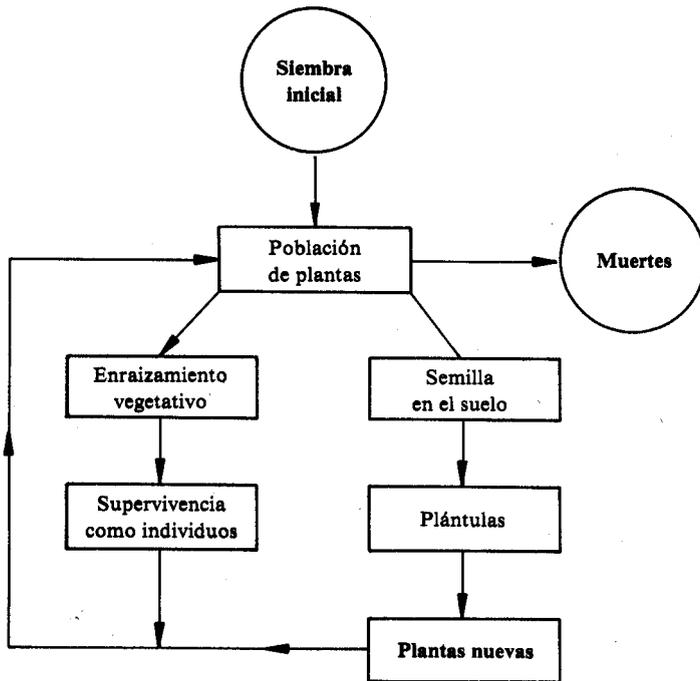


Figura 1. -Persistencia de especies forrajeras bajo pastoreo expresada como siembra inicial, aparición de nuevas plantas, y muerte de plantas.

cia en el tiempo se puede describir mediante una relación exponencial (Figura 2) denominada, en la literatura ecológica, la curva de supervivencia Deevey de tipo II. Esta relación se utilizó para estudiar la supervivencia de *Stylosanthes hamata* cv. Verano al noreste de Australia (Gardener, 1982). Las curvas de tipo III describen una situación en que la mortalidad relativa es mayor en las poblaciones jóvenes, y en las curvas del tipo I la mortalidad es relativamente mayor en las poblaciones más viejas (Harper y White, 1974).

Es razonable esperar de las plantas perennes que su supervivencia, en la siembra original en un campo cultivado, sea mejor generalmente que la de las plántulas que surjan más tarde de la semilla producida, ya que las plantas originales experimentarán menos competencia en la fase joven y podrán desarrollarse más rápidamente hasta ser plantas de mayor tamaño. Este fenómeno se ilustra en la Figura 3, donde la buena supervivencia de una siembra inicial de Siratro (*Macropodium atropurpureum*) contrasta con una mala supervivencia de tres etapas posteriores de regeneración de plántulas. En algunas pasturas, las plantas iniciales tienden a ajustarse a una curva de tipo I (poca mortalidad temprana) en contraste con las plántulas más tardías que siguen una curva del tipo III (considerable mortalidad temprana).

Las tasas de supervivencia de las poblaciones que se ajustan a las curvas del tipo II —o a la fase adulta de las curvas del tipo III— se pueden expresar en

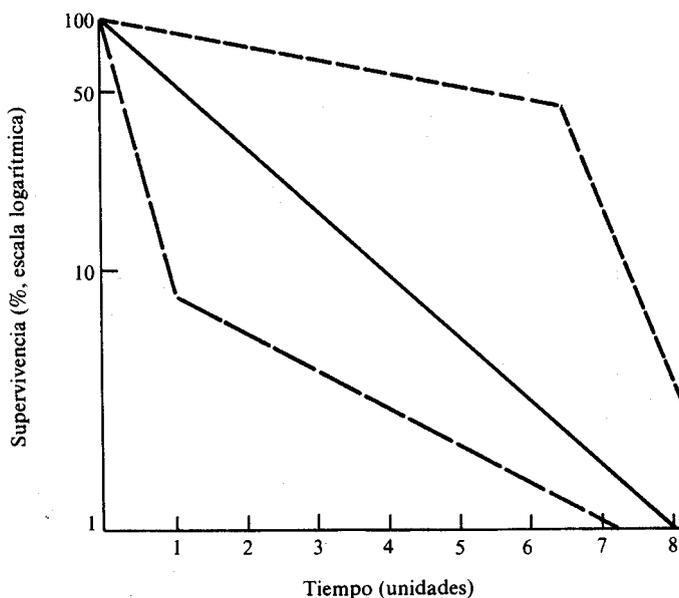


Figura 2. Decrecimiento de las poblaciones de plantas según las curvas de supervivencia de Deevey de tipos I(---), II (—) y III (-.-).

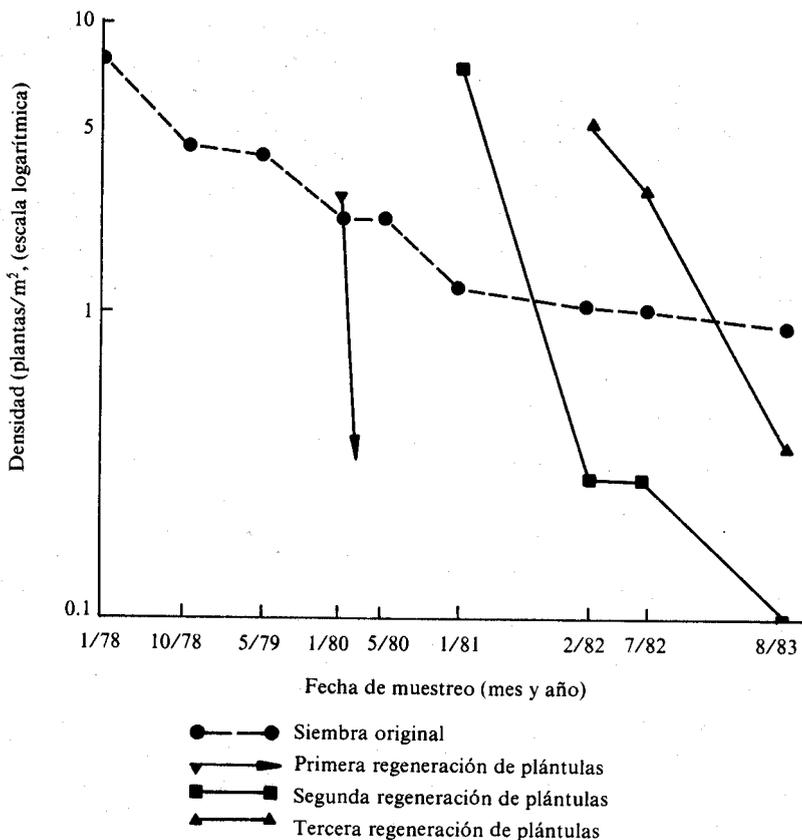


Figura 3. Comparación entre la disminución de la población inicial y las regeneraciones posteriores de Siratro en Narayen, sureste de Queensland.

FUENTE: t Mannelje y Jones, sin publicar.

función de su vida media como se hace con la desintegración de los isótopos radiactivos; así, p. ej., una vida media de 12 meses indica que la mitad de la población habrá muerto en un año. La vida media de la población original, en la Figura 3, es de aproximadamente 18 meses, y de cinco meses para las generaciones posteriores. Parece que la población original de muchas leguminosas tropicales, perennes y herbáceas, como el Siratro (Jones y Jones, 1978) y *Lotononis bainesii* (Pott y Humphreys, 1983) tendrá una vida media de aproximadamente 1 a 3 años; algunas especies aptas para ramoneo, como *Leucaena leucocephala* (Jones y Harrison, 1980) tienen un período de vida media mucho más largo.

Si en una pastura no surgen nuevos individuos, la densidad de la población disminuye inevitablemente. Si se supone, por ejemplo, que de una siembra

inicial se forma una nueva población de 8 plantas de Siratro por m^2 (densidad que podría resultar de sembrar 1.5 kg/ha de semilla de Siratro 100% viable, con un 66% de establecimiento) y si la vida media de las plantas es de 18 meses (Jones y Jones, 1978), habría entonces 4 plantas/ m^2 después de 18 meses y 2 plantas/ m^2 después de tres años. Estas dos plantas todavía podrían hacer una contribución adecuada de Siratro a la pastura; sin embargo, tres años más tarde la densidad sería de 0.5 plantas/ m^2 , que ya se considera inadecuada. Este ejemplo sencillo demuestra por qué los estudios de evaluación, que duren solamente dos o tres años, dan una idea más bien errónea de la persistencia a largo plazo de las especies en una pastura.

Surgimiento de nuevas plantas

Para que una población sobreviva, es necesario que nuevas plantas replacen a las que mueren. La aparición de nuevas plantas puede ocurrir por procesos sexuales o asexuales (Figura 1). Para que una especie forrajera persista por medio de la reproducción sexual, debe producir semillas mientras se halla sometida a pastoreo, puesto que la cantidad de semillas latentes que queda de la siembra original es, generalmente, muy baja. Algunas especies, como *Stylosanthes* spp., sólo se reproducen sexualmente, en tanto que el pasto pangola, una gramínea estéril, sólo se reproduce asexualmente. Otras especies, como el trébol blanco (*Trifolium repens*), en el subtrópico (Jones, 1982) y probablemente *Desmodium ovalifolium*, pueden persistir mediante ambos mecanismos; en tales especies, la importancia relativa de cada uno de los mecanismos puede variar con el manejo, como en *L. bainesii* (Pott y Humphreys, 1983), o con las condiciones climáticas. Por ejemplo, el trébol blanco tiende a persistir, en el subtrópico australiano, mediante la regeneración de plántulas en los sitios más secos o en los años de sequía —o en unos y otros— y mediante estolones en los sitios o años húmedos —o en ambos (Jones, 1982).

El surgimiento de nuevas plantas por reproducción sexual se puede subdividir en pasos más detallados que expliquen (Figuras 4 y 5) las diversas maneras como se puede perder semilla tanto desde su formación en la planta que crece en la pastura, como desde el establecimiento exitoso de una plántula. La Figura 4 corresponde a un modelo conceptual; la Figura 5 suministra datos sobre *S. hamata* e ilustra, además, los cambios típicos que ocurren no sólo en la semilla que yace en el suelo, sino también en la formación de las semillas, en la emergencia de las plántulas y en su número, en un ciclo de doce meses que va desde el final de una estación lluviosa hasta el final de la siguiente (Gardener, 1982). Es fácil pasar por alto la pérdida de semilla por depredación, actividad que llega a ser muy intensa; por ejemplo, Borchert y Jain (1978) encontraron que el 75% de la semilla de *Avena fatua* en una pradera californiana fue consumida por roedores. Se ha sugerido, en general,

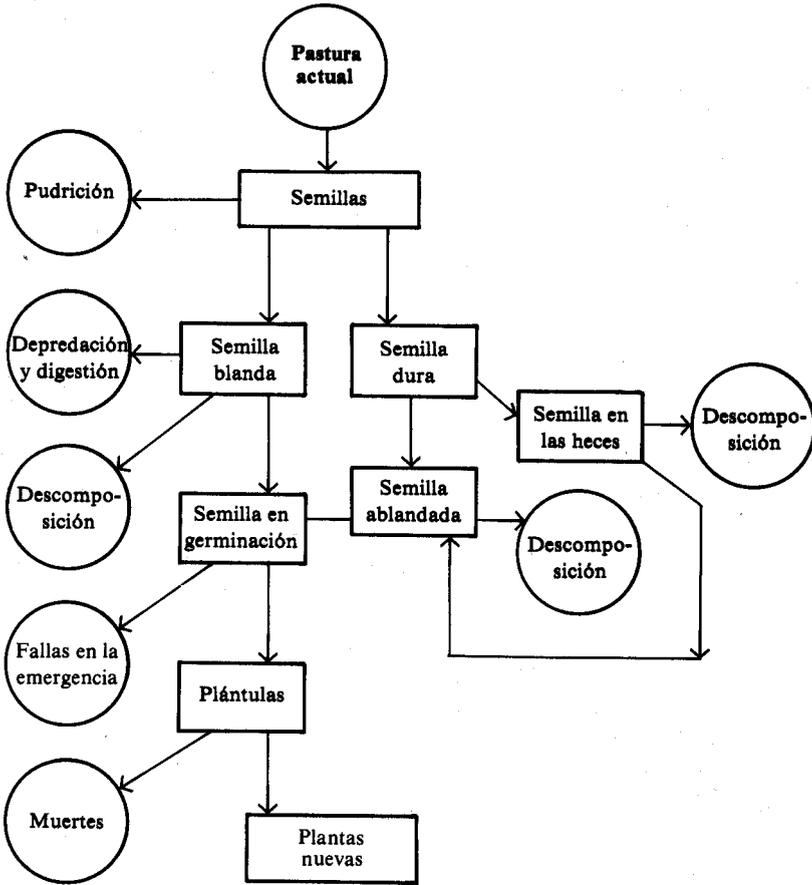


Figura 4. Etapas desde la formación de semillas hasta la regeneración exitosa de una leguminosa forrajera. La depredación puede provenir de herbívoros domesticados o salvajes. Para mayor simplicidad, el modelo no asume la latencia de los embriones.

que los animales pequeños son la causa principal de la pérdida de semillas en las praderas perennes de las zonas templadas (Mortimer, 1976).

Teniendo en cuenta todas las causas de pérdidas, se ha estimado que en una pastura de Siratro con una carga animal fija —y en pastoreo continuo a razón de 1.7 animales/ha en la región costanera subtropical de Queensland— por cada 100 semillas formadas de Siratro, menos de una planta logra establecerse con éxito.¹ Los valores correspondientes para *S. hamata* (Figura 5) son de una planta por cada 71 semillas formadas.

1. Datos no publicados del autor.

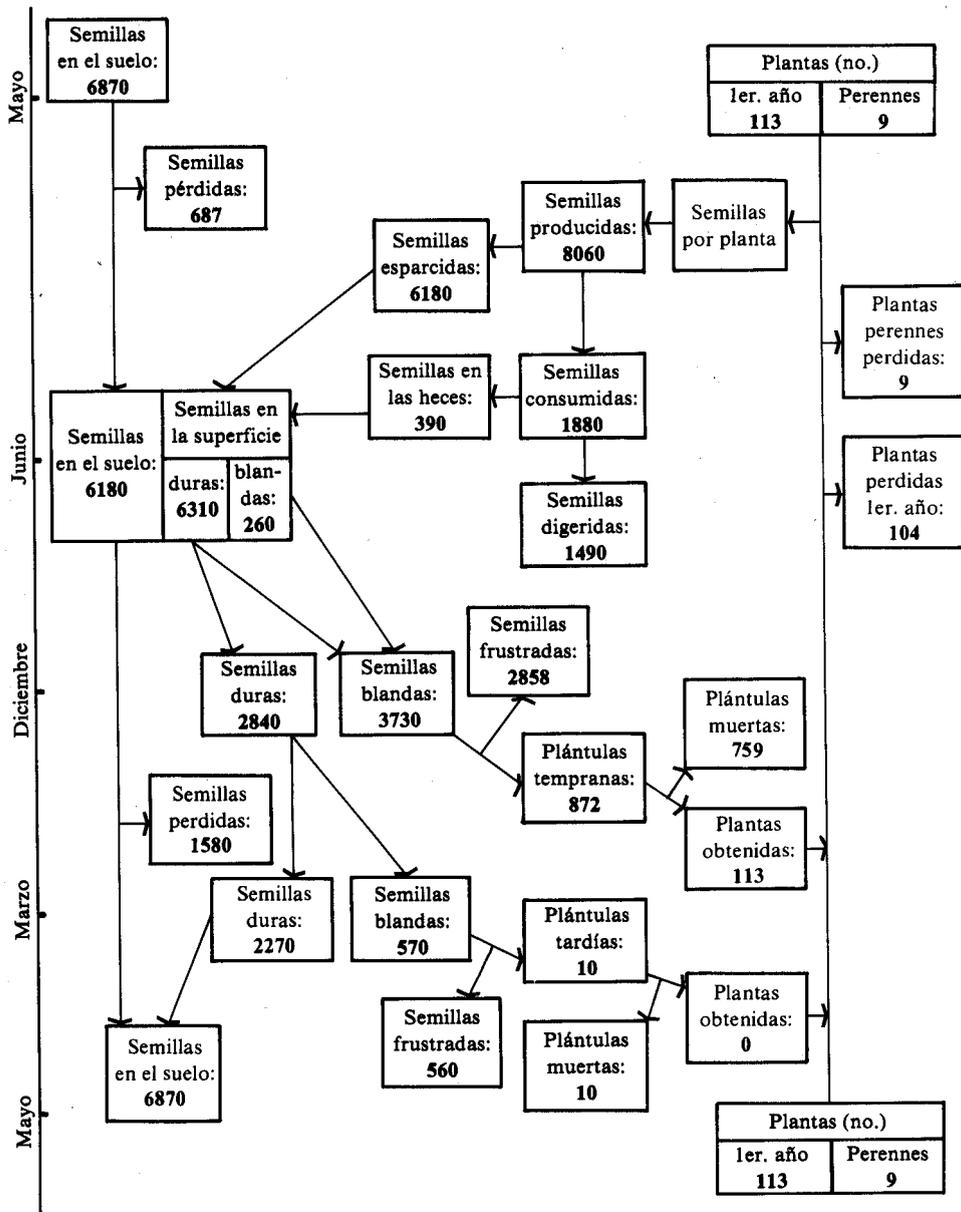


Figura 5. Esquema general de los procesos de formación de semillas, de acumulación de reservas de semillas en el suelo, de regeneración y supervivencia de plántulas de *S. hamata* en el noreste de Australia. Los valores indican número/m².

FUENTE: Gardener, 1982.

Después de transcurridos varios años desde el establecimiento de una pastura —con diferencias entre un año y otro en cuanto a las tasas de supervivencia y a la aparición de nuevas plantas— se deduce de la Figura 1 que tanto la población de plantas como las reservas de semilla en el suelo contendrán individuos de edades diferentes, en contraste con la población de edad uniforme que resulta de la siembra inicial.

Características de la planta relacionadas con la persistencia

Del modelo de la Figura 1 se deduce también que no hay una 'mejor manera' para lograr la persistencia de una especie en una pastura. Las leguminosas exitosas y persistentes pueden ser anuales, bianuales o perennes, de vida corta o de vida larga. Por consiguiente, es imposible seleccionar leguminosas persistentes especificando únicamente una serie de características ideales, es decir, un *ideotipo*. Es posible, sin embargo, hacer una lista de características de la planta que se relacionen con una buena persistencia; por ejemplo, Hodgkinson y Williams (1983) han enumerado 13 características que favorecen la supervivencia de la población de plantas en condiciones de pastoreo. Algunas de esas características son: "la posición de meristemas basales, de hojas y tallos postrados; el anclaje firme de las raíces; la formación de brotes desde las raíces; el rápido inicio del crecimiento de los meristemas; la aparición de la latencia durante la sequía; la aparición de las estructuras florales cerca del suelo; la reproducción rápida; los mecanismos de enterramiento de la semilla; la retención de la viabilidad de las semillas excretadas en las heces; la formación de semilla dura; y los disuasivos morfológicos y bioquímicos".

De todos estos atributos solamente se pueden encontrar algunos, incluso en las plantas más persistentes; por ejemplo, "los mecanismos de entierro de la semilla" son importantes para la persistencia de algunas especies, pero no se hallan presentes en especies de *Stylosanthes* que, aun así, pueden ser muy persistentes. Por tanto, aunque sea razonable predecir que una especie desprovista de todos estos atributos no sería persistente en condiciones de pastoreo, la lista de ellos puede ser de uso limitado como guía para la selección de las especies persistentes. Por ejemplo, el género *Leucaena*, las especies perennes de *Arachis* y el trébol blanco son especies persistentes en la región costanera subtropical de Queensland, pero cada una varía considerablemente en lo que respecta a los 13 atributos mencionados. Sin embargo, si se pueden especificar las condiciones edáficas, climáticas, y de manejo en una pradera —o si es posible saber si una especie es anual, perenne de vida corta, o perenne de vida larga— entonces esos atributos podrían ser más útiles en la selección de las especies o ecotipos más persistentes.

Los diversos mecanismos de persistencia de las especies de una pastura se ilustran adecuadamente en el Cuadro 1 (Gardener, 1983) donde aparece una

Cuadro 1. Distribución de edades de las poblaciones de *S. humilis*, *S. hamata* cv. Verano, *S. viscosa* CPI 34904 y *S. scabra* cv. Seca en pasturas de ocho años de edad sometidas a pastoreo, en Lansdown, norte de Queensland (Gardener, 1983).

Especie	Distribución (%) de la edad: ^a								Fuente
	1A.	2A.	3A.	4A.	5A.	6A.	7A.	8A.	
<i>S. humilis</i>	100.0	0							Gardener, datos no publicados
<i>S. hamata</i> cv. Verano	89.1	10.6	0.3	0					Gardener, 1982
<i>S. viscosa</i>	54.4	22.2	12.7	9.4	0.9	0.4	0	0	Gardener, datos no publicados
<i>S. scabra</i> cv. Seca	10.3	43.2	10.9	24.7	3.6	0	0	7.3 ^b	Gardener, datos no publicados

a. A. = año(s).

b. Plantas aún vivas después de ocho años.

clasificación de la edad respecto a la densidad de cuatro especies de *Stylosanthes* en el noreste de Queensland, Australia. Obviamente, cada especie arroja un balance diferente entre la mortalidad y el surgimiento de nuevos individuos que va desde aquél de la especie estrictamente anual (*S. humilis*) hasta el de la especie perenne (*S. scabra*).

Persistencia de las gramíneas

El modelo presentado en la Figura 1, aunque diseñado para las leguminosas, se aplica también a las gramíneas sembradas y, en principio, a la invasión de malezas en las pasturas. Sin embargo, tratándose de las malezas, el objetivo del manejo del pastoreo es obtener tasas de sustitución y no compensar por la muerte de las plantas.

La persistencia de las gramíneas puede ser un fenómeno complejo cuando depende de las tasas relativas de surgimiento y muerte de las macollas. Por consiguiente, si se desea entender la desaparición de las plantas de gramíneas bajo ciertas prácticas de manejo, quizás sea necesario analizar los efectos de estas prácticas en la producción y muerte de las macollas.

Hay solamente información dispersa acerca de la función de la regeneración de plántulas en la persistencia de las gramíneas tropicales. Mott y

Andrew (1984) estudiaron la persistencia de dos gramíneas nativas perennes en los trópicos secos del norte de Australia. No se logró encontrar en el suelo semilla viable de una de las especies (*Dichanthium fecundum*); aunque se hallaron reservas de semilla de la otra especie (*Themeda australis*), ninguna de las plántulas emergentes de *Themeda* sp. sobrevivió. Por tanto, se asume que la persistencia a largo plazo de *Themeda* sp. depende, en gran parte, de la persistencia de las macollas o secciones de macolla que podrían dividirse.

Otros estudios han demostrado que las plantas de *Themeda* sp. no pueden resistir un pastoreo intenso. Por tanto, el mantenimiento de *T. australis* y de *D. fecundum* en el norte de Australia depende de que se establezca una presión de pastoreo suave con el fin de que las plantas persistan, ya que hay muy poca regeneración de plántulas. En contraste, las macollas de *Heteropogon contortus* —producidas por una subclímax que resultó de la quema en Australia subtropical— tienen un período de vida mucho más corto y una mayor regeneración de plántulas.² Estudios realizados en las sabanas altas de Africa del Sur han indicado que las especies dominantes en praderas de subclímax (el bosque se considera como la verdadera clímax) tienen también una producción pobre de semillas, diferente de la de las gramíneas locales (Jones, 1969). No hay duda de que la densidad de algunas especies deseables de pastos (p. ej., *Panicum maximum*, *Andropogon gayanus* y *Brachiaria* spp.) puede aumentar por regeneración de plántulas y que en especies no deseables (p. ej., *Sporobolus* spp.) puede ocurrir lo mismo. Sin embargo, se conoce poco acerca de la función de regeneración de plántulas en la persistencia de poblaciones de gramíneas. De otro lado, la dinámica de población de las malezas ha sido discutida por Sagar (1982).

Factores que influyen en la persistencia de las pasturas

Muchos factores pueden influir en cada uno de los pasos que se describen en las Figuras 1 y 3; por conveniencia, se estudiarán en dos grupos: los referentes al sitio o medio ambiente, y aquéllos acerca del manejo.

Los *factores ambientales* comprenden el tipo de suelo, la pendiente, el drenaje, la precipitación y su distribución, el efecto de la nieve, las plagas y las enfermedades y —en algunos casos— la quema. Muchos de estos factores no se pueden controlar en condiciones normales de manejo. Si se espera un mayor retorno económico de las pasturas —lo que muy probablemente ocurra cuando se pastorea ganado lechero— entonces se puede justificar la modificación de las condiciones ambientales mediante operaciones como el riego y el control de plagas.

2. J.C. Tothill, comunicación personal.

Los factores de manejo de una pastura son principalmente la duración y la intensidad del pastoreo, la fertilidad del suelo —que puede ser modificada por la aplicación de fertilizantes— y la quema. Los agricultores y administradores pueden controlar estos factores, obviamente sujetos a limitaciones económicas y de otro tipo.

Hay buenas razones prácticas para estudiar los mecanismos de persistencia. En primer lugar, al entender la forma en que los factores ambientales afectan los procesos de persistencia, quizás sea más fácil extrapolar los resultados de los ensayos de pastoreo a nuevos ambientes. El efecto global que ejerce el nuevo ambiente en los diferentes mecanismos de persistencia se puede descomponer en sus efectos particulares. Por ejemplo, la tasa de reblandecimiento de la semilla dura de las leguminosas, en la reserva de semilla del suelo, será mucho mayor donde haya una estación seca prolongada y altas temperaturas en el suelo. Este fenómeno aparece en la comparación que se hace en la Figura 6 entre la tasa —mucho más rápida— de

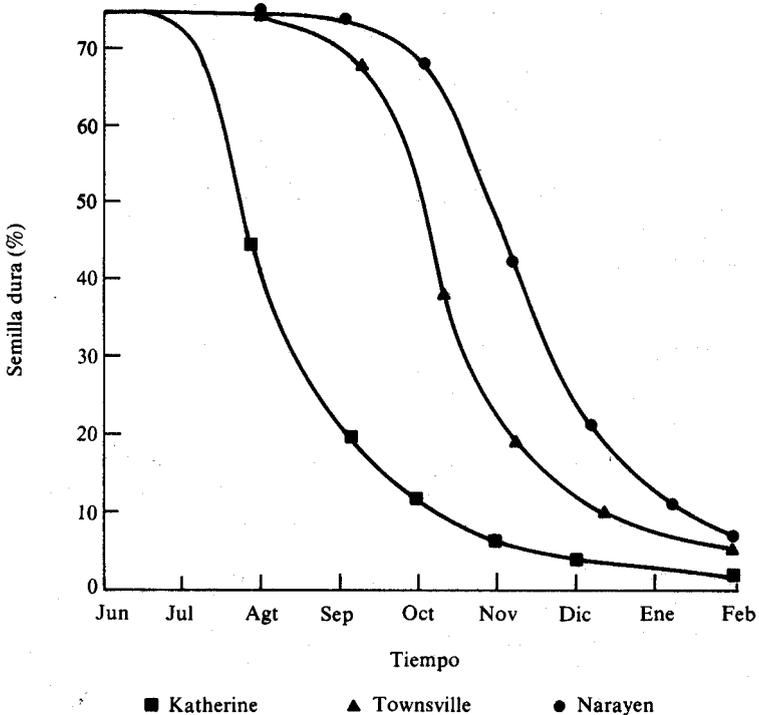


Figura 6. Cambios en el porcentaje de semilla dura de *S. scabra* durante la estación seca en tres localidades de Australia (Katherine y Townsville en el trópico seco, Narayen en el subtropico).

FUENTE: McKeon y Mott, 1984.

transformación de semilla dura a blanda de *S. scabra* en la estación seca en el trópico seco de Australia, y la que ocurre en el subtropico (McKeon y Mott, 1984). Los grados-día acumulados por encima de 51°C resultaron un buen parámetro de predicción de la transformación de semilla dura en semilla blanda.

En segundo lugar, el conocimiento del efecto del ambiente en los mecanismos de persistencia también puede indicar aspectos débiles en una determinada accesión forrajera que se esté evaluando, y estas debilidades se pueden superar mediante la selección o el mejoramiento genético. Por ejemplo, actualmente avanza un programa activo para aumentar la dureza de la semilla de trébol subterráneo (*Trifolium subterraneum*) con el fin de que se adapte mejor a las áreas marginales trigueras de Australia occidental: allí las líneas cultivadas de trébol no pueden mantener reservas adecuadas de semilla en el suelo (Francis y Gladstones, 1983). Si una línea se caracteriza por una mayor proporción de semilla dura, su persistencia debe estar menos afectada por las estaciones secas. En contraste, en las tierras bajas costaneras de Queensland, donde *L. bainesii* no ha logrado persistir, se han encontrado grandes reservas de semillas viables de esta especie en las pasturas (Jones, 1984). Un ecotipo o línea que produzca una menor proporción de semilla dura puede regenerarse mejor en estas pasturas, hecho que señala la utilidad de verificar si hay variabilidad en la producción de semilla dura en *L. bainesii*.

Por último, una mejor comprensión del influjo de los factores de manejo en los mecanismos de persistencia permitirá suministrar mejores pautas de manejo para *L. bainesii*, es decir, prácticas que favorezcan la persistencia de las especies en la pastura o precauciones contra aquéllas que podrían menguar su persistencia. El objetivo de cambiar las prácticas de manejo podría ser, por ejemplo, disminuir la tasa de mortalidad de las plantas, o estimular una más abundante formación de semillas, o favorecer una mayor supervivencia de las plántulas que se estén regenerando.

Los agrónomos especialistas en pasturas discuten con frecuencia los méritos relativos ya sea de los diferentes métodos de manejo de las pasturas, tales como el pastoreo continuo frente al pastoreo rotacional, o ya de las cargas animales fijas comparadas con las cargas animales variables. Han escapado, no obstante, a la atención de los investigadores los efectos notorios que pueden ejercer los cambios estacionales de presión de pastoreo en una pastura asociada, efectos demostrados por los estudios clásicos de Martin Jones en el sureste de Inglaterra (Harper, 1977)³. Estos efectos de presión de pastoreo están ligados a las reacciones fisiológicas de las plantas ante la defoliación y a los aspectos ecológicos de la persistencia.

3. Ver especialmente la Figura 14-7.

Aduciendo ejemplos de praderas de regiones semiáridas, Williams (1978) ha indicado que los estudios sobre la dinámica de poblaciones ayudan a comprender cómo los eventos climáticos y el pastoreo afectan la persistencia.

Efecto del manejo del pastoreo en la persistencia: un estudio con Siratro

En noviembre de 1968, se sembraron pasturas con una mezcla de *Setaria sphacelata* cv. Nandi y Siratro en Samford, sureste de Queensland. Un año después se establecieron cuatro tratamientos de pastoreo continuo con cargas fijas de 1.1, 1.7, 2.3 y 3.0 animales/ha. La pastura con 3.0 animales/ha estaba, en general, sobrepastoreada en 1973 y en consecuencia, la carga animal se redujo a 2.0 animales/ha; sin embargo, aún se hallaba esa pastura intensamente pastoreada y tenía muy baja altura. Desde noviembre de 1971 se observaron anualmente las plantas de Siratro que poseían cargas de 1.7 animales/ha (pastoreo ligero) y 3.0 animales/ha (pastoreo fuerte). El seguimiento de las plantas se hizo con marcos fijos y se registró la aparición de nuevas plantas y la desaparición de otras; noviembre, en esa región, fija el inicio de la estación en que las plantas rebrotan después del invierno anterior.

Los resultados de este estudio se presentan en el Cuadro 2 y se considerarán en términos de la persistencia de las plantas sin tener en cuenta los méritos agronómicos de Siratro. Varios hechos importantes se pueden deducir de ese cuadro. En primer lugar, el pastoreo fuerte redujo la longevidad de las plantas, como se demuestra al comparar el efecto ejercido, en los años siguientes, por las dos cargas animales en la supervivencia de las plantas surgidas en cualquier año. En segundo lugar, hasta 1976 la carga animal alta no afectó la aparición de nuevas plantas: ésta fue, típicamente, de 1 a 2 plantas nuevas/m² por año. En tercer lugar, después de 1976 hubo una disminución en la aparición de plantas nuevas en condiciones de pastoreo fuerte. Por consiguiente, la disminución de la densidad de Siratro bajo pastoreo intenso —en comparación con el pastoreo suave aplicado entre 1973 y 1976— se debió a una reducción en la longevidad de las plantas establecidas, mientras que la mayor diferencia ocurrida después de 1976 se debió tanto a la disminución en longevidad como a un menor surgimiento de nuevas plantas.

Se tenía conocimiento, por estudios separados, de que todas las plantas nuevas que surgieran en condiciones de pastoreo fuerte, y la gran mayoría de las nacidas en condiciones de pastoreo suave, provenían de plántulas aparecidas el verano anterior y que habían sobrevivido después del invierno. La supervivencia de las plántulas fue también similar para estas dos cargas animales, a diferencia de la supervivencia de las plantas más viejas. Típicamente, emergieron de 15 a 20 plántulas por m² por año, pero solamente sobrevivió un 10% de ellas que dieron así origen a 1.5 plantas nuevas/m² en la

Cuadro 2. Número de plantas de Siratro en pasturas sometidas a pastoreo fuerte o suave, a comienzos de la estación de crecimiento en Samford, sureste de Queensland.

Período	Plantas (no./10 m ²) en fecha de muestreo:								Edad (años)
	1971-72	1972-73	1973-74	1974-75	1975-76	1976-77	1977-78	1978-79	
Pastoreo fuerte									
Antes de 1971-1972	83	28	2						7
1971-1972		31	3						7
1972-1973			12	4	1	1			6
1973-1974				21	12	6	3		5
1974-1975					19	5	1		4
1975-1976						14	3	1	3
1976-1977							3	0	2
1977-1978								8	1
Densidad total	83	59	17	25	32	26	11	9	
Pastoreo suave									
Antes de 1971-1972	54	40	19	14	13	9	5	3	7
1971-1972		23	7	5	5	3	3	2	7
1972-1973			16	4	3	3	3	1	6
1973-1974				26	13	12	10	8	5
1974-1975					21	15	11	7	4
1975-1976						27	18	10	3
1976-1977							14	9	2
1977-1978								24	1
Densidad total	54	63	42	49	55	69	64	64	

primavera siguiente (Cuadro 2). Se sabía también que después de 1972 la formación de las semillas en la pastura con carga animal alta había sido insignificante; por tanto, la regeneración continua de plántulas en este tratamiento, hasta 1976, debió proceder de semillas depositadas en el suelo en los primeros años del experimento (1969-1972) antes de que la alta carga animal impidiera la formación de semillas. Este fenómeno se refleja en los cambios ocurridos en las reservas de semilla de Siratro en el suelo que, en condiciones de pastoreo fuerte, disminuyeron de 200/m² en 1971-1972 a 60/m² en 1979. En contraste, en condiciones de pastoreo suave, las reservas de semilla permanecieron constantes en cerca de 250/m² en el mismo período de tiempo.

Algunas consecuencias importantes se desprenden de estos hallazgos. En primer término, se debe permitir que Siratro produzca altos niveles de semilla en el año de su establecimiento. Esta reserva es 'dinero en el banco' para proteger la leguminosa contra el sobrepastoreo o la sequía, fenómenos cuya acción puede impedir la formación de semillas en años posteriores. La validez de este principio se hace evidente al considerar un potrero con una carga de 5 cabezas/ha en un ensayo de pastoreo realizado en Fiji, donde el efecto de este fuerte pastoreo, expresado como rendimiento tanto de la gramínea como de Siratro (Partridge, 1979), fue similar al observado en Samford. Sin embargo, la densidad de Siratro decreció rápidamente en Fiji, a diferencia de lo observado en Samford (Cuadro 2). La razón es que Siratro nunca formó cantidades apreciables de semilla en Fiji y, por tanto, no hubo un banco de semilla que respaldara, durante varios años, el surgimiento continuo de plantas en épocas en que no se formaba nueva semilla. Se ha logrado una supervivencia similar de la semilla de Siratro en el suelo mediante la distribución de semilla a voleo en pasturas sin Siratro, haciendo un seguimiento después de la emergencia de las plántulas de la leguminosa durante los seis años siguientes (Jones, 1981).

Un segundo aspecto resalta en estos estudios: un período de descanso ocasional, o incluso una reducción de la carga animal en el otoño cuando florece la leguminosa, podrían favorecer la formación de semillas en una pastura de Siratro que se haya deteriorado por el clima o el pastoreo. Las posibles ventajas del período de descanso en otoño se demuestran mediante una comparación de tres tratamientos de pastoreo en una pastura de Siratro y pasto bufel (*Cenchrus ciliaris* L.) en el sureste de Queensland (Tohill y Tessel, 1982). Los resultados preliminares indican que dejar descansar la pastura durante la fase final de la estación es un medio efectivo para aumentar la densidad y la frecuencia de Siratro, sus reservas de semilla en el suelo, y la regeneración de sus plántulas.

Un tercer aspecto, que también se deduce del estudio mencionado, es que la regeneración, a partir de la reserva de semilla, puede ser estimulada mediante las labores de cultivo o la quema. En algunos casos, la densidad de Siratro en

las pasturas de Queensland ha disminuído por la mala regeneración de las plántulas, pese a la presencia de cantidades razonables de semilla en el suelo. Estos hechos han conducido a estudios sobre las diversas técnicas de cultivo que promueven la regeneración de plántulas y se ha encontrado que cuanto más fuertes sean las labores del cultivo, mayor es la regeneración (Bishop, Walker y Rutherford, 1981). Esas técnicas de cultivo se han utilizado exitosamente en algunas fincas comerciales (Hurford, 1979). Humphreys (1984) ha indicado también que la persistencia de *L. bainesii* se puede mejorar mediante la manipulación de los bancos de semilla en el suelo. El concepto del manejo de los bancos de semilla en el suelo no es nuevo; Blaser y Killinger (1950), por ejemplo, lo propusieron para el caso del trébol blanco en Florida.

Por último, un ejemplo de las estrategias de manejo mejoradas, que se pueden formular partiendo de un entendimiento de la dinámica de poblaciones de plantas, se relaciona con el trébol blanco que crece en mezcla con gramíneas de tipo C_4 en el subtropical (Jones, 1982; Jones, 1984). En este caso se encontró que la presencia del trébol blanco en la primavera, cuando se presenta el máximo período de crecimiento de esa gramínea, dependía, en parte, de la presión de pastoreo impuesta a la pastura durante el verano anterior y el principio del otoño. El pastoreo fuerte durante ese período de máximo crecimiento de la gramínea estimuló la supervivencia de los estolones del trébol en el verano y la regeneración de sus plántulas en el invierno. Sin embargo, imponer una carga animal fija lo suficientemente alta, durante todo el año, para lograr un control adecuado de la gramínea en el verano no es un método práctico. Con todo, un sistema de carga animal flexible, con mayores cargas durante el verano, mejoró no sólo la producción de trébol sino también la producción animal. En este caso, el manejo se aplicó directamente a la gramínea para contribuir, indirectamente, a la persistencia de la leguminosa, en tanto que cuando se dió un período de descanso a Siratro, ese descanso sirvió para ayudar a la formación de semilla de la leguminosa.

Mediciones de persistencia

Las mediciones de la persistencia se pueden hacer en cada una de las etapas ilustradas en las Figuras 1 y 4. En esta sección se discutirán brevemente las posibles técnicas que se pueden aplicar para hacer estas mediciones.

Densidad de plantas

Esta densidad (número/unidad de área) es relativamente fácil de medir cuando las plantas se pueden identificar individualmente. Cuando los individuos no son identificables, como por ejemplo los del pasto pangola, las mediciones de frecuencia pueden ser un sustituto útil de las de densidad aunque es necesario reconocer sus limitaciones (Shaw et al., 1976). En cambio, es mucho más difícil medir la supervivencia de las plantas, operación que

requiere el uso de marcos fijos, es decir, aquéllos cuya posición debe establecerse de modo permanente con estacas firmemente enterradas en el suelo. Las estacas no deben sobresalir demasiado de la superficie del suelo, puesto que interferirían con operaciones como la aplicación de fertilizantes o, posiblemente, el corte del forraje, o quizás atraerían la atención de los animales en pastoreo que las derribarían. Si las estacas se entierran demasiado en el suelo —cuando sobresalen, por ejemplo, menos de 2 cm— podrían quedar cubiertas por el suelo y la vegetación. En potreros grandes, la localización de estos cuadrantes fijos se puede facilitar tomando como referencia los postes de la cerca. Las estacas metálicas también se pueden ubicar mediante detectores de metales. Es importante localizar estos marcos fijos con precisión, de manera que sea fácil encontrarlos durante los períodos de máximo crecimiento de las pasturas.

Es frecuente que las mediciones de la densidad y de la supervivencia de las plantas perennes se hagan sólo una vez al año y, por consiguiente, sea más fácil hacerlas al inicio de la estación de crecimiento antes de que se produzca una acumulación del rendimiento inicial. Hay varias maneras de registrar la posición de las plantas dentro de los marcos fijos:

- Las fotografías son, generalmente, adecuadas en pasturas de área muy extensa.
- Los pantógrafos son útiles, así como las cubiertas plásticas transparentes: cada marco se cubre con una de ellas y los registros para los años sucesivos se hacen con plumas de fieltro de diferentes colores.
- Las plantas también se pueden localizar por medio de coordenadas medidas a lo largo de los ejes x y y del marco e identificando la base de las plantas con alambre forrado de plástico. No es aconsejable utilizar marcas sin definir coordenadas ya que aquéllas se entierran con frecuencia o pueden ser removidas por las aves.
- Se ha logrado también algún progreso con técnicas digitales que ahorran trabajo (Mack y Pyke, 1979) pero estos métodos no están muy difundidos.

Las mediciones hechas en plantas individuales durante varios años dan resultados como los que se presentan en el Cuadro 2. Es deseable medir o calificar el tamaño de las plantas individuales; tratándose de *Siratro* y de *Desmodium* spp., la clasificación de las raíces primarias que ocupan la superficie del suelo en tres clases de tamaños (< 4 mm, 4-10 mm y > 10 mm) ha sido una medida útil.

Reservas de semilla

Las reservas de semilla depositadas en el suelo han recibido considerable atención en la literatura ecológica (Cook, 1980; Roberts, 1981); la informa-

ción sobre las reservas de semilla en las pasturas de la zona templada, por su parte, ha sido revisada por Krylova (1979) y Chancellor (1979). Las reservas se pueden determinar mediante dos métodos diferentes. El primer método requiere que las muestras de suelo se lleven al invernadero y se coloquen en condiciones adecuadas para su germinación, condiciones en que teóricamente es posible medir la reserva de semilla viable de todas las especies.

Para identificar las especies de las plántulas emergentes se invierte, generalmente, una cantidad considerable de trabajo preliminar. Por lo regular, las plántulas desconocidas se agrupan en clases similares una vez se les hayan asignado códigos numéricos, y luego se cultivan hasta la madurez para poderlas identificar. Otro requisito es la necesidad de disponer de un período extenso de germinación (Roberts, 1981). Se sugieren, por lo menos, tres ciclos de cerca de ocho semanas de humedad seguidos por ocho semanas de sequía; los períodos secos previenen el crecimiento excesivo de moho y de algas en la superficie de las semillas, y pueden ayudar a romper la latencia de éstas estimulando así un mayor porcentaje de germinación. Aun utilizando este tratamiento se producirá casi siempre una cantidad de semilla dura de leguminosas que, aunque viable, no germina. Esta práctica tropieza con otra dificultad: mantener la humedad del suelo sin saturación durante varias semanas; un modo de lograrlo es extendiendo una capa delgada de suelo sobre arena estéril libre de sales, que se mantiene húmeda por capilaridad si se coloca el recipiente en agua.

Si sólo hay interés por las reservas de semilla de muy pocas especies —usualmente, de las especies sembradas— puede ser preferible otro método que consiste en el lavado de todas las semillas de las especies seleccionadas —tomadas de las muestras de suelo— y en evaluación de su viabilidad mediante pruebas convencionales de germinación. Roberts (1981) y Jones y Bunch (1977) indican procedimientos de recuperación y añaden información sobre la intensidad y la profundidad del muestreo. En estas operaciones se requiere sumo cuidado; los procedimientos siempre darán una respuesta en términos de número de semillas, pero si la persona encargada de realizar el trabajo no es cuidadosa, no hay modo de conocer el volumen que se haya perdido. Cuando se inicien los estudios de este tipo, se deben verificar las mediciones con muestras 'artificiales' de prueba que contengan cantidades conocidas de semilla viable.

En la recuperación total y selectiva de las semillas del suelo, el área muestreada por lote es, generalmente, baja en comparación con las áreas de muestreo utilizadas para determinar rendimiento de materia seca; por tanto, se deben interpretar cautelosamente los resultados. En general, tampoco hay un método para conocer la edad de la semilla recuperada, aun cuando esta información sobre la semilla pueda ser útil en la interpretación de los resul-

tados. Se puede obtener una idea aproximada de la edad de la semilla considerando la profundidad del suelo en que ésta se encuentra; los bancos de semilla recientes se concentran más en la superficie del suelo y los bancos más viejos pueden hallarse a mayor profundidad. Jones (1982) describió, por ejemplo, una pastura en la que el trébol blanco había sido una leguminosa abundante que germinó y generó semilla todos los años, en tanto que *L. bainesii* contribuyó poco a la pastura pese a que había sido abundante diez años antes. Se muestreó el suelo de esa pastura a una profundidad de 5 cm; los 2.5 cm superiores contenían un 62% de semilla de trébol blanco y sólo un 33% de semilla de *L. bainesii*. En un sitio similar y también con una historia semejante, el 62% de la semilla de trébol blanco se encontraba en los primeros 2.5 cm del suelo, y sólo un 19% de la de *L. bainesii* se hallaba en esa capa de suelo. Es muy probable que, en ciertas especies de pastos, la emergencia de la semilla pequeña se reduzca cuando germine a profundidades inferiores a 2.5 cm.

Estos datos sobre *Lotononis* sp. ilustran también el cuidado con que deben interpretarse los datos sobre las semillas que se hallan en el suelo; grandes reservas de semilla pueden cobrar importancia 'histórica' pero poca importancia práctica en la regeneración de las plántulas. Por su parte, las leguminosas pueden acumular reservas considerables de semillas que tienen mínimas consecuencias en la persistencia de las plantas; el *Desmodium* cv. Green Leaf (*Desmodium intortum*) puede acumular miles de semillas/m², pero los estudios preliminares (Jones, 1980)⁴ indican que la persistencia de esta leguminosa es, principalmente, una consecuencia del enraizamiento de sus estolones, ya que la mayoría de las plántulas mueren. Los datos sobre las reservas de semilla en el suelo se pueden interpretar más fácilmente cuando se conocen también otros factores relacionados con la persistencia de las plantas (Figura 1). En las pasturas anuales es más fácil interpretar los datos sobre la semilla depositada en el suelo y Carter (1981) sugirió que el muestreo de semilla podría ser una herramienta útil en el diseño de las estrategias de manejo del pastoreo en pasturas de *Medicago* spp.

Las diversas especies de leguminosas acumulan cantidades muy variables de semilla en el suelo cuando el manejo del pastoreo es adecuado. Algunos niveles tentativos de buenas reservas de semilla de leguminosas tropicales podrían ser 200/m para el Siratro (Tohill y Jones, 1977), 2000/m para *Aeschynomene falcata* (Wilson et al., 1982); 3000-6000/m para el trébol blanco en el subtrópico (Jones, 1982; Jones, 1984) y posiblemente 20,000/m para *Lotononis* sp. Los niveles sugeridos para *Stylosanthes* spp. en el norte de Australia (Figura 7) oscilan entre 700/m para *S. scabra* y más de 4000/m para *S. hamata* (McKeon y Mott, 1984). La Figura 7 explica también el modo como

4. Además, datos no publicados del mismo autor.

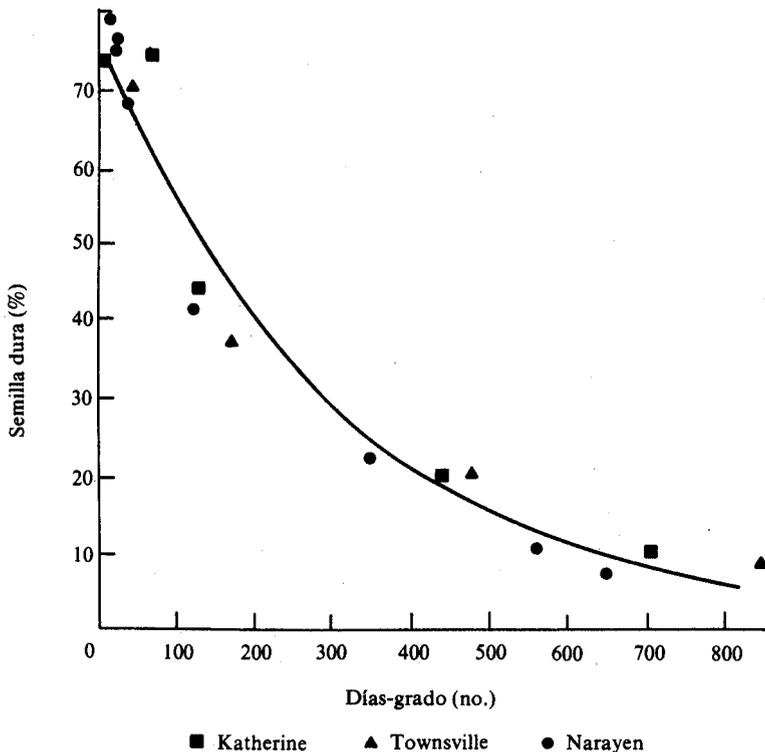


Figura 7. Relación entre el contenido de semilla dura de *S. scabra* y los días-grado por encima de 51°C, basada en las temperaturas máximas diarias del suelo.

FUENTE: McKeon y Mott, 1984.

la reserva de semilla en el suelo y la dureza de ésta pueden fluctuar entre el comienzo y el final de las estaciones seca y húmeda. Grime (1979) presenta una amplia discusión acerca de la interpretación de las reservas de semilla en el suelo.

Emergencia y supervivencia de plántulas

Estas variables se estudian con marcos fijos, dispuestos tal como se describieron anteriormente cuando se consideró la medición de la densidad de las plantas. La verificación de la presencia de las plántulas, en cambio, se debe hacer a intervalos regulares durante la estación de crecimiento si el objetivo es medir la regeneración total de las plántulas. Esta operación puede requerir que el recuento de las plántulas se haga cada dos semanas; sin embargo, la frecuencia de los recuentos se rige, en gran medida, por el patrón de la precipitación pluvial. Por lo regular, cada plántula se marca con alambre recubierto de plástico y sus coordenadas se deben medir en el marco. Si las

plántulas están muy cerca las unas de las otras, se puede utilizar alambre de diferentes colores para identificar mejor los individuos. Las mediciones de la supervivencia de las plántulas constituyen un componente nada despreciable de los resultados presentados en la Figura 5.

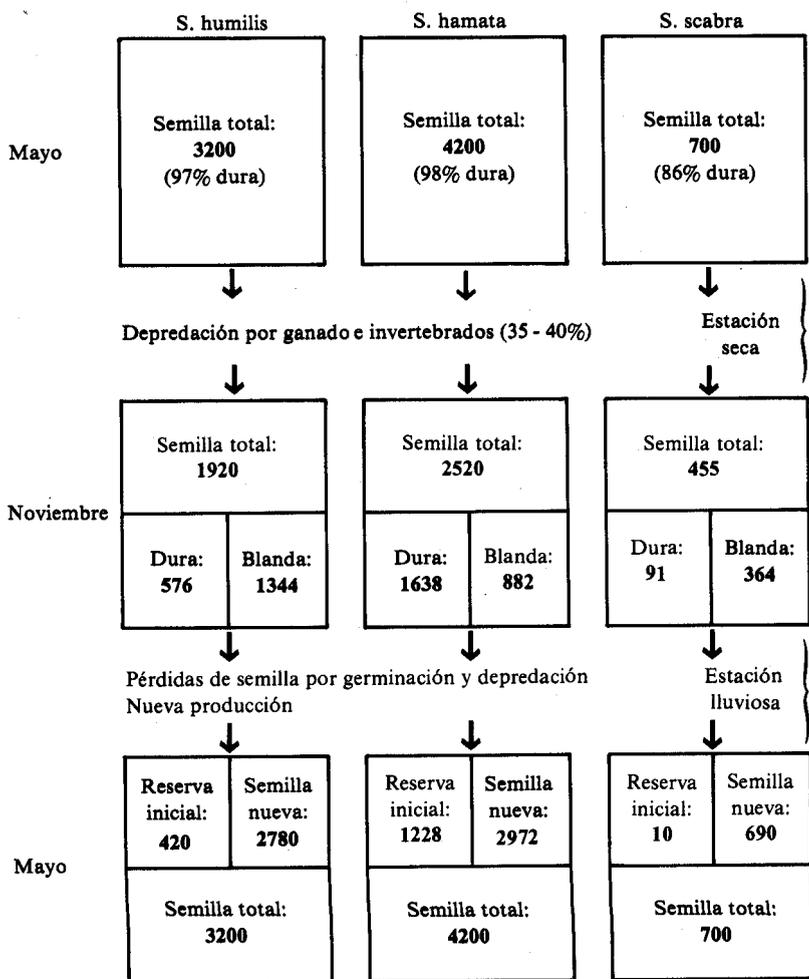


Figura 8. Cambios ocurridos en las reservas de semilla por m² de tres especies de *Stylosanthes* en Katherine, en el trópico seco de Australia.

FUENTE: McKeon y Mott, 1984.

Formación de semillas

Esta etapa del desarrollo de las especies forrajeras es bastante difícil de medir en pasturas sometidas al pastoreo ya que los animales, generalmente, consumen flores, semillas maduras y semillas inmaduras; además, ha caído semilla madura al suelo y hay inflorescencias que están aún floreciendo. Sin embargo, el recuento de las estructuras reproductivas: (flores + vainas)/m², puede dar alguna idea de la formación de semillas en un tratamiento en relación con la de otro. Por ejemplo, Jones (1979) encontró que el número de (flores + vainas)/m² de Siratro disminuía entre 12 y 26/m² por cada aumento unitario en la carga animal. La formación de la semilla de leguminosas en las pasturas se puede estimar barriendo de la superficie del suelo la semilla caída al final del período de floración (Gardener, 1982) aunque esta operación no medirá la semilla madura ingerida por los animales en pastoreo.

La medición de la formación de semillas puede ser particularmente difícil en las pasturas densamente pobladas con leguminosas cuyas vainas sean dehiscentes; por ejemplo, la formación de semillas de Siratro se ha medido inspeccionando los marcos fijos dos veces por semana durante el período de formación de semillas y retirando regularmente las vainas maduras que aún no estén abiertas. También fue necesario retirar dichas vainas de un área de bordes alrededor de los marcos fijos puesto que los animales intentaban mover los estolones de Siratro al pastorear la pastura. En estudios de mucha precisión se puede hacer un seguimiento de las semillas individuales marcándolas con elementos radioactivos (Watkinson, 1978).

Semillas en las heces

A los animales en pastoreo se les pueden medir las semillas que arrojan en las heces, medida a la que afecta la estación del año mucho más que a las semillas del suelo. Se han registrado niveles máximos de 100 semillas de trébol blanco por g de materia fecal seca o, aproximadamente, unas 300,000 semillas por vaca por día (Jones y Bunch, 1977). Carter (1981) midió más de 6000 semillas excretadas por oveja por día en pasturas anuales de *Medicago* sp. El contenido total de semilla viable en las heces se puede medir mediante un lavado selectivo, aplicando los dos métodos antes descritos cuando se trató el tema de las semillas del suelo.

Enraizamiento de los estolones

Este proceso se puede cuantificar mediante un muestreo destructivo en las pasturas; se lavan luego los estolones y sus raíces, y se ordenan en categorías según su tamaño. El muestreo se puede hacer en los mismos núcleos de suelo que se toman y lavan para medir las reservas de semilla depositadas en el

suelo. Por ejemplo, Jones (1980) encontró que en pasturas viejas de *Desmodium* sp., que se hallaban en buen estado, había aproximadamente 300 raíces de 1 mm de longitud por cada m², la mayoría de las cuales tenían un diámetro de solamente 1 a 4 mm. No se observaron raíces mayores de 10 mm de diámetro y las implicaciones de este hecho en la persistencia de la pastura se discutieron en términos de la susceptibilidad del *Desmodium* al estrés causado por la humedad. Sin embargo, se sabe muy poco aún acerca de la persistencia de rizomas, estolones, o raíces estoloníferas de especies forrajeras sometidas al pastoreo.

Se han adelantado estudios sobre la supervivencia de los estolones de trébol blanco (Chapman, 1983) y sobre los estolones de Siratro (Hodgkinson y Williams, 1983). Dichas mediciones permiten derivar un historial de los estolones agrupados según la edad, tal como se hizo con las raíces primarias de Siratro (Cuadro 2). Como los estolones de Siratro se dispersan con relativa facilidad, se marcaron con cubiertas plásticas como se describió en la sección dedicada a la densidad de las plantas. Chapman (1983) marcó los estolones de trébol blanco con grapas de acero y luego midió su crecimiento ulterior con una regla plegable.

En regiones donde predomina un período de crecimiento bien definido seguido por un período de latencia, es posible establecer la edad de las raíces estoloníferas mediante un examen anatómico de las secciones trasversales, donde se cuentan los anillos de crecimiento. Esta técnica se ha utilizado en estudios ecológicos en regiones templadas (van Andel, 1975). Harper (1978) y Abrahamson (1980) presentan más información sobre la 'demografía' de las plantas con crecimiento estolonífero.

Experimentos de apoyo

Como tales se consideran los que ayudan a interpretar las mediciones de la población descritas en la sección anterior. Algunos estudios —p. ej., aquéllos sobre la pérdida de la dureza de la semilla y la ruptura de su latencia, por Mott y McKeon (1979)— se pueden realizar en laboratorios o en recintos con ambiente controlado. Otros estudios, como la depredación de la semilla por las hormigas (Mott y McKeon, 1977) y el deterioro de la dureza de la semilla en diversos ambientes, se deben efectuar en el campo.

Los experimentos de campo pueden ser muy útiles para el estudio de los factores relacionados con el agotamiento de las reservas de semilla en el suelo. Esos factores son, respecto a la semilla: su calidad, el lugar en que se encuentra, el clima que la rodea, el cultivar a que pertenece, y la profundidad a que está enterrada (Jones, 1981; Taylor, 1984). En las pasturas que se hallan bajo pastoreo, se puede excluir temporalmente del pastoreo un área definida para medir, por ejemplo, el efecto de aquél en la formación de las semillas compa-

rando las que se formaron dentro y fuera del área excluida. Anteriormente se habían mencionado los estudios hechos sobre el efecto de la perturbación del suelo en la regeneración de las plántulas a partir de las reservas de semilla del suelo (Bishop et al., 1981). Investigaciones recientes sobre el establecimiento de plántulas en las pasturas no perturbadas han indicado que tubos de acero enterrados en el suelo pueden ser una herramienta experimental útil para entender la función que cumplen las raíces y retoños en el establecimiento y en el crecimiento de plántulas en las pasturas (Cook y Ratcliff, 1984).

Variabilidad dentro de las pasturas

Las pasturas, nativas o mejoradas, manifiestan con frecuencia variabilidad en pequeña o gran escala dentro del área asignada a un tratamiento. Esta variabilidad puede ser transitoria o permanente si se asocia con el estado de fertilidad del suelo, con su salinidad, con la inundación del terreno, o con variables semejantes (McCown, Murtha y Field, 1977). Otro tipo de variabilidad puede ser difícil de reconocer a la vista. En pasturas viejas de regiones templadas hay evidencia de aquellas diferencias de los genotipos asociadas con el microambiente; Turkington y Harper (1979) hallaron diferentes genotipos de trébol blanco que preferían asociarse con distintas especies de gramíneas perennes dentro de una misma pastura. En estudios posteriores se encontró que los genotipos de trébol asociados con gramíneas 'extrañas' (o microambientales) tendían a asignar más reservas a la formación de inflorescencias que al desarrollo de estolones (Turkington, 1983) con obvias implicaciones en la persistencia.

La variabilidad en el rendimiento del forraje en áreas pequeñas se vincula, con frecuencia, a la variabilidad en la composición botánica. Esta relación se ilustra adecuadamente con datos de una pastura en el trópico seco de Australia, cuya composición global es de 32% de *S. humilis*, 58% de *Heteropogon contortus* y 10% de otras especies, según se calculó de 437 cortes y marcos seleccionados⁵. Sin embargo, si los marcos se hubieran clasificado en orden de rendimiento, el tercio más bajo de la clasificación tendría una composición de 74% de *S. humilis* y 9% de *H. contortus*, y el tercio más alto, 15% de *S. humilis* y 79% de *H. contortus*. Estos porcentajes muestran el modo en que los valores medios de los parámetros de una pastura pueden enmascarar una variabilidad considerable dentro de las pasturas.

Esta variabilidad entre una pastura y otra tiene también implicaciones en los estudios sobre persistencia. En lugar de presentar valores medios para una pastura, quizás sea más importante explicar la relación que existe entre factores como la persistencia y la variabilidad, entre un sitio y otro, del

5. R.L. McCown, comunicación personal.

rendimiento del forraje. Por ejemplo, al contar las plántulas de trébol blanco que se regeneraban en las pasturas de *Paspalum notatum* asociado con trébol blanco, Jones (1982) estimó el rendimiento inicial de cada marco. Tomando la media del rendimiento, o sea 2750 kg/ha, como el límite que separa los rendimientos altos y bajos, el 58% de los marcos de bajo rendimiento contenían plántulas mientras que éstas sólo se hallaron en el 18% de los marcos de alto rendimiento.

Al diseñar estrategias de manejo para mejorar la persistencia vienen a la mente aplicaciones obvias de los descubrimientos hechos sobre la variabilidad de una pastura. La 'demografía' de las plántulas, en su relación con los micrositos, fue estudiada en detalle por Silvertown (1981) y también por Grubb (1977) en una excelente revisión sobre la importancia de la fase de regeneración de plántulas en la persistencia de las especies en una pastura compuesta por muchas de ellas. Los procedimientos de estimación visual tanto de la cantidad de forraje en oferta como de la composición botánica de una pastura (Jones y Tothill, 1985) pueden ser muy útiles cuando se relacionan las mediciones de la persistencia con la variabilidad de la pastura, puesto que son rápidos y no son destructivos.

Cuándo debe estudiarse la dinámica de poblaciones?

Antes de comenzar algún estudio detallado sobre la dinámica de poblaciones es necesario considerarlo cuidadosamente, puesto que las mediciones consumen tiempo y se deben prolongar durante muchos años. "Los estudios sobre poblaciones pueden tener un gran valor práctico en los casos en que la especie se muestra muy promisorio, pero no lo tienen cuando los resultados de los experimentos de pastoreo son inconsistentes, o las pasturas son inestables, o el comportamiento de las especies forrajeras parece hallarse muy limitado por la localidad o los requerimientos del manejo" (Jones y Mott, 1980). Los estudios de poblaciones deben, por lo menos, definir el problema y pueden, además, sugerir una solución apropiada.

En consecuencia, los estudios de poblaciones se realizarán generalmente dentro de experimentos de pastoreo en los que hay tratamientos contrastantes compuestos por cargas animales, sistemas de pastoreo, localidades diferentes, o dosis de fertilizantes, como en el estudio sobre Siratro mencionado anteriormente. Jones y Mott (1980) señalaron que "hay sólo un valor limitado en aquellos estudios demográficos muy detallados en que se analiza una situación sin una idea clara de los efectos que ejercerán, en la población, los cambios ocurridos en el ambiente o en el manejo. Esos estudios detallados (Watkinson, 1978) deben considerarse, en la investigación en pasturas, como

fuente de inspiración y como fundamento de algunos métodos, principalmente, pero no deben ser un ejemplo que se copie textualmente". Harper (1982) ha señalado que el estudio de la vegetación en condiciones de una 'perturbación controlada' (o sea, la aplicación de diversos tratamientos de manejo del pastoreo) es una herramienta clave cuando se busca 'revelar la naturaleza' de los factores que controlan la persistencia.

Los estudios de poblaciones tampoco poseen un gran valor directo en una localidad donde la especie deseada persista bien; en tal caso, el interés radica más en la optimización de su utilización. Sin embargo, las descripciones sobre los mecanismos de persistencia de las plantas en un *estado ideal* pueden ser útiles para quienes trabajan en áreas en que la persistencia es un problema y desean saber cómo una especie particular persiste en ese estado ideal.

Incluso si el estudio propuesto satisface los criterios anteriores, es preciso considerar con precaución ciertos puntos. En primer lugar, aunque los estudios de población revelen las razones por las cuales la persistencia es inadecuada, es posible que no exista una solución mediante el mejoramiento genético, la selección o el manejo. En segundo lugar, aunque el estudio indicara métodos para mejorar la persistencia de una especie, éstos pueden ser superados por otros avances en la investigación. Por ejemplo, buena parte de la aplicación práctica de los estudios sobre la dinámica de las especies en pasturas de *S. humilis* y gramínea anual en el Territorio Norte de Australia (Torsell y Nichols, 1978) ha sido invalidada por la presencia de antracnosis en *S. humilis* y por el éxito de las especies perennes de *Stylosanthes* spp. y de *S. hamata* cv. Verano (Gillard y Winter, 1984). En tercer lugar, es necesario subrayar que las mediciones deben continuar durante un tiempo prolongado, especialmente en las áreas donde la precipitación no es confiable (Williams y Roe, 1975). Las mediciones que se hagan durante una secuencia de años en los que la precipitación haya sido superior al promedio pueden ser de poco valor si los problemas de la persistencia están asociados con una secuencia de años más secos, en los cuales la supervivencia y el surgimiento de nuevas plantas han sido quizás menores.

Modelos y mecanismos de persistencia

Modelos viables y mediciones simples

Muchos factores influyen en la persistencia de las especies forrajeras; por consiguiente, sería poco práctico formular modelos matemáticos que pudieran predecir cuantitativamente el curso de la persistencia de una pastura, dada una serie de eventos específicos. Dichos modelos tendrían mayor probabilidad de éxito en las pasturas anuales que presentan un período de crecimiento y de formación de las semillas relativamente confiable, seguido

por un largo período de sequía. Por tanto, el mayor progreso se ha logrado en la formulación de modelos matemáticos de persistencia con plantas anuales en el clima mediterráneo del sur de Australia (Biddiscombe et al., 1980; Galbraith et al., 1980) y en el trópico seco del norte de Australia (Torsell y Nichols, 1978).

Sin embargo, la principal función de los estudios de población será recolectar datos cuantitativos suficientes para desarrollar modelos conceptuales viables; éstos describirán los cambios posibles experimentados por las especies bajo estudio en varios ambientes o con sistemas de manejo diferentes. En algunos casos, estos estudios implicarían mediciones de todos los atributos de la pastura (supervivencia de las plantas, formación de las semillas, y otros) descritos anteriormente; en otros casos es posible hacer mediciones más simples, tales como la densidad de las plantas y las reservas de semilla en el suelo, que permiten mejorar los estudios de evaluación (McIvor et al., 1979) e interpretar o extrapolar datos de los experimentos de pastoreo. Por ejemplo, Jones (1979) utilizó mediciones de las reservas de semilla acumuladas en el suelo y de las plántulas nacidas, al final de un experimento de pastoreo, que hubieran ayudado a predecir el posible impacto de los diferentes tratamientos en la pastura si el experimento hubiese continuado. Estas mediciones sencillas serán de mayor utilidad cuando se hayan hecho estudios más completos, en otros sitios, sobre todos los aspectos de la persistencia de la pastura.

El mensaje más importante de este trabajo es quizás un estímulo a pensar en términos de la dinámica de poblaciones cuando se midan o inspeccionen las pasturas. La observación cuidadosa dará, generalmente, una buena idea sobre el modo como los diferentes tratamientos experimentales afectan la formación de la semilla, la generación de las plántulas, y otros factores, incluida la supervivencia de las plántulas. Se debe mantener también un control vigilante sobre el ataque de los insectos, la presencia de enfermedades, y el pastoreo selectivo, factores éstos relacionados con la persistencia y que pueden alterarla. Como se ilustra en el siguiente ejemplo, es posible también sugerir mejores procedimientos de manejo de la pastura sólo mediante la observación y la consideración de los mecanismos de persistencia, aunque no se hagan mediciones.

Buen manejo y persistencia: un ejemplo

Cuando el trébol blanco de Kenia (*Trifolium semipilosum*) se utilizó por primera vez como leguminosa forrajera en el sur de Queensland, se observó que, a diferencia del trébol blanco común, los estolones crecían hacia arriba una vez alcanzada cierta población de la gramínea. Este hábito del trébol de Kenia se consideró una ventaja puesto que le permitía competir mejor por la luz con la gramínea. Sin embargo, observaciones posteriores indicaron, de un lado, que el enraizamiento de los estolones era un componente crítico de la

persistencia del *T. semipilosum* de Kenia dentro de la pastura, y de otro, que la red estolonífera de dicha especie estaba constituida por estolones que crecen en el ápice y que mueren en el extremo distal: el equilibrio entre el crecimiento y la mortalidad dependería, pues, de las condiciones ambientales. Ahora bien, toda vez que los estolones crecen hacia arriba tienen menos oportunidades de iniciar nuevas raíces para remplazar a las más viejas que paulatinamente mueren. Por consiguiente, hay una disminución gradual, e inicialmente insospechada, de la densidad de las raíces, que causa un descenso en la densidad de población y en el rendimiento una vez que la mayoría de las raíces hayan muerto. Ocurrido ésto, deberá emprenderse un proceso lento para renovar la red de estolones.

Estas observaciones condujeron a la idea de que la clave para un buen manejo de esa pastura era pastorearla con suficiente intensidad para impedir el crecimiento ascendente de los estolones y asegurar así su crecimiento postrado: éste permitirá entonces la formación de nuevas raíces estoloníferas. Esta recomendación se incluyó en la información publicada y distribuida por el servicio de extensión agrícola (Jones y Cook, 1981) antes de que se tomaran mediciones detalladas, aunque dichas mediciones (Sproule, Shelton y Jones, 1982) confirmaron posteriormente las observaciones originales. No se sugiere que esta secuencia de eventos se convierta en una norma, pero valga el ejemplo para destacar el valor que posee la observación cuidadosa.

Igualmente, el escaso vigor de las plántulas de *S. capitata* regeneradas en las pasturas de los Llanos Orientales de Colombia ha conducido a estudios sobre la fertilización de mantenimiento y sobre la defoliación de las gramíneas, prácticas diseñadas para mejorar el crecimiento de estas plántulas (CIAT, 1983).

Agradecimientos

Quisiera agradecer al Sr. G. A. Bunch por su asistencia en las mediciones de población de plantas en los últimos 14 años y por sus valiosas sugerencias durante las discusiones relacionadas con esas mediciones.

Referencias

- Abrahamson, W.G. 1980. Demography and vegetative reproduction. En: Solbrig, O. (ed.). Demography and evaluation in plant populations. Blackwell Scientific Pub. Oxford, U.K. p. 89-106.
- Alexander, G.I. (ed.) 1973. Manual of techniques for field investigations with beef cattle. CSIRO, Melbourne, Australia.

- Biddiscombe, E.F.; Arnold, G.W.; Galbraith, K.A. y Briegel, D.J. 1980. Dynamics of plant and animal production of a subterranean clover pasture grazed by sheep. *Agric. Syst.* 6(1):3-22.
- Bishop, H.G.; Walker, B. y Rutherford, M.T. 1981. Renovation of tropical legume-grass pastures in northern Australia. En: Smith, J.A. y Hays, V.W. (eds.). *Proc. 14th Int. Grassld. Cong.*, Lexington, Kentucky. Westview Press, Boulder, CO, E.U. p. 555-558.
- Blaser, R.E. y Killinger, G.W. 1950. Life history studies of Louisiana white clover (*Trifolium repens* L.). I. Seed germination as related to temperature, pasture management and adaptation. *Agron. J.* 42(5):215-220.
- Borchert, M.I. y Jain, S.K. 1978. The effect of rodent seed predation on four species of Californian annual grasses. *Oecologia* 33(1):101-113.
- Carter, E.D. 1981. Seed and seedling dynamics of annual medic pastures in South Australia. En: Smith, J.A. y Hays, V.W. (eds.). *Proc. 14th Int. Grassld. Cong.*, Lexington, Kentucky. Westview Press, Boulder, CO, E.U. p. 447-450.
- Chancellor, R.J. 1979. Grass seeds beneath pastures. *Occas. Publ. no. 10. Br. Grassld. Soc.* p. 147-150.
- Chapman, D.F. 1983. Growth and demography of *Trifolium repens* stolons in grazed hill pastures. *J. Appl. Ecol.* 20(2):597-608.
- Cook, R. 1980. The biology of seeds in soil. En: Solbrig, O. (ed.). *Demography and evolution of plant populations*. Blackwell Scientific Pub., Oxford, U.K. p. 107-130.
- Cook, S. J. y Ratcliff, D. 1984. A study of the effect of root and shoot competition on the growth of green panic (*Panicum maximum* var. *trichoglume*) seedling in an existing grassland using root exclusion tubes. *J. Appl. Ecol.* 21(3):971-982.
- Francis, C. M. y Gladstones, J. S. 1983. Exploitation of the genetic resource through breeding: *Trifolium subterraneum*. En: McIvor, J. G. y Bray, R. A. (eds.). *Genetic resources of forage plants*. CSIRO, Melbourne, Australia. p. 251-260.
- Galbraith, K.A.; Arnold, G.W. y Carbon, B.A. 1980. Dynamics of plant and animal production of a subterranean clover pasture grazed by sheep. 2. Structure and validation of the pasture growth model. *Agric. Syst.* 6(1):23-44.
- Gardener, C.J. 1982. Population dynamics and stability of *Stylosanthes hamata* cv. Verano in grazed pastures. *Aust. J. Agric. Res.* 33(1):63-74.
- . 1984. The dynamics of *Stylosanthes* pastures. En: Stace, H.M. y Edye, L.A. (eds.). *The biology and agronomy of Stylosanthes*. Academic Press, Sydney, Australia. p. 333-357.
- Gillard, P. y Winter, W.H. 1984. Animal production from *Stylosanthes* based pastures in Australia. En: Stace, H.M. y Edye, L.A. (eds.). *The biology and agronomy of Stylosanthes*. Academic Press, Sydney, Australia. p. 405-432.

- Grime, J.P. 1979. Plant strategies and vegetation processes. Wiley and Sons, Chichester, U.K.
- Grubb, P.J. 1977. The maintenance of species-richness in plant communities: The importance of the regeneration niche. *Biol. Rev.* 52(1):107-145.
- Harper, J.L. 1977. Population biology of plants. Academic Press, London. 892 p.
- . 1978. The demography of plants with clonal growth. En: Freyden, A.J. y Woldendorp, J.W. (eds.). Structure and functioning of plant populations. North Holland, Amsterdam. p. 27-48.
- . 1982. After description. En: Newman, E.I. (ed.). The plant community as a working mechanism. Spec. pub. of the British Ecological Society, no. 1. Blackwell, Oxford. p.11-25.
- . y White, J. 1974. The demography of plants. En: Johnston, R.F., Frank, P.W. y Michener, C.D. (eds.). Annual review of ecology and systematics 5:419-463.
- Hodgkinson, K.C. y Williams, O.B. 1983. Adaptation to grazing in forage plants. En: McIvor, J.G. y Bray, R.A. (eds.). Genetic resources of forage plants. CSIRO, Melbourne, Australia. p. 85-100.
- Humphreys, L.R. 1984. Grazing management and the persistence of yield in tropical pasture legumes. En: Asian Pastures. FFTC book series, no. 25. Taipei, Taiwan. p. 1-11.
- Hurford, R. 1979. Deterioration and renovation of pastures at "Bungawatta". *Trop. Grassld.* 13(3):181-182.
- Jones, R.M. 1979. Effect of stocking rate and grazing frequency on a Siratro (*Macroptilium atropurpureum*)/*Setaria anceps* cv. Nandi pasture. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 19(98):318-324.
- . 1980. Persistence of greenleaf *Desmodium* in established pastures. *Trop. Grassld.* 14(2):123-124.
- . 1981. Studies on the population dynamics of Siratro: The fate of Siratro seeds following oversowing into subtropical pastures. *Trop. Grassld.* 15(2):95-101.
- . 1982. White clover (*Trifolium repens*) in subtropical south-east Queensland. I. Some effects of site, season and management practices on the population dynamics of white clover. *Trop. Grassld.* 16(3):118-127.
- . 1984. White clover (*Trifolium repens*) in subtropical south-east Queensland. III. Optimizing clover and animal production by use of lime and flexible stocking rates. *Trop. Grassld.* 18.
- . y Bunch, G.A. 1977. Sampling and measuring the legume seed content of pasture soils and cattle faeces. CSIRO Division of Tropical Crops and Pastures, Tropical Agronomy technical memorandum no. 7.
- . y Cook, B.G. 1981. Agronomy of Kenya white clover cultivar Safari. CSIRO Division of Tropical Crops and Pastures. Information Service sheet 41-3.

- . y Harrison, R.E. 1980. Note on the survival of individual plants of *Leucaena leucocephala* in grazed stands. *Trop. Agric. (Trinidad)* 57(3):265-266.
- . y Mott, J.J. 1980. Population dynamics in grazed pastures. *Trop. Grassld.* 14(3):218-224.
- . y Tothill, J.C. 1985. BOTANAL: A field and computing package for assessment of plant biomass and botanical composition. En: Tothill, J.C. y Mott, J.J. (eds.). *The ecology and management of tropical savannas*. Aust. Acad. Sci./CAB, Canberra, Australia.
- Jones, R.J. y Jones, R.M. 1978. The ecology of Siratro-based pastures. En: Wilson, J.R.(ed.). *Plant relations in pastures*. CSIRO, Melbourne, Australia. p. 353-367.
- Krylova, N.P. 1979. Seed propagation in grasslands of various natural zones of the USSR. *Proc. 6th Meeting European Grassland Federation*. p. 257.
- Mack, R.N. y Pyke, D.A. 1979. Mapping individual plants with a field-portable digitizer. *Ecology* 60(3):459-461.
- t. Mannelje, L. (ed.). 1978. Measurement of grassland vegetation and animal production. *Commonw. Bur. Past. Field Crops Bulletin* no. 52. CAB, Hurley, U.K.
- McCowan, R.L.; Murtha, G.G. y Field, J.B.G. 1977. Pattern of distribution of Townsville stylo, annual grasses and perennial grasses in relation to soil variation. *J. Appl. Ecol.* 14(2):621-30.
- McIvor, J.G.; Bishop, H.G.; Walker, B. y Rutherford, M.T. 1979. The performance of *Stylosanthes guianensis* accessions at two sites in coastal north and central Queensland. *Trop. Grassld.* 13(1):38-44.
- McKeon, G.M. y Mott, J.J. 1984. Seed biology of *Stylosanthes*. En: Stace, H.M. y Edey, L.A. (eds.). *The biology and agronomy of Stylosanthes*. Academic Press, Sydney, Australia. p. 311-332.
- Mortimer, A.M. 1976. Aspects of the seed population dynamics of *Dactylis glomerata* L., *Holcus lanatus* L., *Plantago lanceolata* L. y *Poa annua* L. *Proc. British Crop Protection Conference, British Crop Protection Council, Londres*. p. 687-694.
- Mott, J.J. y Andrew, M.H. 1985. The effect of fire on the population dynamics of native grasses in tropical savannas of north-west Australia. (En impresión.)
- . y McKeon, G.M. 1977. A note on the selection of seed types by harvester ants in northern Australia. *Aust. J. Ecol.* 2(3):231-235.
- . y ————. 1979. Effect of heat treatments in breaking hardseededness in four species of *Stylosanthes*. *Seed Sci. Technol.* 7(1):15-26.
- Partridge, I.J. 1979. Improvement of Nadi blue grass (*Dichanthium caricosum*) pastures on hill land in Fiji with superphosphate y Siratro: Effects of stocking rate on beef production and botanical composition. *Trop. Grassld.* 13(3):157-164.
- Pott y Humphreys, L.R. 1983. Persistence and growth of *Lotononis bainesii*/*Digitaria decumbens* pastures. I. Sheep stocking rate. *J. Agric. Sci. (Cambridge)*. 101(1):1-8.

- Roberts, H.A. 1981. Seed banks in soils. En: Coaker, T.H. (ed.). Avances in applied biology VI. Academic Press, London, U.K. p. 1-56.
- Sagar, G.R. 1982. An introduction to the population dynamics of weeds. En: Holzner, E. y Numata, M. (eds.). Biology and ecology of weeds. W. Junk, The Hague, Netherlands. p. 161-168.
- Shaw, N.H. y Bryan, W.W. (eds.). 1976. Tropical pasture research principles and methods. Commonw. Bur. Past. Field Crops. Bulletin no. 51. CAB, Hurley, U.K.
- ; Jones, R.M.; Edey, L.A. y Bryan, W.W. 1976. Developing y testing new pastures. En: Tropical pasture research principles and methods. Commonw. Bur. Past. Field Crops. Bulletin no. 51. CAB, Hurley, U.K. p. 235-250.
- Silverton, J.W. 1981. Micro-spatial heterogeneity and seedling demography in species-rich grasslands. *New Phytol.* 88(1):117-128.
- Sproule, R.J., Shelton, H.M. y Jones, R.M. 1983. Effects of summer and winter grazing on growth habit of Kenya white clover (*Trifolium semipilosum*) cv. Safari in a mixed sward. *Trop. Grassld.* 17(1):25-30.
- Taylor, G.B. 1984. Effect of burial on the softening of hard seeds of subterranean clover. *Aust. J. Agric. Res.* 35(2):201-210.
- Torsell, B.W.R. y Nicholls, A.O. 1978. Population dynamics in species mixtures. En: Wilson, J.R. (ed.). Plant relations in pastures. CSIRO, Melbourne, Australia. p. 217-232.
- Tothill, J.C. y Jones, R.M. 1977. Stability in sown and oversown Siratro pastures. *Trop. Grassld.* 11(1):55-65.
- y Tessel, J. 1982. Pasture spelling and pasture stability. En: CSIRO Division of Tropical Crops and Pastures. Annual Report 1981-1982. Melbourne, Australia. p. 93.
- Turkington, R. 1983. Plasticity in growth and patterns of dry matter distribution of two genotypes of *Trifolium repens* grown in different environment of neighbours. *Can. J. Bot.* 61(8):2186-2194.
- y Harper, J. 1979. The growth, distribution and neighbour relationships of *Trifolium repens* in a permanent pasture. IV. Fine-scale biotic relationships. *J. Ecol.* 67(1):245-254.
- van Andel, J. 1975. A study of the population dynamics of the perennial plant species *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop. *Oecologia* 19(4):329-337.
- Watkinson, A.R. 1978. The demography of a sand dune annual: *Vulpia fasciculata*. II. The dynamics of seed populations. *J. Ecol.* 66(1):35-44.
- Williams, O.B. 1978. Plant demography of Australian arid rangelands and implications for management, research and land policy. En Hyder, D.H. (ed.). Proc. 1st International Rangeland Congress, Denver, Colorado. p. 185-186.
- Wilson, G.P.M.; Jones, R.M. y Cook, B.G. 1982. Persistence of jointvetch (*Aeschynomene falcaia*) in experimental sowings in the Australian subtropics. *Trop. Grassld.* 16(3):155-156.

Análisis económico de resultados de las pruebas de pastoreo

Alfredo Riesco*
Carlos Seré**

Resumen

Este trabajo presenta una metodología para un análisis económico de experimentos de pastoreo, enmarcada en una filosofía de investigación de los sistemas de pastoreo.

Se discuten brevemente los objetivos de este tipo de análisis y se plantea una secuencia de evaluación. Se proponen enfoques de evaluación por presupuestación parcial o total así como análisis de funciones de producción. Dado el carácter de cultivo perenne de las especies forrajeras, se introduce el análisis de flujos financieros y se discuten las ventajas relativas de criterios tales como el valor presente neto, la tasa interna de retorno, y la relación beneficio costo.

Esta metodología se aplica a dos ejemplos: un análisis de experimentos de ganancia de peso, y un caso de uso estratégico de la pastura que incluye vacas de cría.

Se discuten diversas dificultades prácticas en la evaluación económica de las pruebas de pastoreo tales como la definición de las cargas óptimas, el manejo de la persistencia de la pastura, el ajuste necesario a los datos experimentales, la variabilidad de los parámetros y los riesgos que éstos implican, la información acerca de los precios que se usarán —particularmente los del ganado debido al movimiento cíclico y estacional de éstos— el tratamiento de la inflación, y el horizonte de evaluación que se utilizará.

* Departamento de Producción Animal, IVITA, Pucallpa, Perú.

** Economista Agrícola, Programa de Pastos Tropicales, CIAT, Cali, Colombia.

Se concluye que el análisis económico puede aportar elementos valiosos al proceso de selección de germoplasma forrajero; su valor depende en alto grado sin embargo, de la estrecha cooperación entre biólogos y economistas en la fase de planteamiento de análisis. Dada la importancia del marco socioeconómico en esta evaluación, no pueden expedirse 'recetas' metodológicas aplicables a todos los experimentos.

Introducción

El objetivo de una prueba de pastoreo es identificar las pasturas y los sistemas de manejo asociados con ellas, que superen en eficiencia a los ya existentes, y que sean adoptados por los ganaderos. El análisis económico es la herramienta que permite pronosticar si una tecnología dada puede aportar algo a los objetivos del ganadero, entendiendo ese aporte especialmente como retorno económico a los recursos de que aquél dispone (tierra, capital, mano de obra). Este argumento implica que el análisis económico es una función del entorno socioeconómico en que, se espera, se desenvolverá la tecnología. Por ello, un análisis semejante presupone un conocimiento de ese marco o entorno y sólo es válido dentro de él. De ahí que el presente trabajo enfoque la evaluación económica de las pasturas con la perspectiva de la teoría de sistemas.

Objetivos de la evaluación económica

Los objetivos de la evaluación económica hecha en pruebas de pastoreo se pueden resumir así:

- Evaluar las posibilidades que tienen las técnicas, la combinación de recursos, o los procesos planteados de contribuir al retorno adicional esperado, contando con los escasos recursos de los productores, con su aceptación de la nueva tecnología, y con la potencial contribución de ésta al desarrollo regional y nacional.
- Evaluar las restricciones a que están sujetas tales innovaciones cuando logran éstas obtener respuestas productivas en las pruebas; mejorar la aceptabilidad de dichas innovaciones y permitir su implementación a corto o mediano plazo.

Teniendo estos objetivos en mente, la evaluación económica de los resultados de los experimentos (es decir, la evaluación a posteriori) puede resultar sumamente desalentadora. La cuantiosa inversión hecha en tiempo, personal, materiales, equipo y otros gastos para armar y mantener, durante algunos años, una prueba de pastoreo podría resultar poco útil en términos del

retorno económico, de la aceptabilidad de la tecnología o de su contribución al desarrollo rural. Se estima que el costo de un ensayo regional D de 16 parcelas será, aproximadamente, de US\$13,000, sin incluir en esa cifra los animales, el mantenimiento de las pasturas, los gastos administrativos, y el tiempo de los investigadores (Cuadro 1).

Cuadro 1. Inversión hecha en una prueba de pastoreo^a de 16 parcelas de 2 ha cada una, en promedio, sin incluir animales, gastos de mantenimiento, gastos administrativos, y tiempo de los investigadores (Pucallpa, Perú, 1984).

Inversiones	Valor en:	
	Soles (miles)	US\$
Cercas		
Alambre de púa (10 km)	9,600	2,526
Postes (2000 unidades)	4,000	1,052
Mano de obra (60 jornales)	2,000	526
Bebederos		
Mano de obra (contratista)	480	126
Siembra		
Preparación de la tierra (384 horas tractor)	15,360	4,042
Semilla ^b	8,800	2,316
Mano de obra para establecimiento (480 jornales) ^c	3,840	1,011
Fertilizante inicial (4.8 t)	4,800	1,263
Herbicidas (16 gal)	3,200	842
Total	52,800	13,705

a. Pasturas: *Brachiaria* sp. y *Andropogon* sp.; cargas: 4; repeticiones: 2.

b. *Brachiaria* sp.: 3 kg/ha; *Andropogon* sp.: 15 kg/ha.

c. Jornales/ha: 'desmonte' inicial, 10; siembra, 1; aplicación de herbicidas, 3; fertilización, 1.

Formulación de hipótesis

La evaluación económica debe hacer parte del proceso de investigación desde cuando se identifican los problemas en la situación real hasta la obtención de resultados a nivel experimental y, posteriormente, hasta la validación de éstos. La Figura 1 presenta un esquema del proceso racional que guía el planteamiento de un experimento.

En la situación real se observan los síntomas que deben permitir, a través de una relación causal, identificar problemas específicos. Si se toma como ejemplo una zona en el trópico húmedo, cuyas fincas se dedican a la producción de carne y leche, y se observa una baja producción de leche en la época seca aunada a una concentración de partos en los meses de esa época, se

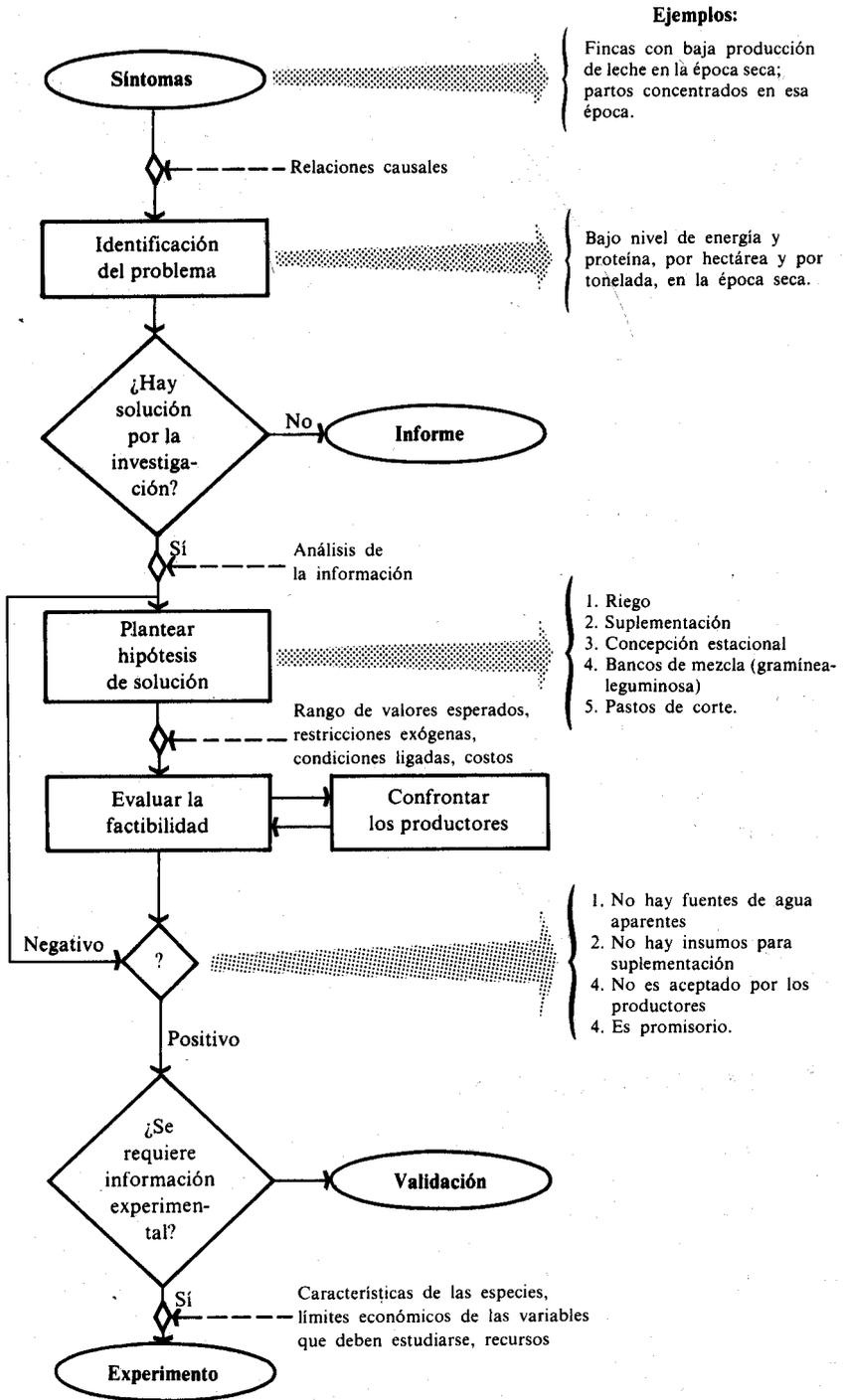


Figura 1. Proceso racional seguido en el planteamiento de experimentos agropecuarios.

podría identificar allí un problema de estacionalidad de las pasturas y de su aporte de nutrimentos.

Antes de formular hipótesis de solución, se deben seleccionar aquellos problemas que puedan resolverse y que despierten el interés de la institución que apoya la investigación.

Las hipótesis de solución planteadas se deben someter a una evaluación *ex ante* basada en el conocimiento o en los antecedentes disponibles que permitan asumir un rango de valores esperados. Un paso decisivo, ya desde esta evaluación *previa*, es investigar si las hipótesis de solución se enfrentarán a restricciones que estén fuera del alcance de los productores o si, por sus costos y características, aquéllas serían difícilmente aceptadas en las fincas.

A este nivel resultaría de suma utilidad confrontar los problemas y posibles soluciones con los productores del *dominio de adaptación*, entendiendo por tal un área homogénea donde tendrá aplicación la tecnología.

En el ejemplo citado, el bajo nivel de nutrimentos en la época seca podría subsanarse *a priori* mediante el riego, la suplementación de concentrados, la sincronización del 'entore' (apareamiento), el establecimiento de bancos de leguminosas o el suministro de pastos de corte. Ahora bien, como resultado de una evaluación *ex ante* se podría demostrar que sólo las últimas dos hipótesis tienen posibilidades de éxito. De este modo, se concentrarían esfuerzos y recursos en probar solamente esas hipótesis.

En algunos casos, sin embargo, cuando se conoce suficientemente la alternativa planteada y se dispone de un estimado confiable de sus resultados, se debería validar simplemente la alternativa. Esta situación podría ocurrir cuando se estudia el uso de los pastos de corte. El empleo de *bancos* de forraje, en cambio, plantea incógnitas que ameritan pruebas experimentales; ejemplos de aquéllas son: ¿Qué especies se usarán? ¿Qué proporción del área de la pastura se asignará al banco? ¿Qué respuesta, expresada como producción de leche y fertilidad, se obtendrá finalmente de las vacas?

Hay dos niveles en la evaluación económica de alternativas tecnológicas: la finca y la sociedad. Los criterios que se utilizan para la evaluación económica a nivel de la finca están circunscritos a la aceptabilidad de la innovación por parte de los productores; a nivel social, en cambio, los criterios consideran la contribución que se espera de una innovación respecto al incremento y a la distribución de los ingresos, al aumento en la producción regional y nacional, al ahorro de divisas, a la generación de empleo, y a otros aspectos.

Cuando las hipótesis y el planteamiento de las pruebas han pasado por el proceso descrito en la Figura 1, la evaluación de los resultados experimentales se realiza, principalmente, según el criterio de aceptabilidad por el productor,

es decir, a nivel de la finca. Se supone que el experimento, a nivel macroeconómico, está ya enmarcado dentro de un determinado lineamiento que lo hace viable desde ese punto de vista.

La aceptabilidad de una alternativa tecnológica se estima a la luz de las siguientes variables:

- el retorno al capital, a la mano de obra familiar, y a la tierra;
- el riesgo y la estabilidad económica implícitos en la decisión;
- el comportamiento de la innovación frente a los objetivos no pecuniarios del productor tales como hábitos, creencias o preferencias.

Desafortunadamente, no es posible elaborar un solo patrón metodológico de evaluación económica para las pruebas de pastoreo, porque, en principio, las fincas de cada dominio de adaptación tienen características estructurales diferentes y se encuentran dentro de un marco socioeconómico distinto.

Conocimiento del dominio de adaptación

La evaluación económica de las pruebas de pastoreo no puede realizarse con independencia de las circunstancias que atraviesan aquellos sistemas de producción en cuyo beneficio se ha orientado la investigación.

Una evaluación es siempre relativa. Los resultados de un experimento en que se ensaya un insumo se comparan, frecuentemente, con los resultados de un tratamiento donde el nivel del insumo en cuestión es igual a cero. Una evaluación realista debería considerar como testigo aquel nivel del insumo que se emplea en el sistema prevalente o en un modelo básico; en todo caso, debería tener en cuenta que las ventajas o desventajas que pueda ofrecer un tratamiento no sólo se refieren a otros tratamientos dentro del experimento, sino fundamentalmente a los parámetros productivos del sistema prevalente o del modelo básico.

Para efectuar, por tanto, una evaluación económica correcta y útil de las pruebas de pastoreo se deben cumplir los siguientes requisitos:

- a. Delimitar el *dominio de adaptación* del programa de investigación. Es fundamental señalar los límites socioeconómicos y agroecológicos dentro de los cuales queda definido el universo de fincas que interesan a ese programa.
- b. Conocer el *sistema de producción* prevalente dentro del dominio de adaptación en lo referente a su dotación de recursos, su estructura y su funcionamiento. Tal conocimiento permite al grupo investigador, de un lado, juzgar a priori la factibilidad de las hipótesis de solución y del rango

de los tratamientos experimentales y, de otro lado, analizar en qué grado las innovaciones tecnológicas planteadas afectarían otras actividades o componentes del modelo básico.

- c. Conocer las *características del mercado* de productos, insumos, capital, tierra y mano de obra con el fin de analizar precios en el corto y mediano plazos, de valorar recursos y, finalmente, de evaluar la estabilidad económica de las mejoras tecnológicas propuestas.
- d. Estimar la *función objetivo del productor*, es decir, su escala de valores o su función de utilidad, con el propósito de definir parámetros de aceptabilidad de las alternativas de producción planteadas en las pruebas de pastoreo.
- e. Definir el *horizonte de tiempo* de la institución investigadora. El marco socioeconómico actual tiende a ser tenido como estático. Sin embargo, es frecuente argumentar, en la investigación de largo plazo, p.ej. en las pasturas o en los cultivos perennes, que la evaluación económica debe llevarse a cabo dentro del marco socioeconómico esperado, es decir, cuando esa tecnología esté disponible al productor.

Metodología de la evaluación económica

Mientras existe un apreciable cúmulo de experiencias en la metodología de evaluación económica de los resultados de la investigación en el área de cultivos anuales, es relativamente poco lo que se ha escrito acerca de las pruebas con animales.

La evaluación de experimentos con cultivos anuales tiene la ventaja de que el proceso productivo es más directo (suelo-planta) y de que fácilmente se puede demarcar el ciclo económico. Este ciclo es de corto plazo y, aunque se asume que hay independencia entre los ciclos respecto al tiempo, este supuesto puede someterse a discusión. La experimentación en pasturas con animales, en cambio, es mucho más compleja ya que la cadena productiva tiene un eslabón más, es decir, el animal; con éste, se consideran además muchos factores nuevos que intervienen en la producción. Los resultados deben evaluarse, necesariamente, en el mediano plazo o en el largo plazo, porque existe una correlación importante entre el comportamiento de la pastura y su edad. Una dificultad adicional radica en la diversidad de los parámetros productivos, los cuales, generalmente, se hallan interrelacionados; así, ocurre por ejemplo, con la producción de leche, la fertilidad, y los cambios en peso vivo.

Como las pruebas de pastoreo requieren mayor inversión que los experimentos en cultivos, siempre habrá mayores dificultades para aumentar el

número de tratamientos, el número de observaciones por tratamiento, y el número de repeticiones. De este modo se obtienen, frecuentemente, rangos de confiabilidad demasiado amplios en los parámetros productivos y, por consiguiente, en los índices económicos.

Valoración de costos y beneficios

El acierto en la evaluación económica de cualquier proceso productivo depende, por un lado, de la fidelidad con que se interpreten los datos físicos y biológicos y, por otro, de la autenticidad con que se estimen los costos y beneficios involucrados en ese proceso.

En la valoración de costos y beneficios es necesario investigar en qué casos se emplearán los precios del mercado, los costos de oportunidad, o los costos de producción. El costo de oportunidad es la valoración real del costo de un factor productivo y se define como el valor del mismo factor en su mejor uso alternativo.

Cuanto menores sean los recursos del productor, tanto más difícil se hace su valoración en el análisis económico, puesto que a menudo el costo de aquéllos es diferente a los precios corrientes del mercado. Por ejemplo, si el productor contrata la *mano de obra*, entonces los salarios que se paguen en el área de producción, tanto en efectivo como en especie, coincidirán con el costo del factor mano de obra; si, en cambio, el productor emplea su tiempo o el de su familia, se debe considerar el costo de oportunidad de esos tiempos de trabajo. Si, como resultado del diagnóstico, se sabe además que el productor ocupa su tiempo en un cultivo, el costo de oportunidad de su mano de obra será igual a lo que dejaría de ganar al dedicarse a otra actividad.

Ocurre, a menudo, que el productor prefiere pasar su tiempo descansando en lugar de dedicarlo a alguna actividad productiva; sobreviene, entonces la tentación de imputarle un valor nulo a ese tiempo. Sin embargo, se acepta que las personas dan un valor a sus ratos de ocio; por tanto, un productor agropecuario empezará a trabajar sólo cuando se presente una alternativa cuyos beneficios esperados sean mayores que el descanso.

Para valorizar el costo del *capital* es necesario, en primer lugar, saber si es, respecto al productor, de fuente propia o ajena. En muchos países se otorga crédito al sector agropecuario en condiciones preferenciales y para determinadas líneas de producción. Sin embargo, debe entenderse que los costos del capital siempre serán más altos que las tasas preferenciales de los bancos, especialmente para el pequeño productor.

Los primeros sujetos de crédito de la banca de fomento son los grandes productores, para quienes el costo del capital está más cerca de la tasa fijada por el banco. Los productores pequeños, además de absorber los costos de

tramitación del crédito —relativamente más altos que para los grandes productores— y de afrontar el riesgo de fracasar en la solicitud del crédito, deben resignarse a obtener un capital dirigido a adquirir determinados insumos que no siempre son los más convenientes para mejorar la eficiencia del sistema de producción.

El capital propio del productor tiene, en general, un costo de oportunidad bastante más alto. Primero, porque su capital es escaso y está destinado a suplir necesidades elementales de alimentación, salud, vestido, educación, vivienda y, en general, seguridad; segundo, porque hay dentro de la finca varias alternativas con una alta productividad marginal. El pequeño productor preferirá, en esas condiciones, invertir dentro de la finca. Sin embargo, a partir de cierto tamaño de operación —en términos de capital— el costo de oportunidad del capital propio del productor está constituido por el retorno esperado de alternativas de inversión surgidas fuera de la finca, cuando éstas le ofrecen al productor un retorno mayor que la inversión dentro de la finca.

El costo de los *insumos* comprados se valora al precio del mercado, más los gastos de transporte y almacenamiento, y más los intereses. Cuando estos insumos se producen en la misma finca, su costo puede limitarse a la mano de obra adicional (p. ej., el uso de estiércol) o puede equivaler al valor de las mermas en otro producto (p. ej., el uso de hojas de yuca para suplementación animal).

En la valoración de los *productos* se debe analizar el acceso real que tiene la finca al mercado. El precio de la carne o de la leche, a nivel de la finca, depende de la calidad del producto, del volumen producido, y de la infraestructura de comercialización existente en la región. Debido a que la evaluación de las pruebas de pastoreo debe realizarse, por lo menos, en un plazo mediano, es imperioso conocer la tendencia de los precios de la carne o de la leche, y de los insumos más importantes. Algunos problemas, que surgen por prescindir de estos conceptos, se analizarán más adelante.

La valoración del *inventario* al final del período de evaluación —valor residual— debe hacerse según el valor del mercado, es decir, asumiendo que los activos de la finca se venden.

Métodos de evaluación económica

Los métodos de evaluación económica que interesan a las pruebas de pastoreo son: el presupuesto, o 'presupuestación' total o parcial, y el análisis de funciones de producción.

La *presupuestación* es un método de evaluación mediante el cual se anticipan los costos y los beneficios futuros como resultado de un plan determinado. La presupuestación es total cuando se considera el comportamiento de

toda la finca, y es parcial cuando se refiere sólo a un subsistema o a una parte de la finca.

En la evaluación de los resultados de las pruebas de pastoreo, la presupuestación se hace para simular el desarrollo de una finca bajo diferentes planes que estarían definidos por los tratamientos de la prueba. Se utiliza la presupuestación total cuando los métodos alternativos de producción planteados impliquen cambios en los otros subsistemas de la finca; por ejemplo, se usa kudzú con un objetivo doble: reduce el ciclo de descanso entre los cultivos y sirve de banco de proteína. Cuando los nuevos métodos de producción afecten sólo una parte de la finca o cuando sus efectos sobre otros subsistemas sean claramente identificables, se hará una presupuestación parcial. Este último caso se observa con mayor frecuencia en las pruebas de pastoreo, especialmente cuando se comparan especies o sistemas de pastoreo.

En algunos casos, el *análisis económico* debe decidir el nivel óptimo de utilización de algún recurso respecto a otros que se mantienen fijos. Si se cuenta con suficientes niveles de observación en la prueba, es posible emplear funciones de producción para un análisis de tipo marginal. Así ocurre, p. ej., en las pruebas en que se estudia la carga animal, o el área relativa de las franjas de leguminosa, o los niveles de fertilización.

El análisis marginal consiste en comparar el beneficio adicional producido por la última unidad de un insumo que se añade al proceso productivo (valor del producto marginal), y el costo adicional en que se incurre al agregar dicha unidad (costo marginal). En los ensayos de carga animal, se incorporan gradualmente unidades animales a un área determinada o, recíprocamente, se agregan unidades de área dado un número fijo de unidades animales. Más adelante se aducen ejemplos ilustrativos de estos métodos de evaluación.

Medidas de la eficiencia económica

El investigador debe decidir entre varias maneras de expresar sus resultados. Esa decisión será útil para la evaluación si tiene en cuenta el concepto de eficiencia. Por eficiencia se entiende una relación entre el efecto logrado y el esfuerzo o los recursos que se utilizaron para lograrlo. Ahora bien, cuando estos recursos son escasos, la eficiencia adquiere un sentido económico. Existen varias formas de expresar esta eficiencia, algunas de las cuales se discuten a continuación.

Producción por animal y producción por hectárea

La productividad de las pruebas de pastoreo se expresa, en primer lugar, como producción por animal o producción por hectárea. La importancia relativa que tenga cada uno de estos dos parámetros de la eficiencia depende

del valor de los animales o de la pastura. Al productor le interesará más la producción por hectárea cuando le sea más difícil aumentar y mantener una hectárea adicional de pastos, ya sea comprando más área cubierta con pastos o estableciendo nuevas áreas con pastos. El valor de la tierra, por ejemplo, es más alto cerca de los centros poblados; en consecuencia, hay más apremio por obtener mayor producción por hectárea en estas áreas en comparación con otras alejadas de las ciudades, donde el precio de la tierra es menor. En cambio, al productor le interesará más la producción por animal cuando sea relativamente más costoso aumentar el tamaño del hato.

Flujo de efectivo y valor presente neto

Como se indicó anteriormente, la producción de pastos debe evaluarse en el mediano plazo. Esta necesidad es una consecuencia de alguno, al menos, de los siguientes factores: el tiempo que demoran o bien el establecimiento de la pastura o las mejoras que se hagan en ella; la persistencia de la comunidad vegetal; los cambios en el comportamiento productivo de los animales desde cuando ingresan al nuevo sistema de pastura (p. ej., cuando se evalúen la fertilidad y la producción de leche).

Por esta razón, un parámetro de singular importancia es el flujo de efectivo que describa la forma en que se deben ejecutar los gastos y el momento en que ocurrirán los ingresos. Se debe admitir, por un lado, que el productor requiere de un nivel mínimo de efectivo para satisfacer sus necesidades elementales y, por otro, que él sólo estará dispuesto a posponer sus ingresos en efectivo siempre que el 'premio' supere cierta tasa de preferencia o de interés, que es el costo de oportunidad del capital. Los flujos de caja se pueden evaluar a través del valor presente neto (VPN). El VPN resulta de la sumatoria de los saldos del flujo de caja de todos los períodos, una vez que éstos hayan sido actualizados al presente utilizando cierta tasa de preferencia pertinente al productor.

Tasa interna de retorno

El retorno al capital invertido durante el período de evaluación u horizonte es una medida de la eficiencia, y sintetiza la relación entre el valor de la producción y todos los recursos que intervinieron en el proceso productivo valorados según sus costos reales. Esta medida, que se conoce como tasa interna de retorno (TIR), es la tasa de interés que rendirá la innovación tecnológica o la alternativa que se plantea, tasa que debe compararse con el costo de oportunidad del capital en el dominio de adaptación del programa de investigación.

La TIR es un criterio eficiente para ordenar alternativas de acuerdo con su comportamiento económico. En la mayoría de los casos, la TIR señala la mejor alternativa; además, es apropiada para comparar el retorno de la

inversión que se evalúa con las tasas de interés ofrecidas en el mercado. En contraste, el VPN indica si, con una tasa de interés pertinente, conviene dar curso a la innovación planteada o no conviene hacerlo. Es necesario, entonces, determinar el costo de oportunidad del capital antes de efectuar la evaluación.

Cuando hay, en algunos recursos, mayores limitaciones que en el capital, la mejor opción será aplicar el VPN y no la TIR. Esto ocurre en algunos programas de desarrollo cuando el crédito de la banca de fomento está al alcance del productor y, dado el tamaño de las operaciones de la finca modelo, no es restrictivo para las alternativas disponibles.

Tiempo de recuperación de la inversión

El tiempo transcurrido hasta que el productor recupera su inversión es una medida importante de la aceptabilidad de la innovación. En países en desarrollo, generalmente, el productor no está dispuesto a esperar más de tres o cuatro años para disfrutar del producto de su esfuerzo.

Las innovaciones en el componente 'pasturas' de un sistema requieren de una fuerte inversión inicial, de manera que el horizonte que debe contemplarse para calcular el VPN y la TIR es trascendental en la evaluación económica. La determinación del horizonte debe considerar, por un lado, el plazo atractivo para el productor y, por otro, la persistencia de la pastura o su productividad en función del tiempo.

Retorno a la mano de obra familiar

En regiones donde la mano de obra es escasa o cuando el productor tiene motivos particulares para eludir la contratación de operarios eventuales, el retorno al tiempo del productor y al de su familia —que éste puede obtener en una actividad o en una mejora al sistema de producción de su finca— es una medida de la eficiencia muy apreciada por el mismo productor. Por eso debe considerarse este parámetro en la evaluación de pruebas de pastoreo donde se sospeche que esa situación se presente.

Aplicación de métodos de análisis económico

Pruebas de pastoreo con ganancia de peso

No son raras las pruebas de pastoreo en que se comparan varias cargas animales y diferentes especies forrajeras o sus asociaciones. En Pucallpa (Riesco, Díaz y Santhirasegaram, 1974; Morales et al., 1976) se realizó un experimento donde se comparaba la productividad de *Hyparrhenia rufa*

(yaraguá) —la especie más difundida en ese entonces en la Amazonia peruana— y la de una asociación de esa gramínea con *Stylosanthes guianensis* (stylo), bajo cuatro cargas animales. Tomando este experimento como ejemplo, la evaluación económica buscará, en primer lugar, analizar la respuesta a las diferentes cargas animales dentro de cada tipo de pastura.

Método. En la determinación de la capacidad de carga de una pastura se puede emplear el método del análisis marginal de la función de producción. Los pasos que se deben seguir son los siguientes:

- a. Fijar la *función de producción* con respecto a la carga animal:

$$Y_p = f(X_p) \quad (1)$$

donde:

Y_p es la ganancia de peso vivo por hectárea, en g/ha por día.

X_p es la carga, en animales por ha.

- b. Derivar la función (1) para obtener el *producto marginal* (PM), es decir, el producto adicional (carne o leche) que se obtiene al aumentar un animal más por hectárea:

$$PM = \frac{d(Y_p)}{d X_p} \quad (2)$$

- c. Estimar la *función de costos variables* por hectárea (CV) con respecto a la carga; conviene expresar estos costos como kg de peso vivo a fin de disponer de una función válida y útil durante más tiempo:

$$CV = g(X_p) \quad (3)$$

- d. Derivar la función (3) para obtener el *costo marginal* por hectárea (CM).

$$CM = \frac{d(CV)}{d X_p} \quad (4)$$

- e. Encontrar la *carga óptima* resolviendo las ecuaciones (2) y (4); es decir, determinar aquella carga en la cual el valor del producto marginal sea igual al costo marginal por hectárea.

Modelo. El modelo que mejor explica la ganancia de peso vivo en función de la carga es de tipo cuadrático. En el caso del yaraguá, se aplicaron los resultados de tres años y se encontraron las siguientes funciones de producción (producto total) y de producto marginal:

$$Y = \frac{-1198.6 + 1691.7 X - 443.7 X^2}{(484.6) (147.0)} \quad (5)$$

$$r^2 = 0.86$$

$$PM = 1691.7 - 887.4 X' \quad (6)$$

Estas ecuaciones son válidas, por lo menos, en un rango de cargas entre 1.2 y 2.1 novillos/ha. El producto marginal (PM) se expresa como ganancia diaria en g/ha. (Los valores 484.6 y 147.0 son la desviación estándar de los coeficientes respectivos.)

Los costos variables por hectárea que deben considerarse se refieren a la mano de obra y a los insumos relacionados con el manejo y la sanidad del ganado y con el interés por el valor de los novillos durante el ciclo de crecimiento (1 año). Para el caso considerado, los costos variables por hectárea respecto a la carga se expresaron en gramos de peso vivo por día como sigue:

$$CV = 158.3 X \quad (7)$$

$$CM = 158.3 \quad (8)$$

La expresión (8) indica que por cada novillo más que pastoree por hectárea, se incurrirá en un costo adicional de 158.3 g/día equivalente a 57.8 kg de peso vivo por ha y por año.

La carga óptima del yaraguá (X_0) para las condiciones en que se desarrolló la prueba será, entonces, igualando (6) y (8):

$$CM = PM ;$$

$$X_0 = 1.73 \text{ novillos/ha}$$

A este nivel de carga se produciría un promedio de 400 g/ha diariamente, que equivalen a 146 kg/ha por año.

La carga encontrada en las fincas pequeñas de la región de Pucallpa fue, en promedio, de 0.91 UA/ha, que equivale a 1.3 novillos/ha, es decir, 25% menos que el óptimo, X_0 , antes mencionado. Con esta carga se produce un promedio de 250 g/ha por día en el lote de novillos, o sea, 91 kg/ha en 365 días.

Mediante el mismo método se calculó la carga óptima de la asociación yaraguá-stylo que resultó ser de 2.86 novillos/ha, tomando la información necesaria de los tres años de la prueba. Con esta carga se obtendría un promedio de 339 kg/ha por año.

Evaluación. Con esta información como base, se pueden evaluar económicamente las dos alternativas siguientes para hatos de cría y de levante:

1. Asociación de *H. rufa* con *S. guianensis* fertilizada con 20 kg de P_2O_5 /ha por año y bajo una carga animal de 2.86 novillos/ha; y

2. *H. rufa* solo, con una carga animal de 1.86 novillos/ha.

El método que se utiliza en este caso es el presupuesto parcial. Como se indicó anteriormente, el método restringe el análisis a aquellos costos y beneficios diferenciales con respecto al modelo básico o testigo. Volviendo al ejemplo, dicho modelo es una finca con subsistemas agrícola y ganadero, cuyo propietario establece cerca de 10 ha de *H. rufa* anualmente después de obtenida una cosecha de arroz y de maíz sobre las cenizas de un bosque o purma de varios años. La carga animal que soporta esa pastura es de 1.3 novillos/ha.

El Cuadro 2 presenta el resumen de los costos y beneficios marginales, por hectárea, distribuidos en un horizonte de seis años. La inversión inicial se limita a los costos de siembra de la leguminosa y a la transferencia o compra de los novillos adicionales requeridos para responder al aumento en la capacidad de carga de la asociación. La inversión hecha en el establecimiento de la pastura queda 'subsidiada' por la actividad agrícola que absorbe los costos de tala y quema del bosque.

En cuanto a los beneficios marginales, se consideró tanto un ciclo efectivo de 12 meses como una productividad diferencial constante —frente a la opción representada por el testigo— a lo largo del período de evaluación; esta última consideración es discutible, especialmente cuando se analiza la alternativa 2 donde la carga es mayor comparada con el modelo básico (*H. rufa* con 1.3 novillas/ha). La pastura, en estas condiciones, debe depreciarse más rápidamente que en el modelo, efecto que redundará en una disminución paulatina del valor adicional de los novillos vendidos; además, aparece un valor residual diferencial (que es negativo) para el pasto yaraguá bajo su carga óptima.

La TIR marginal para la asociación, bajo su carga óptima, es de 64.5%. La decisión de sembrar *Stylosanthes* sp. elevando la carga hasta 2.86 novillos/ha es mejor, considerado el retorno al capital, que la decisión de aumentar la carga de 1.3 a 1.87 novillos/ha (TIR = 43.6) en pasturas de yaraguá.

Resulta difícil, con frecuencia, aplicar el análisis de la función de producción ya sea por falta de observaciones a distintos niveles de carga o porque hay ajustes estacionales de la carga. En estos casos, se sugiere aplicar la presupuestación parcial a las distintas cargas observadas. La respuesta así obtenida dará un ordenamiento de las alternativas según el criterio de evaluación utilizado, y aunque no permita seleccionar la carga óptima, sí señalará la mejor de las evaluadas.

Pruebas de pastoreo con hatos de cría

El análisis presupuestal es más complejo cuando la prueba de pastoreo se realiza con hatos de cría. En Pucallpa se llevó a cabo un experimento con

Cuadro 2. Flujo de costos y beneficios marginales por hectárea de dos alternativas (A y B) de manejo de un hato de cría: en A, se siembra la asociación *H. rufa*/*S. guianensis*; en B, se eleva la carga de *H. rufa* hasta 1.7 novillos/ha con respecto al sistema común (*H. rufa* con 1.3 novillos/ha).

Descripción o rubro ^a	Costo o beneficio (US\$) en:														
	Año 0		Año 1		Año 2		Año 3		Año 4		Año 5		Año 6		
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	
Inversión inicial marginal															
• Semilla stylo (4 kg x \$10/kg)	40.0														
• Ganado (\$0.61/kg)			142.7	-43.9											
• M.O. para la siembra (1 j x \$4.3/j)	4.3														
Costos operativos marginales															
• Fertilizantes (100 kg x \$0.21/kg)			21.0		21.0		21.0		21.0		21.0		21.0		
• Mano de obra (1 x \$3.2/j)			3.2		3.2		3.2		3.2		3.2		3.2		
• Drogas y sales minerales (\$2/novillo)			2.6	0.8	2.6	0.8	2.6	0.8	2.6	0.8	2.6	0.8	2.6	0.8	
Total costos marginales	44.3		169.5	44.7	26.8	0.8	26.8	0.8	26.8	0.8	26.8	0.8	26.8	0.8	
Beneficios marginales															
• Valor adicional de novillos vendidos (\$0.61/kg)					187.3	32.5	187.3	32.5	187.3	32.5	187.3	32.5	187.3	32.5	
• Valor residual:															
- Pasturas ^b													33.0	-100.0	
- Ganado													142.7	52.2	
Total beneficios marginales					187.3	32.5	187.3	32.5	187.3	32.5	187.3	32.5	363.0	-15.3	
Beneficios netos marginales	-44.3	-169.5			-44.7	160.5	31.7	160.5	31.7	160.5	31.7	160.5	31.7	336.2	-16.1
TIR marginal (%)														64.5	43.6

a. j = jornal; M.O. = mano de obra; \$ = dólares E.U.

b. Valor diferencial de la pastura al cabo de seis años con respecto a la pastura sometida al manejo original.

vacas de carne durante tres años; en él se halló que la introducción de *Pueraria phaseoloides* (kudzú), fertilizado con 100 kg/ha de superfosfato, en una pradera de yaraguá y pasto natural producía una tasa de natalidad de 85% mientras que, en las mismas fincas del dominio de adaptación, se obtenía un 70% de natalidad al año. La innovación mejoraba también los pesos de destete en 30 kg con respecto a las fincas del área donde se hizo el experimento (Santhirasegaram et al., 1975; Riesco, Echavarría y Santhirasegaram, 1976).

Para efectuar la evaluación económica de la introducción de kudzú en el ejemplo anterior, hay que revisar, en primer lugar, las características de los sistemas prevalentes dentro del dominio de adaptación y fijar luego un *modelo básico*. El método que se emplea es la presupuestación parcial ya que aún es posible 'aislar' el subsistema ganadero del resto de la finca, estimando los costos de oportunidad y las restricciones que enfrenta la actividad ganadera.

El modelo básico es ahora una finca agrícola y ganadera de 50 ha en total, de las cuales 30 ha son pasturas (yaraguá y gramíneas invasoras). Dentro de la función objetivo del productor, el área para cultivos agrícolas y el área que se deja en descanso entre un cultivo y otro no deben disminuir, de manera que el área de pastoreo se restringe a 30 ha. La finca tiene un hato compuesto por 20 vacas, 12 novillas y 1 toro reproductor, todos con acceso a las sales minerales. El hato pastorea en forma continua y los terneros se venden al destete. Las novillas rempazan un 15% de las vacas anualmente y las restantes se venden (Cuadro 3).

Se debe simular, en segundo lugar, el plan de mejoramiento que decidirá adoptar el productor dadas sus restricciones y recursos. Asumiendo que decide mejorar 10 ha, se deben seguir los siguientes pasos: cercar el área; dejar descansar dos meses la pastura actual; quemar esa pastura; sembrar la leguminosa; fertilizar con fósforo; y esperar nueve meses más —hasta la siguiente época de lluvias— antes de utilizar la nueva pastura. El productor necesita alquilar potreros con pastos durante un año para 10 UA, con el fin de no reducir el tamaño del hato ni durante la siembra de la asociación gramínea-leguminosa ni en el subsiguiente establecimiento de la pradera (Cuadro 4). Este alquiler representa un costo adicional de 305 dólares por año. El desarrollo del área y de la capacidad de carga de las pasturas, así como de la población bovina de la finca, se describe en el Cuadro 5.

El empleo de la asociación incrementa los parámetros tecnológicos y se obtiene así una natalidad de 85% con un peso al destete de 180 kg. Se logran pesos para las categorías de novillas de dos años, de novillas de vientre, y de vacas de descarte de 300, 350 y 400 kg, respectivamente, en promedio. El aumento de la carga (8 UA) permite retener los terneros 'destetos' durante un año más y lograr un peso en los novillos de 350 kg a los dos años de edad.

Cuadro 3. Flujo de población en el modelo básico, antes de la mejora tecnológica.^a

Categoría animal	Entradas (no.)				Salidas (no.)			Inventario final
	Inventario inicial	Nacimientos	Trasferencias	Compras	Ventas	Trasferencias	Muertes	
Vacas	20	-	3.5 ^b	-	3	-	0.5 ^b	20
Terneras	-	7	-	-	6	-	1	-
Ternereros	-	7	-	-	-	6	1	-
Novillas	12	-	6	-	2.5 ^b	3.5 ^b	0 ^c	12
Toros	1	-	-	1/3 a. ^d	1/3 a. ^d	-	0 ^c	1

a. El guión (-) significa ninguno (a).

b. La cifra fluctúa entre los enteros de un año a otro.

c. La cifra, en el promedio de varios años, está próxima a cero.

d. 1/3 a. = una cada tres años.

Cuadro 4. Flujo de población partiendo del modelo básico y como resultado de la decisión de introducir *P. phaseoloides* y de aplicar fertilizante fosfórico en 10 ha de una finca.

Categoría animal ^a	Animales (no.) en año: ^b						
	0	1	2	3	4	5	6 ^c
Inventarios							
Vacas	20	20	23	24	24	24	
Terneras, 0-1	7	7	8	8	8	8	
Novillas, 1-2	6	6	7	7	7	7	
Novillas, 2-3	6	6	6	7	7	7	
Terneros, 0-1	7	7	8	8	8	8	
Novillos, 1-2	-	-	7	7	7	7	
Toros	1	1	1	1	1	1	
Animales	47	47	60	60	60	60	
UA	29.9	29.9	38.9	39.7	39.7	39.7	
Ventas							
Vacas	3	3	4	4	4	4	4
Terneras, 0-1	-	-	-	-	-	-	1
Novillas, 1-2	-	-	-	-	-	-	1
Novillas, 2-3	3	3	-	2	3	3	1
Terneros, 0-1	7	-	-	-	-	-	1
Novillos, 1-2	-	-	7	7	7	7	7

a. 0-1, 1-2, 2-3 indican los años de edad de los animales.

b. el guión (-) significa ninguno (a).

c. liquidación, al cabo de cinco años, del incremento de ganado con respecto a la situación inicial.

Cuadro 5. Variación del área, de la capacidad de carga, y de la población vacuna por la decisión de introducir *P. phaseoloides* y de aplicar fertilizante fosfórico en 10 ha de una finca.

Descripción del parámetro	Modelo básico	Variación en año:					
		0	1	2	3	4	5
Area con yaraгуá (ha)	30	20	20	20	20	20	20
Area con asociación (ha)	0	K ^a	10	10	10	10	10
Capacidad de carga de la asociación (UA)	0	0	18	18	18	18	18
Capacidad de carga total (UA)	30.0	20.0	38.0	38.0	38.0	38.0	38.0
Vacas, terneros y toros (UA)	22.1	16.1	21.2	22.4	22.4	26.9	26.9
Hato completo (UA)	29.9	26.0	29.0	30.9	36.3	38.2	38.2

a. Incorporación de kudzú en la pastura.

En los Cuadros 6 y 7 se presentan los incrementos en la producción atribuibles a la innovación tecnológica que se obtuvieron tanto en el desarrollo normal del hato como en su liquidación al cabo de seis años. En el Cuadro 8 se explica el flujo de efectivo de la alternativa propuesta. En cuanto a los costos de mano de obra se han considerado dos valores:

- La mano de obra del propietario cuyo valor alternativo es, aproximadamente, el doble del salario medio en la región considerada.
- La mano de obra contratada, que toma también su valor del salario mínimo.

La diferencia en costo se debe, por un lado, a las otras actividades que desarrolla el productor y, por otro, a la eficiencia con que éste trabaja si se la compara con la mano de obra ocasional.

La TIR marginal de la introducción de kudzú y de su fertilización es de 35.6% en un horizonte de seis años. Este índice que, en realidad, es el retorno al capital y a la administración del productor parece atractivo si consideramos que éste, en un cultivo de arroz, obtiene en siete meses una rentabilidad equivalente al 15% anual, en promedio, aunque sujeta a una gran variabilidad entre años y a una alta probabilidad de pérdida.

Cuadro 6. Beneficios marginales esperados por la utilización de pasturas asociadas, con respecto al modelo básico.

Ventas según categoría y modelo ^a	Beneficio en año:					
	0	1	2	3	4	5
Vacas						
M. tradicional (no.)	3	3	3	3	3	3
M. mejorado (no.)	3	3	4	4	4	4
Diferencia: (no.)	0	0	1	1	1	1
(kg)	0	0	400	400	400	400
Novillas						
M. tradicional (no.)	3	3	3	3	3	3
M. mejorado (no.)	3	3	0	2	3	3
Diferencia: (no.)	0	0	-3	-1	0	0
(kg)	0	0	-900	-200	150 ^b	150 ^b
Terneros						
M. tradicional (no.)	7	7	7	7	7	7
M. mejorado (no.)	7	0	0	0	0	0
Diferencia: (no.)	0	-7	-7	-7	-7	-7
(kg)	0	-1050	-1050	-1050	-1050	-1050
Novillos, 1-2 años						
M. tradicional (no.)	0	0	0	0	0	0
M. mejorado (no.)	0	0	7	7	7	7
Diferencia: (no.)	0	0	7	7	7	7
(kg)	0	0	2450	2450	2450	2450

a. M. tradicional = modelo básico: sólo gramíneas. M. mejorado = modelo mejorado con la introducción de 10 ha de una asociación de gramínea y leguminosa.

b. Producción de carne por diferencia del peso, en promedio, de las categorías en los dos modelos.

Cuadro 7. Beneficio marginal por liquidación del inventario ganadero.

Categoría animal ^a	Sistema tradicional, T		Sistema mejorado, M		Incremento, M-T	
	no.	kg	no.	kg	no.	kg
Vacas	20	7000	24	9600	4	2600
Terneras, 0-1	7	1050	8	1400	1	350
Novillas, 1-2	6	1500	7	2100	1	600
Novillas, 2-3	6	1800	7	2450	1	650
Terneros, 0-1	7	1050	8	1480	1	430
Novillos, 1-2			7	2450	7	2450
Toros	1	600	1	600	0	0
Total	47	13,000	62	20,080	15	7080

a. 0-1, 1-2, 2-3 indican los años de edad de los animales.

Consideraciones sobre los resultados de la evaluación económica

Generalización o especificidad

Los resultados de la evaluación económica de las innovaciones tecnológicas planteadas en las pruebas de pastoreo pueden variar sustancialmente de acuerdo con el modelo básico, o testigo, que se tome. Numerosos factores modificarían, de alguna manera, el comportamiento de los tratamientos de la prueba 'en la vida real' y entre ellos, los siguientes:

- **Recursos físicos** de la finca: área disponible, tamaño del hato, características de los suelos, tipo de vegetación, y otros factores.
- **Recursos humanos** de la finca: habilidad y experiencia del productor, disponibilidad de la mano de obra familiar, función objetivo del productor.
- **Decisiones de manejo y factores relacionados:** compra y venta de animales para ajustar la carga, proporción del área de la finca para mejorar, siembra en áreas nuevas o degradadas, porcentaje de remplazo de vacas, y otros.
- **Factores exógenos:** volumen y distribución de las lluvias, precios, servicios de comercialización, asistencia técnica, crédito.

Cuadro 8. Flujo de costos y beneficios marginales derivados de la introducción de *P. phaseoloides* en 10 ha de *H.rufa* y gramíneas nativas, en una finca modelo en Pucallpa, Perú.

Descripción ^a	Costos y beneficios (US\$) en año:						
	0	1	2	3	4	5	6
Inversión inicial marginal							
● Cercas (0.4 km x \$416/km)	166.4						
● Semilla (40 kg x \$3.4/kg)	140.0						
● Fertilizante (1000 kg x \$0.21/kg)	210.0						
● M.O. para establecimiento (60j x \$3.2/j) ^b	192.0						
Costos operativos marginales							
● Fertilizante (1000 kg x \$0.21/kg)		210.0	210.0	210.0	210.0	210.0	
● Mano de obra adicional:							
- Mantenimiento de cercas (2j x \$4.3/j)		8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	
- Fertilización (10j x \$3.2/j) ^b		32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	
- Manejo del ganado adicional (\$2.15/UA)			19.4	21.1	21.1	21.1	
● Drogas y minerales (\$2/UA)			18.0	19.6	19.6	19.6	
● Alquiler de pastos		305.0					
Total costos marginales	708.4	555.6	288.0	291.3	291.3	291.3	
Beneficios marginales							
● Valor adicional de:							
Vacas de descarte (\$0.58/kg)			232.0	232.0	232.0	232.0	
Novillas de vientre (\$0.70/kg)			-630.0	-140.0	105.0	105.0	
Terneras (\$0.61/kg)		-640.5	-640.5	-640.5	-640.5	-640.5	
Novillos de 1-2 años (\$0.61/kg)			1494.5	1494.5	1494.5	1494.5	

Continúa

Cuadro 8. Continuación.

Descripción ^a	Costos y beneficios (US\$) en año						
	0	1	2	3	4	5	6
• Valor residual del hato							
Vacas (\$0.58/kg)							1508.0
Terteras, 0-1 años (\$0.61/kg)							213.5
Novillas, 1-2 años (\$0.61/kg)							366.0
Novillas, 2-3 años (\$0.70/kg)							455.0
Terteros, 0-1 año (\$0.61/kg)							262.3
Novillos, 1-2 años (\$0.61/kg)							1494.5
Total							4299.3
• Valor residual de infraestructura y pastos:							
Pastura ^c							330.0
Cercas							187.0
Total beneficios marginales	-0	-640.5	456.0	946.0	1191.0	1191.0	4816.3
Beneficios netos marginales	-708.4	-1196.5	168.0	654.7	899.7	899.7	
TIR marginal (%)							35.6

a. j = jornales; M.O. = mano de obra; \$ = dólares E.U.

b. Promedio cuya mitad corresponde a la mano de obra del productor, valorada a \$4.3/jornal.

c. Valor adicional de la asociación de siete años de edad, por comparación con la pastura original.

Deben considerarse en el análisis económico aquellas variables que podrían tomar valores dentro de un rango amplio y causar una variación significativa en los parámetros de evaluación económica. El método empleado comúnmente para ello es el *análisis de sensibilidad* que compara los cambios ocurridos en el valor de los criterios económicos con los cambios en el valor de alguna de las variables mencionadas; cuando el VPN o la TIR son sensibles a estos cambios, la innovación propuesta es riesgosa. El análisis de sensibilidad utiliza valores discretos y es fácil de realizar.

Cuando exista información sobre la distribución probalística de las variables bajo análisis, la incertidumbre de los resultados de la evaluación puede describirse de modo más adecuado mediante la distribución probalística del VPN o de la TIR.

El problema de la carga óptima

Al señalar una carga óptima, tal como se hizo en el ejemplo en que se empleaba yaraguá, se acepta el alto riesgo de equivocarse debido a la variabilidad que ocurre entre años, entre sitios, y entre animales. Un criterio más realista es considerar un rango dentro del cual se hallaría la carga óptima con cierto grado de confianza.

La información utilizada en la prueba de las cargas animales en el pasto yaraguá y en la asociación yaraguá-stylo contenía datos de tres años, de dos sitios, y de ocho animales por sitio.

El rango de respuestas esperado es tan amplio que no permite tomar decisiones de manejo confiables. Es obvio que el efecto de los años o de los sitios o de los animales, como fuentes de variación, es de suma importancia y no es acertado prescindir de ellos englobándolos en una sola función de producción. En consecuencia, se deben considerar las funciones de producción para 'años buenos' y 'años malos', o para cada tipo de suelos, o para cada genotipo animal.

La persistencia de la pastura

Se considera, con frecuencia, el promedio de los índices productivos tal como se hizo en los dos ejemplos descritos anteriormente. Esta posición puede ser irreal y desembocaría en resultados económicos inexactos. Es necesario, entonces, considerar la evolución de la productividad de la pastura en el tiempo.

Desafortunadamente, esta evolución es difícil de estimar, primero por el relativamente alto número de años que deben evaluarse, y luego por la alta variabilidad que a menudo se presenta entre años debida a la distribución y al

volumen de las lluvias. Esta situación se dio en la prueba de las cargas en pasturas de yaraguá y de su asociación con *Stylosanthes* sp. antes mencionada.

No obstante, la información acerca de la evolución de la composición botánica de la pastura en los tres años de la prueba da indicios sobre la persistencia de la pastura. Dadas las dificultades analíticas para identificar las cargas óptimas en el tiempo, se busca generalmente identificar, mediante presupuestación total o parcial, aquellas cargas experimentales que son económicamente más eficientes.

Datos experimentales y datos reales

En la evaluación económica de los resultados de las pruebas de pastoreo, deben considerarse la administración y los recursos técnicos como causa de diferencias entre la estación experimental y las fincas de los productores; asimismo, no pueden ignorarse las diferencias debidas al sitio y al año en que se realizan las pruebas.

El sesgo que tendrán los resultados experimentales se origina en la selección del lugar donde se desarrollará la prueba. En la estación experimental se excluyen áreas imperfectamente drenadas o con pendientes pronunciadas en tanto que el productor está obligado a usar el área disponible en su finca. La estación cuenta con maquinaria, implementos y equipo que, a menudo, no están al alcance del productor. En ella, la intervención de los técnicos para 'salvar' un experimento es frecuente y si ocurren fracasos en el establecimiento de algunas parcelas o daños fortuitos en ellas, esta información no se registra y, por consiguiente, no entra en la evaluación económica de la prueba.

El establecimiento de pasturas suele ser la fase más compleja, especialmente cuando la innovación tecnológica incluye asociaciones. Se ha comprobado, por ejemplo, que la TIR marginal de la actividad de crecimiento y engorde de ganado en una asociación yaraguá-stylo se reduciría de 64.5 a 22.3% si el establecimiento de esa asociación sufriera una demora de un año adicional. Por consiguiente, es importante conocer la probabilidad de tales eventos, puesto que el productor sólo aceptará la innovación si los riesgos de fracaso son menores de cierto nivel fijado dentro de su función objetivo.

Los métodos más empleados para medir la productividad animal de las pasturas —unidad efectiva de alimento y cargas fijas— son métodos extremos, y ninguno de ellos representa el modo de actuar del productor. El método de la *unidad efectiva de alimento* resulta demasiado complicado, especialmente porque los cambios se hacen en períodos muy cortos; el productor no tiene tanta flexibilidad como la estación experimental. El productor tampoco mantendrá *cargas fijas* durante tres años o más —método que sí

podría plantearse experimentalmente— sino que reducirá las cargas mediante la venta de animales en los 'años malos' o en las sequías intensas y prolongadas y capitalizará, según el crecimiento interno principalmente, cuando le sobre forraje. La repercusión que tienen estas diferentes decisiones de manejo en la persistencia de la pastura puede afectar los resultados del análisis económico.

Es necesario también revisar los registros históricos de precipitación pluvial a fin de calificar los años en que se realiza la prueba como 'buenos, regulares o malos'. Los resultados de los años excepcionales son útiles sólo para conocer el rendimiento máximo, o el mínimo, de la pastura y de los animales, pero debe tenerse cuidado cuando se usan tales datos en la evaluación económica.

La predicción de precios

Uno de los factores de mayor trascendencia en el comportamiento económico de las innovaciones tecnológicas es, sin duda, el precio de los productos e insumos y, más exactamente, la relación de precios entre productos e insumos.

Como se indicó anteriormente, es necesario identificar los precios a nivel de la finca, o sea, los 'precios de campo'. Además, es imprescindible predecir, con suficiente exactitud, la relación de precios en cada periodo del horizonte el cual, tratándose de la evaluación de pasturas, debe extenderse de cuatro a diez años. Para el efecto, se debe analizar la serie histórica de los precios que interesan a la evaluación.

Precio de la carne

Ha tenido este precio fluctuaciones periódicas (ciclos) de seis u ocho años, junto con una tendencia alcista de alrededor de 3% al año en América Latina (Rivas y Cordeu, 1983). La Figura 2 ilustra los precios de la carne en Colombia y Brasil. La duración de los ciclos se debe a que los productores no pueden aprovechar con rapidez los estímulos del precio porque tardan en capitalizar sus hatos y en aumentar sus ventas. Ocurre que muchos productores toman esa decisión de modo simultáneo, así que por espacio de tres o cuatro años aumenta la oferta agregada de la carne y, en consecuencia, cae el precio. Este resultado desalienta a los productores y los invita a despreocuparse de la actividad ganadera y a reducir la extracción; por consiguiente, aumenta el precio en los siguientes tres o cuatro años. Este proceso se conoce como efecto telaraña ('cobweb effect').

Hay, además, ciclos estacionales de precios a nivel de la región o del país causados tanto por sequías intensas y prolongadas —que obligan al productor a disminuir la carga animal en las explotaciones— como por problemas

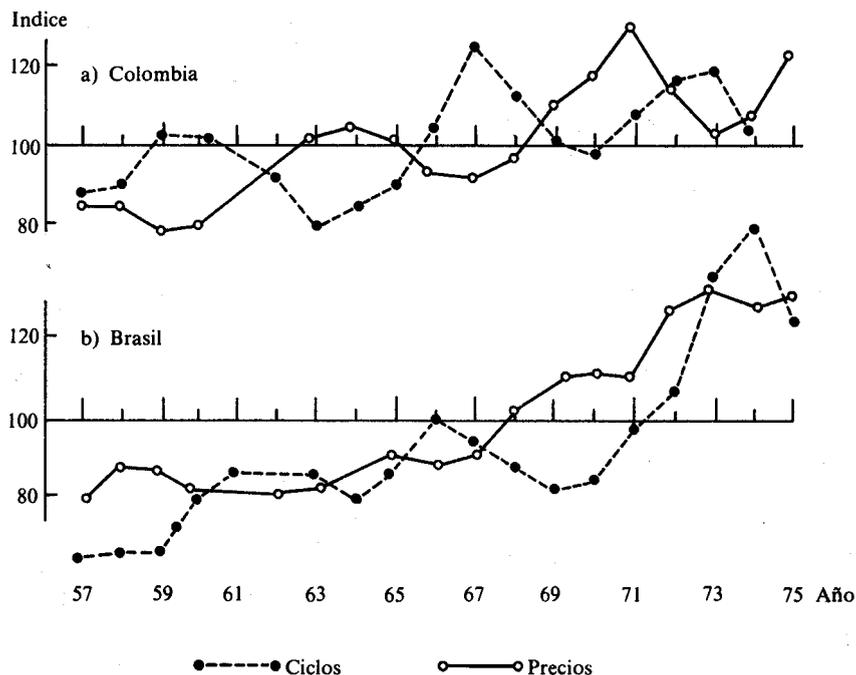


Figura 2. Ciclos de sacrificio y precios reales de carne en países seleccionados de América Latina. (1937/1975 = 100).

FUENTE: Rivas, L. y Nores, G. (1979).

relativos al acopio y al transporte. En la Amazonia, por ejemplo, los ríos son vías de comunicación de primera importancia, pero en la época de 'vacante' (cuando baja el caudal del río) hay dificultades para el acopio de ganado en muchas fincas; esta situación se refleja en una disminución de la oferta regional y en un aumento de los precios en esa época (Riesco, 1980).

Importa también conocer la diferencia de precios según la calidad del producto. La carne presenta, a menudo, diferencias de precio entre el ganado flaco y el gordo. En el Cuadro 9 aparece la rentabilidad del engorde de ganado en el Valle del Cauca, Colombia; allí, la fluctuación de sólo un 10% en los precios del ganado hacen que la TIR de los sistemas más intensivos se torne negativa y que el modelo básico pase a ser la segunda mejor opción después de haber sido la tercera.

Precio de la leche

Un estudio del mercado de productos lácteos debe servir de base para las predicciones. América Latina tropical, donde la producción per cápita fluc-

Cuadro 9. Tasa interna de retorno (TIR) de tratamientos selectos de un experimento en que se midió el efecto de la fertilización nitrogenada, del riego y de la rotación, en pasturas de *Digitaria decumbens* pastoreadas por novillos (Valle del Cauca, Colombia, 1977).

Sistema ^a	Carga (UA/ha)	Nivel de N ^b (kg/ha al año)	TIR (%) para relación de precios ganado flaco/ganado gordo de:		
			0.9	1.0	1.1
T	2.0	330	17.7	10.9	5.4
I	5.0	168	27.6	19.2	11.7
II	5.8	332	20.0	11.8	4.5
III	6.7	500	16.4	8.4	-
IV	7.5	672	11.7	4.0	-

a. T = Modelo básico o tradicional.

b. La relación de precios N/ganado gordo es 0.8.

FUENTE: Estrada, R.D. y Paladines, O., 1979.

túa entre 9 y 117 kg/año, es un importador neto de leche. Además, la elasticidad ingreso de la demanda de leche es, en varios países, mayor que la elasticidad ingreso de la demanda de carne; este fenómeno implica que, al aumentar el ingreso de la población, ésta destinará una proporción más grande de ese aumento al consumo de leche que al de carne (Rivas y Nores, 1979).

La brecha entre la producción y la demanda estimada inducirán precios internos atractivos para el productor y una tendencia positiva. Sin embargo, la intervención de los gobiernos favorece frecuentemente a los consumidores.

Dada la incertidumbre para predecir factores de carácter político y la influencia de éstos en el precio real de la leche, el análisis de sensibilidad resulta imprescindible cuando las pruebas de pastoreo se miden en producción de leche.

Inflación

Las tasas de interés que cobran, o que pagan, los bancos sirven con frecuencia de puntos de comparación para determinar si el retorno al capital que ofrece una alternativa tecnológica es aceptable, o para conocer el costo alternativo del capital propio. Los bancos aplican una tasa de interés nominal en la cual se tiene en cuenta el aumento en el índice general de precios, es decir, la tasa de inflación.

Para transformar la TIR a la tasa equivalente de interés nominal, i , cuando la evaluación se haya realizado con valores constantes, es necesario emplear la siguiente relación:

$$i = IR (1.0 + P) + P \quad (9)$$

donde:

P = tasa de inflación.

Por ejemplo, al hacer la inversión en el mejoramiento de praderas con kudzú y fertilizante fosforado, se obtuvo una TIR marginal de 35.6%. Si la tasa de inflación en los seis años de horizonte fuera de 20% anual, entonces la tasa de interés nominal que rinde la innovación sería:

$$i = 0.356 (1.20) + 0.20 \quad (10)$$

$$i = 0.627$$

Téngase en cuenta que el incremento en el índice general de precios resulta de un promedio en el cual unos bienes sufren incrementos de precio mayores que otros. En nuestros países, frecuentemente, los costos de mano de obra quedan rezagados mientras que los costos relacionados con bienes importados tienden a elevarse sobre el promedio (Rivas y Seré, 1984). Cuando haya evidencia de estos cambios de precios relativos, es correcto expresar los costos y los beneficios en los valores nominales esperados para los años de evaluación. La TIR resultante será obviamente nominal pero la TIR real se puede calcular si, antes de hacerlo, se deflacta el flujo de ingresos y egresos con la tasa de inflación.

El horizonte

El número de años que se emplee en la evaluación económica afecta los resultados. Sin embargo, la estructura del flujo de caja en los primeros años trasciende mucho más a los resultados globales. Aparentemente, sólo es necesario considerar seis o siete años para hacer inversiones en mejoramiento de pasturas (CIAT, 1982). Los incrementos marginales en la TIR debidos a un año adicional son poco significativos a partir del sexto año; en este sentido, aun cuando la productividad de la pastura persista durante 15 años, por ejemplo, no es preciso hacer un análisis durante más de seis o siete.

El criterio más importante para definir el horizonte de evaluación económica es la proyección que haría el productor mismo. Generalmente, los productores de los países de América Latina se han fijado metas que apenas alcanzan el mediano plazo. Es importante, pues, hacer un análisis de sensibilidad en relación con el horizonte para saber si la innovación tecnológica arroja índices económicos positivos aun a los tres o cuatro años.

Conclusiones

El análisis económico puede contribuir en forma importante al proceso de selección del germoplasma forrajero destinado al desarrollo de nuevas pasturas en las pruebas de pastoreo. La utilidad de ese análisis será mayor cuanto más exacta sea la estimación de los costos y beneficios atribuibles, asumiendo la incorporación de las pasturas dentro de unidades de producción reales. El análisis requiere, entonces, de un conocimiento integral del entorno socioeconómico.

Dadas las características de la actividad ganadera, la evaluación de pruebas de pastoreo debe considerar, necesariamente, el mediano plazo, lo que implica la proyección del proceso productivo y del marco socioeconómico. La extrapolación del análisis económico a otras condiciones exige una intensa cooperación entre los investigadores tanto del área biológica como de la económica. Frecuentemente, los datos biológicos disponibles son insuficientes para llegar a conclusiones económicas trascendentes y confiables. La especificidad del análisis económico impide la formulación de 'recetas' metodológicas para todos los casos que se evalúen.

Referencias

- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1982. Tropical Pastures Program. Annual report 1981. Cali, Colombia. p. 287-296.
- Dillon, J. y Hardaker, J.B. 1980. Farm management research for small farmer development. FAO, Roma, Italia. p. 94-102.
- Estrada, R.D. y Paladines, O. 1979. Evaluación económica de la producción de carne en el trópico, bajo pastoreo y con aplicación de nitrógeno. Turrialba 29(4): 47-254.
- IVITA (Instituto Veterinario de Investigaciones Tropicales y de Altura). 1976. Informe anual 1975. Lima, Perú.
- Morales, V.; Riesco, A.; García, M. y Santhirasegaram, K. 1976. Efecto de la carga animal sobre la ganancia de peso de toretes Nellore sobre pasturas mejoradas y sin mejorar. En: 5a. Reunión de Especialistas e Investigadores Forrajeros del Perú, Huancayo, Perú.
- Perrin, R.; Winkelmann, D.; Moscardi, E. y Anderson, J. 1976. Formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos; un manual metodológico de evaluación agronómica. Folleto de información no. 27. CIMMYT, México. 54 p.
- Riesco, A.; Díaz, J. y Santhirasegaram, K. 1974. Determinación de la capacidad de carga de *Hyparrhenia rufa* mejorado y sin mejorar. En: 4a. Reunión de Especialistas e Investigadores Forrajeros del Perú. Ayacucho, Perú. (Compendios.)

- Riesco, A.; Echevarría, M. y Santhirasegaram, K. 1976. Efecto del mejoramiento de pasturas y la suplementación mineral en la productividad de hatos reproductivos en el trópico. En: 5a. Reunión de Especialistas e Investigadores Forrajeros del Perú. Huancayo, Perú.
- . 1980. Tenencia de la ganadería bovina en selva baja. En: Asociación Peruana de Producción Animal. Anales de la 3a. Reunión Científica Anual. Lima, Perú. (Mimeografiado.)
- Rivas, L. y Cordeu, J. 1983. Potencial de producción de carne vacuna en América Latina; estudio de casos. CIAT, Cali, Colombia. 93 p.
- . y Nores, G. 1979. La evolución de la ganadería bovina en América Latina, 1960-1977. CIAT, Cali, Colombia. p. 11-15.
- . y Seré, C. 1984. Análisis de precios de insumos y productos ganaderos en 1983; Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales. CIAT, Cali, Colombia. 16 p.
- Santhirasegaram, K.; Morales, V.; Pinedo, L. y Reyes, C. 1975. Second interim report on pasture development in the Pucallpa region. IVITA, Pucallpa, Perú.

La evaluación de pasturas mediante experimentos de pastoreo y su relación con los sistemas de producción

Victor Mares*

Raul R. Vera**

Héctor Hugo Li Pun***

Resumen

El objetivo del presente trabajo es discutir si la investigación enfocada a los sistemas de producción puede aplicarse a la evaluación de pasturas tropicales.

Varias razones justifican la adopción de este enfoque. Una de ellas es la necesidad de considerar los sistemas de producción pecuaria como destinatarios finales de las nuevas pasturas surgidas del proceso de investigación. No es suficiente, por tanto, la adecuada caracterización de la adaptación de nuevas especies a un medio dado, sino que se deben especificar también las características de los sistemas de producción, las restricciones biológicas y socioeconómicas que ellos imponen, y el proceso de análisis. Este último requiere de metodologías de investigación adicionales que trasciendan las habitualmente utilizadas en la experimentación biológica con pasturas.

Se argumenta también que existen diferencias cualitativas y cuantitativas entre la situación puramente experimental y las condiciones de los sistemas reales de producción. Al respecto se citan ejemplos de la literatura y se sugiere la necesidad de evaluar las pasturas, ya integradas a los sistemas de producción reales, como una etapa adicional de la investigación.

Se mencionan también las numerosas y complejas interacciones que ocurren entre los componentes de los sistemas pecuarios; una consecuencia de aquéllas es la dificultad de anticipar el efecto de la introducción de nuevas

* Ing. Agr., M.S., CATIE, Turrialba, Costa Rica.

** Agrónomo, Programa de Pastos Tropicales, CIAT, Cali, Colombia.

*** Agrónomo, CIID, Lima, Perú.

tecnologías en dichos sistemas, hecho que favorece la inclusión, en el proceso de investigación, de una etapa destinada a evaluar las pasturas en el contexto de los sistemas.

Por último, se discute como estudio de un caso la estrategia seguida en los Llanos Orientales de Colombia, haciendo énfasis en las etapas de análisis de los sistemas vigentes, en el flujo de investigación hacia la estación experimental comparado con el que ocurre fuera de ella, en el uso de modelos y, finalmente, en el estudio del proceso de adopción de nuevos cultivares.

Introducción

El esquema de evaluación del germoplasma adaptado a los diferentes ecosistemas tropicales incluye la realización de experimentos en las cuatro fases descritas en varios documentos (Toledo, 1982; Paladines y Lascano, 1983). Dos de estas fases, los ensayos regionales C y D (ERC y ERD), involucran a los animales en su metodología. En los ERC se evalúa la respuesta de la pastura a la presencia del animal que actúa como defoliador, como agente mecánico por medio del pisoteo, y como agente de recirculación de elementos minerales entre la planta y el suelo. En los ERD se evaluará el efecto de la pastura sobre el animal, efecto estimado a través de la productividad que se expresará, por ejemplo como incremento de peso vivo o como producción de leche, por unidad animal y por unidad de área. Los objetivos de estos ensayos son, por un lado, la determinación del comportamiento de una pastura en relación con un determinado sistema de manejo y, por otro, el diseño de un sistema de manejo que satisfaga mejor los requerimientos de las pasturas estudiadas.

El resultado de este proceso es generalmente una correspondencia entre la pastura y un sistema de manejo. Es decir, se produce, para los fines de la extensión rural, una pastura capaz de persistir y de expresar su potencial productivo si el manejo que encuentra en la práctica —o sea, en la situación real de los sistemas de producción— corresponde al utilizado o diseñado en la experimentación. Para asegurar mejor la transferencia de esa tecnología, se produce un paquete que incluye la pastura y su manejo recomendado, es decir, el mismo manejo aplicado o diseñado en la experimentación. Un primer caso supone esperar que el manejo real utilizado por los ganaderos se asemeje al que se emplea en las condiciones experimentales; lo ideal sería que este manejo experimental se basara en el conocimiento del manejo real. No hay evidencia de que así ocurra en la mayoría de los casos y es probable que se manifieste generalmente una tendencia a la optimización del manejo por parte del experimentador. El caso alterno supone la propuesta al productor de adoptar una pastura y un manejo correspondiente cuya operatividad a nivel de la finca no estaría demostrada.

El presente documento llama la atención sobre la necesidad de que el proceso de evaluación de pasturas se haga dentro del contexto de los sistemas de producción, y de que la fase de los ERD esté fuertemente alimentada tanto por el conocimiento de los sistemas reales como por el manejo y los elementos de juicio utilizados por el productor en la toma de decisiones. Consecuentemente, y a diferencia de varios de los trabajos presentados anteriormente, este documento no es una revisión exhaustiva de técnicas experimentales sino más bien una exposición de principios que han sido considerados relevantes en la práctica. Por ello, en su última parte se describen los principios de diverso orden que han guiado la evaluación de pasturas en los Llanos Orientales de Colombia y se detalla el proceso de evaluación como ejemplo de la puesta en práctica de aquellos principios.

Por qué evaluar pasturas en los sistemas de producción?

El enfoque de investigación utilizado hasta ahora por la RIEPT busca desarrollar e introducir pasturas adecuadas a un ecosistema determinado; se considera necesario ir un poco más allá, y buscar el desarrollo y el ensamblaje de pasturas apropiadas a un agrosistema determinado. El primer caso supone una adaptación ecológica; el segundo significa la adaptación a condiciones que abarcan más que las puramente ecológicas. Humphreys (1980) ha señalado que en la búsqueda de mejores pasturas no es suficiente considerar la adaptación ecológica per se, sino que es necesario considerar la adaptación a los sistemas de producción donde se integrarán las pasturas ensambladas. Esto significa que el proceso metodológico de la investigación en pasturas orientada según un enfoque de sistemas, requiere la previa identificación de los agroecosistemas y de los sistemas de producción: ambos serán los receptores de las pasturas ensambladas mediante las fases anteriores.

Las razones que hacen necesaria, en último término, la evaluación de nuevas pasturas —o de cualquier otra nueva tecnología— dentro de las condiciones de los sistemas de producción, se pueden resumir así:

- Los resultados finales del proceso de evaluación de pasturas se van a integrar a sistemas de producción donde las restricciones que determinan el manejo permanecerán más o menos constantes, por lo menos en el corto plazo. Por tanto, además de investigar donde encajarán las pasturas, es necesario validar su comportamiento en el sistema.
- Existen diferencias entre la situación experimental y las condiciones reales en los sistemas de producción.
- La representatividad y la extrapolación de los resultados experimentales parecen ser limitadas.

Sistemas de producción: destino del proceso de ensamblaje de pasturas

En varios documentos relacionados con los experimentos de pastoreo y con la evaluación de pasturas se subraya la necesidad de que la experimentación se haga teniendo en mente un sistema de producción en particular (Morley y Spedding, 1968). También se ha reconocido que en la investigación sobre el ensamblaje de germoplasma forrajero en pasturas, así como en la evaluación de estas pasturas en términos de producto animal, se considere la relación o correspondencia entre las técnicas de manejo empleadas en la evaluación y aquéllas que se aplicarán en el sistema de producción animal en que se adopte la pastura propuesta (Toledo, 1983). Este mismo documento indica, además, que la respuesta a la pregunta ¿qué germoplasma encaja en determinado sistema de producción? requiere de información sobre dos aspectos: el primero es la caracterización agronómica del germoplasma forrajero y su adaptación ecológica; el segundo es el del sistema de producción que acogerá, en la práctica, las nuevas pasturas. La primera clase de información se satisface con la investigación biológica y la experimentación; la segunda puede requerir de procedimientos complementarios que, tal como sugiere Morley (1981a), incluirían encuestas y estudios de casos. Estos procedimientos complementarios aunque han sido utilizados en casos como en el Proyecto ETES (Vera y Seré, 1985) no forman parte hasta ahora de la metodología de la RIEPT. En consecuencia, se corre el riesgo de ignorar la naturaleza del sistema para el cual se estarán ensamblando las pasturas, y su modo de actuar.

La descripción de un sistema objetivo debe incluir los siguientes elementos:

- los recursos;
- las entradas y salidas del sistema;
- los índices técnicos y biológicos;
- el proceso de toma de decisiones y la función objetivo del productor.

Varios de estos aspectos, en particular los recursos y la función objetivo del productor, determinan el manejo real.

Los recursos del sistema, que deben ser definidos, se refieren no sólo a la infraestructura productiva inmediata —como la extensión de la finca, el número de animales, las instalaciones y elementos similares— sino también a aquellos aspectos básicos del ecosistema que determinarán su potencial productivo, tales como el suelo, la precipitación, y otros. Estos aspectos ecológicos se han considerado en la metodología de la RIEPT, no así, o sólo ligeramente, los de la infraestructura productiva.

Otro grupo de recursos, generalmente no considerados, son los recursos externos al sistema, como la disponibilidad y el costo del crédito, los canales

de asistencia técnica que difundan los resultados de la investigación, los mercados y, en general, el entorno socioeconómico. Muchos de estos factores, aunque no sean propiamente tecnológicos, influyen sobre las decisiones de manejo del productor. Por ejemplo, en una situación de inestabilidad de precios y mercados y de alto costo del capital, es probable que los productores estén más interesados en la diversificación de la explotación y en el manejo de sistemas extensivos, que en el incremento de la inversión y en la especialización asociados —uno y otra— a sistemas de manejo más intensivo como serán los requeridos por ciertas pasturas. En este sentido es interesante notar la opinión de McCosker y Emerson (1982) de que la mayoría de las fincas en ciertas regiones de Australia, que no adoptaron el muy recomendado *Stylosanthes humilis*, se encuentran hoy en mejor situación financiera que aquéllas que lo introdujeron en sus sistemas de producción. Los requerimientos de manejo de dicha leguminosa condujeron a un incremento en el uso de infraestructura sin que los retornos económicos fueran suficientes para pagar las inversiones realizadas. Por otra parte, *S. humilis* estaba disponible en Australia desde principios de la década del sesenta, pero sólo hacia el final de dicho período se desarrolló la tecnología que permite sembrarla con aeroplano, reduciendo así el costo de su establecimiento. No obstante, la economía de esa mejora del sistema fue examinada sólo por McLintock en 1970 (Davidson, 1974) y se estimó entonces que sólo ofrecería bajas tasas internas de retorno y un flujo de caja dudoso.

La discusión anterior arroja una conclusión obvia: más que un fracaso tecnológico, lo que ocurrió fue un fracaso de la comunicación entre los investigadores en pasturas y los economistas; éstos evaluaron el proceso demasiado tarde, cuando la nueva especie ya se había difundido. Los problemas planteados por la falta de persistencia de la leguminosa bajo las condiciones de manejo de las fincas, contribuyeron a agravar las dificultades económicas de las fincas mencionadas. La persistencia, como atributo de la pastura, puede tener profundas consecuencias desde el punto de vista económico, como lo demuestran los análisis (Figura 1) realizados para los Llanos Orientales de Colombia (CIAT, 1982).

Situación experimental y condiciones reales: diferencias en los sistemas de producción

Parece existir una diferencia fundamental entre el manejo de las pasturas en condiciones experimentales y ese manejo en la situación real de los sistemas de producción. Esa diferencia se resume en el grado de complejidad de las interacciones y en el grado de flexibilidad de ambos manejos. Mott (1983) señala que el ganadero puede aplicar muchos sistemas de manejo, entre ellos una combinación de pastoreo continuo y pastoreo rotacional que incluye una

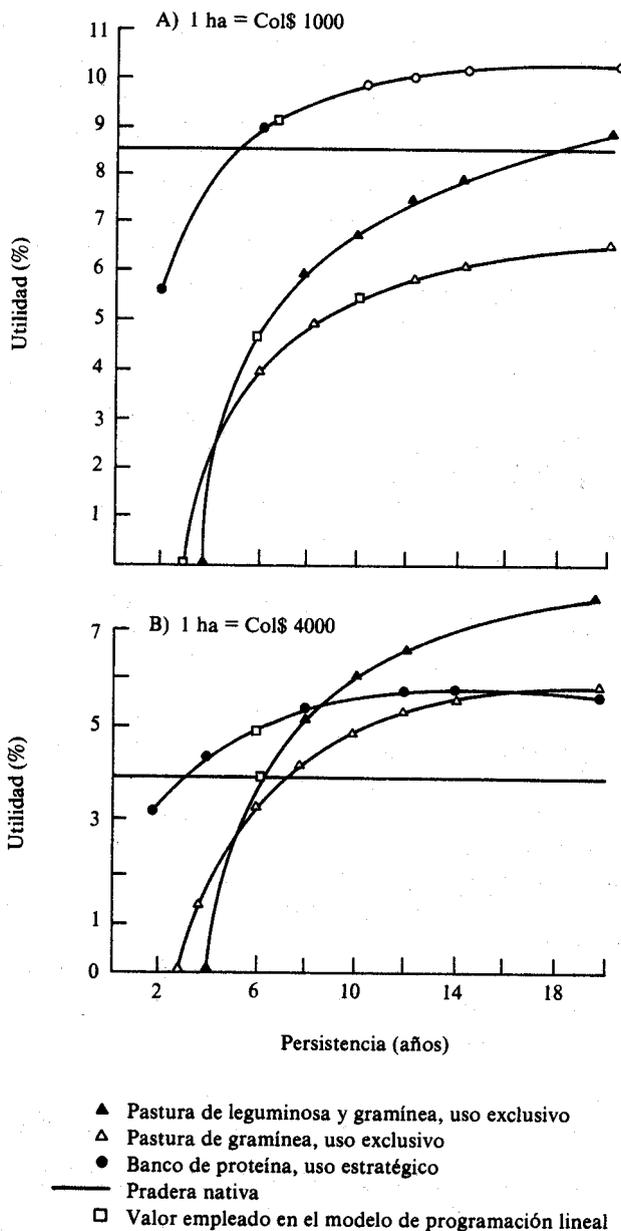


Figura 1. Efecto de la persistencia de la pastura en la rentabilidad de la producción de carne vacuna (actividades de cría, levante y ceba) en dos niveles de precio de la tierra: A) y B). Las estrategias mixtas, como la cría en pastos naturales y la ceba en pasturas mejoradas, se han omitido para simplificar las figuras.

FUENTE: CIAT, 1981.

multitud de variaciones en cuanto a los períodos de pastoreo, a los períodos de descanso y a las cargas animales. Si bien se acepta que estas variaciones ocurren entre fincas diferentes dentro de un sistema de producción, es también posible que ocurran dentro de una misma finca, como respuesta a variaciones entre años, entre épocas, entre potreros y entre diversas situaciones de mercado, de natalidad, de disponibilidad de mano de obra y de otros factores socioeconómicos y biológicos.

En condiciones experimentales, es posible que el manejo diseñado por el investigador no coincida con el manejo real: éste responde probablemente a diferentes elementos de juicio y el productor continuará aplicándolo a las nuevas pasturas. Morley (1981b) señala que el productor, cuyos objetivos son medulares para cualquier decisión que se tome, es el conductor del sistema, y que el manejo de los sistemas de pastoreo es mucho más complejo que la simple aplicación de técnicas tales como el pastoreo rotacional. Gardner (1983) señala que, aunque es deseable la evaluación de pasturas mediante el pastoreo, podría suceder que los resultados esperados no se alcanzaran a menos que el manejo experimental del pastoreo fuese realista.

En la mayor parte de los experimentos de pastoreo se incluyen, como tratamientos, tres factores importantes del manejo: la carga animal (o mejor aún, la presión de pastoreo), el período de ocupación, y el período de descanso. Como alternativa pueden emplearse o bien valores fijos o bien valores cambiantes de estos factores a lo largo del período experimental, manteniendo constantes, en ambos casos, otros aspectos del manejo tales como el nivel de utilización de insumos para el cual se ha seleccionado el germoplasma. El primer caso constituiría un sistema rígido y el segundo un sistema flexible de manejo que, probablemente, es una mejor aproximación al manejo real. Sin embargo, aun el más flexible de los sistemas experimentales de manejo puede ser una limitada aproximación a un sistema real. El manejo real, si bien es un evento determinístico en cuanto obedece a las decisiones tomadas por el productor, surge de una serie de eventos probabilísticos, como el clima, las variaciones entre un año y otro, los cambios en los precios, las condiciones de mercado, la disponibilidad de alimentos o de tierra suplementaria, las ventas y compras realizadas, y otros eventos.

De la discusión anterior se desprende que el manejo real es flexible y además probabilístico, caracteres que dificultan su simulación en los experimentos físicos. Así, en los ensayos de pastoreo hay muchas variables de difícil, o imposible, control que rara vez se cuantifican; si los niveles de carga en un experimento se incrementan, por ejemplo, la disponibilidad y el uso del forraje se hacen progresivamente más críticos cuando aumenta la presión de pastoreo. Dada esta situación, factores tales como el manejo del pastoreo, la conservación del forraje, la alimentación suplementaria, y el calendario de operaciones pueden influir de manera creciente sobre los resultados (Morley y

Spedding, 1968). Obviamente, es posible esperar grandes variaciones entre una pastura y otra en respuesta a estas variables de manejo; también se puede especular que la adaptación de especies del género *Brachiaria* a muy variados manejos sea tal vez una de las razones importantes de su rápida adopción en las sabanas de América tropical aun antes de producirse la necesaria información experimental que apoyara esa decisión.

La mayoría de los experimentos de pastoreo se orientan a determinar el máximo retorno económico y la máxima productividad animal por unidad de superficie. Sin embargo, cabe la posibilidad de que estas metas, asumidas por el experimentador, no sean la función objetivo del productor, sobre todo de aquellos productores de limitados recursos que aplican sistemas diversificados y cuyas metas pudieran estar más relacionadas con la minimización del riesgo y con el retorno respecto a otro factor de la producción, como p. ej. la mano de obra. Por otro lado, algunos atributos de la pastura, como la persistencia, pueden ser más importantes que la maximización del retorno económico y de la productividad, e incluso pueden ser antagonistas de estos objetivos. Más aún, es posible que la percepción que el productor tenga de los atributos de las nuevas pasturas —por ejemplo, de su persistencia— sea decisiva en el proceso de adopción. Este hecho puede ser importante aun en sistemas de producción semiintensivos, en los cuales es posible postular la rotación regular de pastos y cultivos que, obviamente, convertiría la larga duración de una pastura en una característica no esencial. Sin embargo, este no es, aparentemente, el caso del piedemonte en los Llanos Orientales de Colombia (Hansen, en impresión) donde al cultivo del arroz sigue generalmente el establecimiento de las pasturas, sin que haya intención declarada, en muchos productores, de retornar al cultivo agrícola en el mismo potrero.

Una importante manifestación de la flexibilidad de los sistemas reales son las adaptaciones espontáneas que ocurren en respuesta a la disponibilidad de recursos y de tecnología nuevos. Así, cuando las nuevas pasturas se someten a prueba en estos sistemas, es posible que surjan opciones de utilización no anticipadas hasta entonces. Por ejemplo, Cotsell (1956) encontró en regiones de Nueva Gales del Sur, Australia, que el mejoramiento de las pasturas permitía a los productores cambiar de la producción de lana con ovinos castrados, comprados fuera de la región, a la producción de corderos propios y de lana en rebaños de cría. Igualmente, cuando se comenzaron a evaluar asociaciones de gramíneas y leguminosas en los Llanos Orientales de Colombia se decidió, partiendo del conocimiento previo de los sistemas existentes, que el uso prioritario de la asociación debía corresponder al hato de cría y al levante de hembras de remplazo. Dos o tres años después se hizo evidente que dichos pastos permitían la ceba de novillos para el mercado, actividad preferida por los productores porque, según análisis económicos, es la más rentable (CIAT, 1984b). Esta actividad, sin embargo, es estacional por lo cual el sistema puede aún evolucionar hacia un uso alternado de la ceba y de la

utilización 'estratégica' por parte de todo el hato de cría o de algunas categorías del mismo.

Es posible también que la nueva tecnología emplee recursos hasta entonces subutilizados. Ocurre así cuando los nuevos pastos favorecen el ordeño en regiones donde hasta entonces no se practicaba, permitiendo una utilización más completa del capital y de la mano de obra disponibles (Davidson, en impresión). Un ejemplo más: el aprovechamiento de la fertilidad residual, después del cultivo del arroz, para introducir especies forrajeras cuyos requerimientos nutricionales son de tal naturaleza que sin esa fertilización hubiera sido imposible introducirlas (Vera y Seré, 1985). Este enfoque, según parece, permite la retroalimentación de la actividad comercial hacia el proceso de investigación, y sugiere nuevas hipótesis que deberán ser materia de experimentación.

La complejidad de la situación real es tal que será prácticamente irreproducible bajo condiciones experimentales; se sugiere, por tanto, aprovechar esa situación real para la evaluación final del germoplasma. Esa complejidad hace además necesario un mejor conocimiento del manejo real del sistema objetivo, que sirva de base al manejo experimental. Este último aspecto es quizás de vital importancia en la evaluación de las leguminosas forrajeras. Los productores de la faja tropical en América Central y del Sur están familiarizados con el manejo de las gramíneas, en las cuales han centrado el desarrollo de sus sistemas de producción. Sin embargo, en el manejo de las leguminosas en pastoreo les falta aún mucho por aprender (Jones, 1983). En efecto, la adopción y el uso de cultivares de leguminosas forrajeras en el trópico americano no sólo debe afrontar el problema técnico de su adaptación sino también el efectivo desconocimiento, por parte de los eventuales usuarios, de las ventajas y limitaciones de esas especies.¹

Por ejemplo, en el manejo real practicado por los productores en Panamá, se halló una clara inclinación a eliminar de los potreros de *Panicum maximum* las leguminosas nativas, aun valiéndose de herbicidas (CATIE, 1983), resultado que afortunadamente no han conseguido. Esta actitud negativa hacia las leguminosas naturales que se debe, en parte, a razones diferentes de las relacionadas con su valor nutricional, se ha extendido a las leguminosas introducidas, dificultando su aceptación. La experiencia australiana con leguminosas tropicales, que acumula ya más de 20 años, parece coincidir en la apreciación de este problema (Tothill et al., 1984).

1. Ferguson, J.E. Comunicación personal.

Resultados representativos y extrapolables de los experimentos de pastoreo

Una condición necesaria para poder extrapolar los resultados experimentales de los ensayos de pastoreo es que éstos hayan sido obtenidos en condiciones que representen la situación real a la cual se aplicarán. Las diferencias entre los experimentos y el manejo real pueden limitar esa representatividad. Si bien existe alguna evidencia de que factores como el tamaño de los potreros (Elliott, 1966; Southcott, Roe y Turner, 1962) y el número de animales en el hato (Southcott, Roe y Turner, 1962) no afectan significativamente los resultados del desempeño animal ni la incidencia de parásitos internos. Esta situación tiene obviamente un límite y es posible imaginar que la heterogeneidad de los hatos comerciales y de las áreas mayores de pastoreo pueda, además de aumentar la varianza de las observaciones, inducir respuestas en pastos y animales que no aparezcan en los experimentos. La duración del período experimental es otro factor que puede introducir errores; experimentos de pastoreo de menos de dos años no dan, a veces, indicaciones sobre efectos de largo plazo como los cambios ocurridos tanto en la estructura, la estabilidad o la fertilidad del suelo como en la composición botánica, en el estado fitopatológico, y en los requerimientos nutricionales de la pastura (Morley y Spedding, 1968).

Al extender los resultados experimentales a la situación real se tropieza con un hecho: en las fincas, los nuevos pastos se integrarán con otros recursos forrajeros y con técnicas de manejo en una escala mayor, frecuentemente, que la usada a nivel experimental, y estarán sujetos tal vez a algunas restricciones (capital, mano de obra, habilidad gerencial) que no los afectan en la estación experimental. Es posible también que la nueva tecnología, una vez incorporada al sistema de producción, cambie sustancialmente los componentes de éste; por ejemplo, en algunos sistemas de doble propósito la introducción de *Leucaena* sp. elimina o reduce, en ocasiones, la necesidad de conservar el forraje por medios tradicionales (como heno o ensilaje). Tales cambios pueden ser deseables si, por ejemplo, aumentan las ganancias, o indeseables si elevan el nivel de riesgo (Addison y Rickert, 1984). Por su parte, los nuevos pastos pueden requerir insumos diferentes de los tradicionales; se necesitarían, por ejemplo, inoculantes para leguminosas en regiones donde no hay historia o experiencia previa de su uso. En este caso específico, la nueva tecnología genera demandas que obviamente exceden la capacidad del productor individual para satisfacerlas. La introducción de nuevos pastos puede alterar también el uso de otros recursos, como la mano de obra, y crear eventualmente conflictos con otros subsistemas como por ejemplo con las actividades agrícolas de la finca.

La controversia sobre técnicas experimentales como el sistema de quitar y poner (put and take) enseña que la generalización de los resultados de la

experimentación debe contar con las características de las fincas. En los experimentos, el manejo se aplica generalmente a un área cultivada con la pastura en prueba; en la práctica, en cambio, se pueden dar dos situaciones diferentes:

- Toda la unidad productiva, que generalmente es pequeña, está cubierta con un solo tipo de pastura y se maneja como un sistema cerrado con cargas y rotaciones fijas: así actúa el prototipo lechero del CATIE.
- El área de pastura cultivada es una fracción del área total como en la unidad familiar del CIAT, donde interactúan todas las pasturas de la unidad.

En este último caso, aunque el sistema sea cerrado y mantenga su carga constante durante largos períodos de tiempo, la fracción de pasto cultivado puede manejarse con cargas y rotaciones variables. En el primer caso, los resultados experimentales obtenidos mediante el uso de un sistema de quitar y poner no serían aplicables, mientras que en el segundo sí podrían serlo. Interesaría entonces conocer de antemano a qué sistema y tipo de finca se orienta la investigación.

La extrapolación de los resultados de la experimentación agrícola ha sido cuestionada (Davidson y Martin, 1968) porque se hacen recomendaciones basadas en la suposición de que los rendimientos obtenidos por los productores tendrán una estrecha correlación con los resultados experimentales, aun cuando esta correlación no haya sido establecida. La información publicada por Davidson y Martin (1968) indica que, tratándose del producto animal, los rendimientos logrados en las fincas como respuesta a cambios introducidos en el manejo y la tecnología no aumentan tan rápidamente como los rendimientos experimentales. En un caso específico en Nueva Zelanda, el coeficiente de regresión de la producción real sobre la experimental —el cual representa una proporción de un resultado experimental que los finqueros podrían obtener— fue 0.52 para la grasa de la leche, 0.48 para la producción de carne por hectárea, y 0.38 para la natalidad de corderos. De igual modo, las críticas hechas a la corta duración del efecto causado en la producción animal por las pasturas basadas en ciertas leguminosas, en Australia, después de dos décadas de investigación (McCosker y Emerson, 1982), señalan el alto riesgo de formular recomendaciones y proponer la extensión de los resultados experimentales a las fincas comerciales, suponiendo que en éstas se obtendrán resultados semejantes a los de la estación experimental. En contraposición, la alternativa explorada por el programa CIAT/ICA en los Llanos Orientales de Colombia, que consiste en exponer las mejores pasturas posibles a diferentes manejos en fincas cooperadoras y hacer luego el respectivo estudio de casos, ha dado tan buenos resultados que fue decisiva en el reciente lanzamiento de una nueva leguminosa.

La validez científica de los ensayos en que se prueba la tecnología en las fincas ha sido criticada por las frecuentes dificultades que presenta su análisis estadístico, particularmente cuando dichas fincas se escogen y no se toman al azar. Sin embargo, esa prueba se considera sólo como un paso más en el proceso de evaluación.

Evaluación de pasturas en fincas, parte del proceso de investigación

La estrategia probada por el Programa de Pastos Tropicales del CIAT en los Llanos Orientales de Colombia es un proceso de múltiples etapas, que integra esencialmente dos propuestas diferentes (Menz y Knipscheer, 1981):

- a. El método analítico clásico para desarrollar la experimentación bajo un completo control del investigador ("top-down research").
- b. El método reciente que, fundado en los sistemas de producción, se destina a ajustar con mayor precisión la tecnología a las necesidades del productor. Este método, por sí solo, corre el riesgo de perder su valor de extrapolación si se vuelve demasiado específico.

La Figura 2 ilustra la secuencia de los pasos posibles que comprende la evaluación de pasturas. Esta secuencia no es estrictamente sucesiva: hay en ella varios grados de superposición y tiene bastante en común con el esquema sugerido por Byerlee et al. (1982) para cultivos agrícolas. Esos pasos son los siguientes:

1. El estudio y *el diagnóstico dinámico de los sistemas* de producción prevalentes en la región de interés, con el propósito no sólo de comprender cualitativa y cuantitativamente su funcionamiento sino de identificar las posibles interacciones entre los componentes de esos sistemas. Paralelamente se analizan las condiciones del marco socioeconómico, incluyendo los objetivos del productor, porque condicionan frecuentemente la existencia misma de los sistemas de producción. Ambos ejercicios han permitido identificar el posible papel que una tecnología basada en el uso de pasturas asociadas desempeñaría en los sistemas de ganadería extensiva de las sabanas de América tropical (Vera y Seré, 1985). En general, esta etapa del proceso no sólo permite identificar el papel que las nuevas especies forrajeras deben cumplir, sino que provee también objetivos claros y relevantes para todo el proceso de evaluación del nuevo germoplasma.
2. *La evaluación de pasturas* a nivel experimental que se realiza tanto en estaciones experimentales como en fincas de productores colaboradores. La metodología y las etapas de evaluación no requieren explicaciones

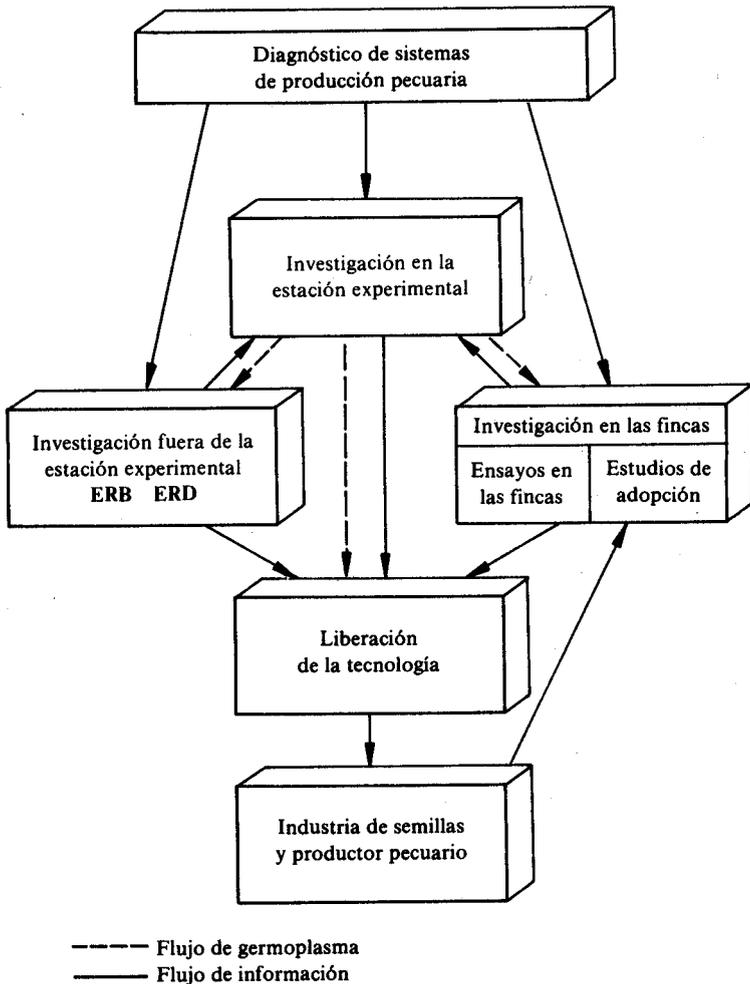


Figura 2. Proceso de evaluación de las pasturas sembradas seguido por CIAT/ICA en los Llanos Orientales de Colombia.

detenidas pues han sido objeto de anteriores reuniones de trabajo de la RIEPT. Sin embargo, es necesario señalar que, en los estudios de fincas, éstas proporcionan un sitio para realizar experimentos, y se puede exponer el material en prueba a nuevas y diversas condiciones ambientales. Estas pruebas no constituyen todavía una inclusión de la nueva pastura en el sistema de la finca. Se reconoce, sin embargo que este tipo de experimento en las fincas, muy viable con cultivos, es de difícil realización cuando se investiga en producción animal por el considerable grado de interferencia con el sistema. En fincas pequeñas es éste un objetivo casi

imposible; en fincas muy grandes de manejo extensivo, como las de los Llanos colombianos, ha sido posible lograr que un productor cooperador ceda parte de su finca para un ensayo de pastoreo.

3. Las nuevas pasturas —cuando hay alguna información experimental sobre ellas— *se introducen en fincas* colaboradoras con el propósito de examinar cómo se incorporan al sistema de producción y qué impacto tienen sobre éste, tanto en términos biológicos como económicos. Esta etapa del proceso permite también examinar la persistencia de las nuevas pasturas en condiciones comerciales, evaluar el desempeño de las mismas tanto bajo regímenes de fertilización como, en general, de manejo subóptimo (desde el punto de vista ecológico), y exponer el material experimental a un rango de condiciones más amplio que el de la estación experimental. En este paso, a diferencia del anterior, hay participación activa tanto de la finca como del productor. Es decir, no sólo se proporciona en ella un sitio experimental, sino que el sistema acoge la pastura en estudio y la prueba dinámicamente, generando información tanto biológica —que será complementaria de la experimental— como económica y aquélla concerniente a la reacción del productor. En este paso es esencial la continua interacción entre los investigadores en pastos y los especialistas en sistemas e investigadores en ciencias sociales, a fin de que se preserven los objetivos identificados en el paso 1.
4. La información generada en las pruebas en fincas está sujeta a *análisis económico*, al cual incorpora ella diversos supuestos sobre persistencia, desempeño, estrategias alternas de uso y otros. El mecanismo adecuado para desarrollar este tipo de análisis son los modelos matemáticos de simulación que representen adecuadamente la estructura y el funcionamiento de los sistemas de interés (Juri, Gutiérrez y Valdés, 1977; Nores y Estrada, 1979; Monteiro Gardner y Chudleigh, 1981; Brockington et al., 1983). Se ha puesto en duda ocasionalmente el papel de la simulación en el estudio y formulación de modelos, porque se arguye que las preguntas hechas para el análisis de sistemas o los cambios sugeridos al sistema bajo estudio son tan sencillos que un economista o un agrónomo con experiencia pueden resolverlos sin la ayuda de modelos simulados (Simmonds, 1984). Esta opinión emerge fundamentalmente de la experiencia derivada de los cultivos anuales. Sin embargo, cuando los cambios perseguidos provocan alteraciones del sistema en años sucesivos, cuando existen numerosas interacciones entre componentes o subsistemas, o cuando los cambios propuestos son de mayor envergadura, se crea inevitablemente una situación mucho más compleja e imposible de resolver mediante la experiencia o la intuición.

Al contrario de lo que ocurre con los cultivos anuales, en los cuales es posible realizar experimentos relativamente pequeños donde se compara

un gran número de combinaciones factoriales de las variables de manejo, los experimentos de pastoreo con más de cuatro o seis tratamientos son, en general, imposibles. Esta situación se torna aún más limitante en las comparaciones de los sistemas de producción; por esta razón se propone el uso de modelos de simulación para reducir, en una etapa inicial, el gran número de variables de manejo, de recursos, de estrategias de uso, y de otros factores que pueden investigarse. En una etapa posterior se establecerán, si es necesario, experimentos de campo con aquellos sistemas identificados como los más prometedores.

Alternativamente, los mismos modelos pueden contribuir al diseño y selección de unidades o módulos de producción, que no impliquen comparaciones de sistemas sino sólo la validación de una o de muy pocas alternativas (CIAT, 1984a). Esta última opción —módulos demostrativos usualmente bajo el control de una estación experimental— no representa aún los sistemas reales pero tiene particular utilidad en los estados iniciales del desarrollo de los *nuevos* sistemas de producción, cuya existencia es aún conceptual (Menz, 1980). De esta forma, uno o varios modelos físicos validan el modelo conceptual, en tanto este último generalice el modelo físico (Brockington, 1982).

5. Satisfechas las etapas anteriores de evaluación y validación, están dadas las condiciones para que los cultivares liberados tengan probabilidad de ser adoptados con éxito. Sin embargo, el *proceso de adopción* merece ser estudiado y documentado, pues suministra información adicional sobre el desempeño de los nuevos materiales forrajeros y sobre la percepción que de ellos tengan los productores. Es posible, como lo ha demostrado un estudio reciente sobre la adopción de *Andropogon gayanus* (CIAT, 1984b), identificar las prácticas de manejo y de otro tipo que no hayan sido anticipadas en el proceso de evaluación previo. Por último, el conjunto de informaciones así obtenidas aporta una estimación del impacto que hace, a nivel regional o nacional, el producto de la investigación.

La metodología de investigación que actualmente utiliza la RIEPT parece ajustarse al paso 2 (evaluación de pasturas) de la secuencia descrita. A la luz de esta exposición, es deseable ampliar la metodología para que incluya y realce los otros pasos (3 a 5) que son ensayados por el CIAT y —con objetivos un tanto diferentes— por otras instituciones (CATIE, 1983) dentro de sus programas de investigación en producción animal enfocados hacia los sistemas de producción.

Conclusión

Aparentemente, ya es real la necesidad de aumentar la efectividad y la relevancia de la investigación orientada a producir mejores pasturas que

eleven la productividad de los sistemas de producción animal en las regiones tropicales. El esfuerzo y los logros de la RIEPT son encomiables. Sin embargo, es plausible la propuesta de que la metodología de evaluación del germoplasma forrajero que se integrará como pastura, sea complementada con evaluaciones finales no estrictamente académicas; éstas se harán en las fincas de productores cooperadores representativos tanto del sistema de producción como de las circunstancias a las cuales se destinarán las pasturas ensambladas. Hay, en efecto, un consenso sobre esta necesidad. Se requiere también la adopción de un proceso investigativo estrechamente relacionado con la metodología de investigación en sistemas de producción.

Stobbs (1977) sostiene que las interacciones entre la pastura tropical y los animales que la pastorean no pueden analizarse e interpretarse adecuadamente —con el fin de establecer principios generales— solamente con los experimentos de pastoreo en que se comparan cargas. El mismo autor sugiere que se aplique el concepto del *manejo integral*, que añade a los pastos y animales el manejo de la situación y la interacción con su circunstancia. En este sentido parece conveniente integrar al finquero al proceso de evaluación de las nuevas pasturas.

Referencias

- Addison, K.B. y Rickert, K.G. 1984. Models of feed systems for growing cattle in sub-coastal Southern Queensland. Proc. Aust. Soc. Anim. Prod. 15:11-23.
- Brockington, N.R. 1982. Diálogo 3. En: Seminario sobre Sistemas en Investigación Agropecuaria. IICA, Zona Sur, Montevideo, Uruguay. p. 165-171.
- ; González, C.A., Veil, J.M.; Vera, R.R.; Teixeira, N.M. y de Assis, A.G. 1983. A bioeconomic modelling project for small-scale milk production systems in South-East Brazil. Agric. Systems 12:37-60.
- Byerlee, D.; Harrington L. y Winkelmann, D.L. 1982. Farming systems research: Issues in research strategy and technology design. Amer. J. Agric. Econ. 64:897-904.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 1983. Investigación aplicada en sistemas de producción de leche. Proyecto CATIE-BID, informe técnico final 1979-1983. Departamento de Producción Animal, Turrialba, Costa Rica.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1981. Programa de Pastos Tropicales; informe anual 1982. Cali, Colombia. 302 p.
- . 1982. Manual para la evaluación agronómica; Red internacional de evaluación de pastos tropicales. Toledo, J.M. (ed.). Cali, Colombia. 162 p.

- . 1983. Germoplasma forrajero bajo pastoreo en pequeñas parcelas; metodologías de evaluación. Paladines, O. y Lascano, C. (eds.). Cali, Colombia. 186 p.
- . 1984a. Programa de Pastos Tropicales; informe anual 1982. Cali, Colombia. 362 p.
- . 1984b. Programa de Pastos Tropicales; informe anual 1983. Cali, Colombia. 388 p.
- Cotsell, J.C. 1956. Sheep investigations at Shannon nutrition station with special reference to strategic stocking. Proc. Aust. Soc. Anim. Prod. 1:24-32.
- Davidson, B.R. Economic aspects of small scale ranching on improved pastures in the Colombian Llanos. CIAT, Cali, Colombia. (En impresión.)
- . 1974. Economics of agricultural development in Northern Australia. Proc. Aust. Soc. Anim. Prod. 10:332-339.
- . y Martin, B.R. 1968. Experimental research and farm production. Agric. Econ. Res. Rep. no. 7. University of Western Australia Press, Perth. 68 p.
- Elliott, N.M. 1966. The effect of paddock size on animal production. Proc. Aust. Soc. Anim. Prod. 6:177-178.
- Gardner, A.L. 1983. Evaluación por corte y por pastoreo en parcelas pequeñas: comparación de resultados. En: Paladines, O. y Lascano, C. (eds.). Germoplasma forrajero bajo pastoreo en pequeñas parcelas; metodologías de evaluación. CIAT, Cali, Colombia. p. 107-120.
- Hansen, E. Land management and phosphorus fertilizer use among upland rice farmers in Meta, Colombia; executive summary of research. Technical working paper. IFDC. (En impresión.)
- Humphreys, L.R. 1980. Deficiencies of adaptation of pasture legumes. Trop. Grassld. 14(3):153-158.
- Jones, R.J. 1983. Efecto del clima, el suelo y el manejo del pastoreo en la producción y persistencia del germoplasma forrajero tropical. En: Paladines, O. y Lascano, C. (eds.). Germoplasma forrajero bajo pastoreo en pequeñas parcelas; metodologías de evaluación. CIAT, Cali, Colombia. p. 131-148.
- Juri, P.; Gutiérrez, N.F. y Valdés, A. 1977. Modelo de simulación por computador para fincas ganaderas. CIAT, Cali, Colombia. (Mimeografiado.)
- McCosker, T.H. y Emerson, C.A. 1982. The failure of legume pastures to improve animal production in the monsoonal dry tropics of Australia: A management view. Proc. Aust. Soc. Anim. Prod. 14:337-340.
- Menz, K.M. 1980. Unit farms and farming systems research: The IITA experience. Agric. Systems 6:45.
- . y Knipscheer, H.C. 1981. The location specificity problem in farming systems research. Agric. Systems 7:95-103.

- Monteiro, L.A. Gardner, A.L. y Chudleigh, P.D. 1981. Beef production in the Cerrado region of Brazil. *Wld. Anim. Rev.* p. 37-44.
- Morley, F.H.W. 1981a. Options in pasture research. *Trop. Grassld.* 15(2):71-84.
- . 1981b. Management of grazing systems. En: Morley, F.H.W. (ed.). *Grazing Animals*. Elsevier Sci. Pub., Amsterdam. 411 p.
- y Spedding, C.R.W. 1968. Agricultural systems and grazing experiments. *Herb. Abstr.* 38(4):279-287.
- Mott, G.O. 1983. Evaluación de 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. 149-164.
- Nores, G.A. y Estrada, R.D. 1979. Evaluación económica de sistemas de producción de carne de res en los Llanos Orientales de Colombia. En: Tergas, L.E. y Sánchez, P.A. (eds.). *Producción de pastos en los suelos acidos de los trópicos*. CIAT, Cali, Colombia. p. 347-362.
- Simmonds, N.W. 1984. The state of the art of farming systems research; a report to the World Bank.
- Southcott, W.H., Roe, R. y Turner, H.N. 1962. Grazing management of native pastures in the New England region of New South Wales. II. The effect of size of flock on pasture and sheep production with special reference to internal parasites and grazing behaviour. *Aust. J. Agric. Res.* 13:880-893.
- Stobbs, T.H. 1977. Short term effects of herbage allowance on milk composition and grazing time of cows grazing nitrogen fertilized tropical grass pasture. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 17:892-898.
- Toledo, J.M. 1983. Ensamblaje de germoplasma en pasturas: problemática de experimentación. En: Paladines, O. y Lascano, C. (eds.). *Germoplasma forrajero bajo pastoreo en pequeñas parcelas; metodologías de evaluación*. CIAT, Cali, Colombia. p. 1-10.
- Tothill, J.C. et al. 1984. Australian savannas. *Int. Savanna Symp.* Brisbane, Australia. (Resumen.)
- Vera R.R. y Seré R., C. 1985. Los sistemas de producción pecuaria extensiva del trópico sudamericano: Brasil, Colombia y Venezuela; análisis comparativo. En: Vera R.R. y Seré R., C. (eds.). *Sistemas de producción pecuaria extensiva; Brasil, Colombia, Venezuela*. CIAT, Cali, Colombia. p. 431-450.

Recomendaciones generales para evaluar pasturas con animales

Carlos Lascano*
Esteban Pizarro*
José M. Toledo*

Introducción

Este escrito resume el consenso logrado en la reunión de trabajo del Comité Asesor de la Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (RIEPT) en lo que respecta a las recomendaciones generales para evaluar el potencial de producción animal y la persistencia de las pasturas.

La discusión que sigue plantea, en primer lugar, los objetivos de los ensayos de pastoreo y basados en éstos, las opciones del tipo de prueba que se pueden considerar para los ensayos regionales D (ERD). Se discuten además aspectos relacionados con el diseño, el área experimental, y la fase de establecimiento del experimento. Por último, se definen las mediciones que se harán en el animal y en la pastura y se añaden algunas consideraciones sobre el análisis estadístico y económico de los datos obtenidos en las pruebas de pastoreo.

Objetivos de las pruebas de pastoreo

El comité reconoció que, como en cualquier proceso de investigación, la definición clara de los objetivos de los ensayos de pastoreo era esencial para identificar el tipo de prueba y el diseño apropiado con que se implementarán los ERD.

Se estableció que los ERD debían evaluar y comparar nuevas pasturas en términos de su producción animal y de la persistencia de las especies sembradas. Esta orientación general comprende dos objetivos específicos:

* Respectivamente: Zootecnista, Agrónomo, y Agrónomo de Pasturas y Líder del Programa de Pastos Tropicales, CIAT, Cali, Colombia.

1. Caracterización del potencial de *productividad animal* y de la persistencia de la pastura.
2. Evaluación de los factores de *manejo del pastoreo* y de su relación con la productividad animal y con la persistencia de la pastura.

Según el primer objetivo, las pruebas de pastoreo están dirigidas a evaluar el potencial de producción de la pastura a lo largo del tiempo, bajo un sistema de manejo optimizado tanto respecto a la intensidad del pastoreo como a su frecuencia. Respecto al segundo objetivo, las pruebas donde se definan uno o varios factores de manejo del pastoreo están dirigidas a evaluar la productividad animal y la persistencia de las pasturas bajo diferentes manejos, todos ellos relevantes para el sistema de producción al cual se destine la pastura.

Pruebas de pastoreo según objetivos y ambiente

Para definir los tipos de prueba de pastoreo aptos para los ERD, el punto de partida fue la aceptación de que dentro de la RIEPT no era lógico pensar en una metodología uniforme, pues se reconoce que las especies incluidas en esas pruebas pueden ser diferentes dependiendo de dos factores: el ecosistema y la intensidad de utilización de los recursos tierra y ganado en el sistema de producción que se investiga. Además de esas diferencias entre las especies que componen las pasturas mejoradas para cada localidad, se espera que varíen también las opciones de manejo y las alternativas de utilización de las pasturas en cada región o localidad.

Se acordó en principio que el tipo de prueba de pastoreo con que se implementarán los ERD debía derivarse de los objetivos del programa de investigación como una respuesta a las realidades técnico-biológicas y económicas del ámbito de adopción de la nueva tecnología. Se reconoció, sin embargo, que en el proceso de evaluación de las pasturas mejoradas las pruebas podrían emplear diferentes técnicas y metodologías para destacar la obtención de determinada información técnica o biológica.

Las siguientes son las dos consideraciones más importantes que deben hacerse para implementar los ERD.

Conocimiento de las especies: su adaptación y manejo

Cuando hay información previa, como la proveniente de un ensayo de pastoreo en pequeñas parcelas (ERC) donde las pasturas se someten a un

rango de manejos del pastoreo, es posible restringir los tratamientos de manejo que se probarán en los ERD. Por ejemplo, una asociación de gramíneas y leguminosa puede exhibir una buena productividad y un adecuado balance de especies bajo un pastoreo muy frecuente, aunque la disponibilidad de un componente de la asociación resulte afectada por la intensidad con que aquél se pastoreó. Alternativamente, puede haber otra asociación de notoria productividad y buen balance de especies bajo una intensidad de pastoreo muy alta que tienda, no obstante, a un desbalance en su composición botánica cuando la frecuencia de los períodos de pastoreo se intensifique. En la primera asociación, los tratamientos de manejo del pastoreo en las pruebas D podrían restringirse al pastoreo continuo con varias cargas como variables; en la segunda, los tratamientos se restringirían a pastoreo rotacional y se emplearía un rango de cargas como variables.

Cuando no exista información previa sobre la adaptación y los requerimientos de manejo de las asociaciones que se evaluarán en la prueba D, los tratamientos que se consideren deberán cubrir rangos amplios de intensidad y de frecuencia del pastoreo.

Número de pasturas y recursos disponibles

Si el número de pasturas provenientes de la selección de especies hecha en los ensayos regionales B o C es alto y si los recursos son limitados, el tipo de prueba con que se implementará el ERD estará restringido en cuanto a los tratamientos que se apliquen, al área de los potreros, al número de repeticiones, al número de animales, y a otras variables. En cambio, dada la misma situación de recursos pero con pocas pasturas para evaluar se podrían ampliar el número de tratamientos, el área de los potreros, y el número de animales.

Con los anteriores puntos en mente, se propuso y discutió el siguiente tema, fundamental para los ERD.

Tipos de prueba de pastoreo

A. Pastoreo flexible con presión y sistema variables

En este tipo de prueba tanto la carga —o la presión de pastoreo— como el sistema de pastoreo se pueden ajustar en función de la disponibilidad de forraje y del balance de las especies en la asociación de gramíneas y leguminosas. Los cambios de carga se producen cuando el forraje disponible se sale (hacia arriba o hacia abajo) de un rango previamente establecido. Por otro lado, el cambio de sistema de pastoreo ocurre cuando la proporción de especies (porcentaje de leguminosa) en la

pastura sale también fuera del rango, en porcentaje previamente establecido. Cuando haya que favorecer la gramínea por exceso de la leguminosa, el pastoreo deberá tener períodos de descanso más largos que propicien el rebrote de la gramínea. En cambio, cuando haya que favorecer la leguminosa por exceso de la gramínea, el pastoreo deberá aproximarse a un sistema continuo donde la gramínea, que normalmente recibe mayor preferencia, es pastoreada con más frecuencia (ver el trabajo de Spain y Pereira en esta misma publicación).

Este tipo de prueba de pastoreo requiere de menor área sembrada para las pasturas que se evaluarán, ya que no se imponen tratamientos de manejo en forma separada. Los cambios de manejo se hacen en el tiempo, y sobre una sola parcela por repetición.

Para evaluar una pastura experimental se requieren dos potreros, es decir, habrá una pastura por repetición. Es fácil visualizar las grandes ventajas de este tipo de prueba en situaciones donde haya:

- muchas pasturas por evaluar;
- limitaciones de semillas;
- limitaciones de área.

Algunas desventajas aparentes de este tipo de prueba son:

- La subjetividad en la definición de los rangos de disponibilidad y de composición botánica.
- La falta de exposición de las pasturas a mal manejo, experiencia importante para conocer el rango de manejo tolerado por la pastura; sin embargo, a partir de los ensayos C es factible definir con cierta precisión los rangos, y conocer obviamente los efectos del mal manejo sobre la pastura.

La información obtenida con este tipo de prueba expresa el potencial de producción y de persistencia de la pastura bajo un manejo apropiado y constituye, por sí misma, una recomendación de buen manejo que puede ser trasferida a los productores.

B. Pastoreo flexible con diferentes intensidades

En este caso se establecen intensidades de pastoreo mediante cargas o presiones de pastoreo contrastantes, y en cada intensidad se emplea un sistema de pastoreo flexible que depende de la dinámica de la composición botánica de la pastura. El diseño incluye, como mínimo, tres cargas o presiones de pastoreo definidas que pueden ser fijas o variables según la época del año y tener, por lo menos, dos repeticiones por carga.

Con este tipo de prueba se puede obtener información sobre el potencial de producción animal y sobre la persistencia de la pastura bajo diferentes intensidades de utilización; a la vez, se obtiene información sobre el sistema de manejo más apropiado para las diferentes intensidades de pastoreo que se apliquen.

A manera de ejemplo, se ilustran a continuación dos situaciones hipotéticas relacionadas con este tipo de prueba:

Situación 1. Asociación gramínea + leguminosa, siendo ésta *poco palatable y muy agresiva*. En la carga baja, probablemente, se debe manejar el pastoreo en forma continua durante el año; en las cargas alta y media, sin embargo, habría necesidad de alternar o rotar los potreros periódicamente durante el año para mantener el balance de las especies.

Situación 2. Asociación gramínea + leguminosa, siendo ésta *muy palatable y competitiva* con la gramínea. Es posible que en la carga alta haya necesidad de rotar el pastoreo para favorecer la leguminosa, mientras que en las cargas baja y media se pueda manejar la pastura con pastoreo continuo.

C. Pastoreo con manejo rígido

En este tipo de prueba se utilizan cargas o sistemas de pastoreo fijos. La pastura se evalúa bajo pastoreo continuo o rotacional con diferentes intensidades, y existe la opción de incluir un pastoreo contrastable en una de las cargas. Específicamente, esas opciones son:

- a. Tres cargas fijas o variables por época del año, bajo pastoreo continuo, pudiéndose aplicar el pastoreo rotacional en la carga alta. El argumento que apoya esta opción es que la rotación favorece la producción por animal únicamente cuando se utilicen cargas altas.
- b. Tres cargas fijas o variables por época del año, bajo pastoreo rotacional, pudiéndose incluir la carga más baja en el pastoreo continuo. Se argumenta en pro de esta opción que el pastoreo continuo favorece la producción por animal en las cargas bajas.

El empleo de pastoreo continuo o rotacional en este tipo de prueba estará, en gran medida, determinado por los dos factores siguientes:

1. **Efectos del manejo del pastoreo.** Un conocimiento previo del efecto ejercido por el pastoreo en la pastura se obtiene en los ensayos de pastoreo en pequeñas parcelas (ERC). Por ejemplo, en ambientes donde el estrés por sequía no es importante, las

leguminosas muy agresivas y de baja palatabilidad (como *Pueraria phaseoloides* y *Desmodium ovalifolium*) pueden dominar la gramínea en situaciones en que el pastoreo es muy frecuente o continuo; de otro lado, en el mismo ambiente algunas leguminosas pueden ser muy sensibles a la carga, independientemente de la frecuencia del pastoreo. En el primer caso la opción lógica es el empleo del pastoreo rotacional, mientras que en el segundo se prefiere utilizar el pastoreo continuo.

2. **Sistema de producción imperante.** Con el tipo de prueba aquí considerado, el objetivo es todavía evaluar el potencial de producción y la persistencia de la pastura, prescindiendo del sistema de producción imperante. Sin embargo, en ciertas ocasiones se justifica que este tipo de prueba considere el sistema de producción, sobre todo cuando éste es bien definido. Si en una zona la producción ganadera es intensiva y la rotación es parte integral del sistema, no se justifica la evaluación bajo pastoreo continuo. Alternativamente, en sistemas extensivos o semiintensivos sólo se justificaría el empleo del pastoreo rotacional cuando se pretenda utilizar las pasturas mejoradas en forma estratégica y más intensivamente que las pasturas nativas.

La información que se genera con este tipo de prueba permite determinar la producción animal y la persistencia de una pastura bajo diferentes intensidades de uso, así como hacer algunas inferencias sobre los efectos del sistema de pastoreo bajo una carga igual.

D. Pastoreo con combinación de factores de manejo rígido

Este tipo de prueba es más complejo: implica diseños que incluyen cargas y sistemas de pastoreo en un arreglo factorial. Un diseño típico de la prueba podría incluir tres cargas, dos o tres sistemas de pastoreo (continuo, alterno o rotacional), y dos repeticiones.

Estas pruebas son de gran utilidad donde haya pasturas mejoradas de reconocido potencial de producción y se quiera ajustar su manejo a un rango de sistemas de producción aplicando varias intensidades de utilización de la pastura.

La mayor limitación de estos experimentos es su elevado costo de establecimiento, pues se requieren un área extensa, muchos animales, una infraestructura considerable de cercas y aguas, y lo que es más importante, grandes cantidades de semilla no siempre disponibles.

Diseños para experimentos de pastoreo

Se acordó que debido a la magnitud y a los costos de los ensayos de pastoreo era necesario limitar el número de tratamientos que se podían estudiar. En consecuencia, se recomendó utilizar diseños sencillos como el de bloques completos al azar, con arreglo factorial completo o sin él, dependiendo del experimento.

Testigo

En los cuatro tipos posibles de prueba de pastoreo, se consideró deseable incluir un testigo, definido éste como la mejor pastura local. Sin embargo, se indicó que en cuanto hubiera información experimental cuantitativa sobre la productividad animal y la persistencia de las pasturas locales se podría prescindir del testigo en los ERD, con el fin de reducir el tamaño del experimento.

Repeticiones

Hubo consenso general en el comité asesor sobre la necesidad de utilizar diseños que incluyeran, como mínimo, dos repeticiones de campo, para poder obtener un estimado válido del error experimental. Sin embargo, se aceptó que los experimentos no repetidos se adaptarían a situaciones en que hubiera un número relativamente alto de pasturas y de tratamientos de manejo del pastoreo junto a escasos recursos físicos y económicos. El análisis estadístico de este tipo de ensayo es factible si se utiliza la variación entre animales, dentro de la pastura, como término de error; aun así, debe tenerse en cuenta que estos resultados no son generalizables.

Area y animales

Se recomendaron los potreros experimentales con un área suficiente para mantener, como mínimo, cuatro animales por tratamiento; así se puede compensar, en parte, la alta variabilidad animal asociada generalmente con los experimentos de pastoreo. Obviamente, esa área será diferente según la productividad (capacidad media de carga) de la pastura, la duración del período de sequía, la fertilidad del suelo, el potencial de productividad, y el hábito de crecimiento de las especies sembradas. En ecosistemas donde es poco el estrés por sequía, como en el bosque tropical, el área requerida por potrero podría ser menor que aquélla necesaria en las sabanas donde hay períodos definidos y prolongados de sequía.

La variabilidad entre animales aumenta cuando éstos están sometidos a deficiencias de alimentación causadas p.ej. por cargas altas o períodos secos;

se recomendó, por consiguiente, que en los ensayos de pastoreo donde hay cargas como tratamientos, se hiciera variar el número de animales y se mantuviera constante el tamaño de los potreros. Esta recomendación es útil principalmente en experimentos donde los animales, en algunos tratamientos, soportan niveles críticos de deficiencia nutricional.

Manejo del experimento: pastura, animal y medición

Esta sección incluye las recomendaciones relacionadas con la fase de establecimiento de las pasturas experimentales, así como también algunos aspectos referentes al tipo de animal que se empleará, y a las mediciones que deben hacerse en el animal y en la pastura.

Establecimiento: fase crítica

Se recomendó enfáticamente que era fundamental asegurar un buen establecimiento inicial de la pastura en los ERD; si fuere necesario se establecerán prácticas de resiembra, de control de malezas, de control de hormigas, y otras. Se indicó asimismo que la investigación sobre técnicas de establecimiento de pasturas debe ser una actividad paralela a los ensayos de pastoreo, aunque separada de ellos. Esta investigación debe considerar la optimización de los recursos naturales, de los fertilizantes, y de las características de las plantas que se sembrarán; así se hará esta fase de establecimiento menos riesgosa, más económica, y más compatible con la topografía, la maquinaria disponible, el tipo de semillas, los recursos del productor, y otros factores.

Tipo de animal experimental

Se acordó que en los ERD se utilizaran novillos o novillas en crecimiento como animales experimentales y se evitara el uso de vacas de cría, de leche, o de doble propósito. La razón principal de esta recomendación es el complicado manejo de estos últimos animales, particularmente respecto a su alta variabilidad; en consecuencia, se necesitaría un gran número de animales por tratamiento. Los trabajos de Paladines y Vaccaro discuten en detalle la dificultad de utilizar vacas de cría y vacas de doble propósito en las pruebas de pastoreo.

Lo ideal es que los animales que se empleen en las pruebas de pastoreo tengan la misma procedencia o hayan recibido un tratamiento previo común, que sean de raza similar, y que ésta sea representativa de la localidad donde se realice la prueba. Además, su sexo, su edad o su peso (o ambos factores) deben ser los mismos para todos. Si hubiera animales cuya procedencia o

peso —o una y otro— fueran diferentes, sería necesario formar grupos según el peso o las características similares; de cada grupo se tomarían luego los animales y se distribuirían en los tratamientos. Se recomendó, para formar los grupos según el peso, que se procurara igualar el contenido del tracto digestivo de los animales manteniéndolos en una misma pastura durante un período no inferior a siete días.

Mediciones en el animal

La operación de pesaje para determinar la ganancia de peso de un animal se puede realizar con ayuno previo o sin él; en cada caso se procurará hacer el pesaje a la misma hora y siguiendo siempre la misma secuencia de los tratamientos. Se sugirió también que los pesajes se realizaran una vez cada 56 días, como mínimo, pues esta frecuencia permitiría llevar un buen control del estado general de los animales.

En ensayos de pastoreo donde se esté empleando un sistema de rotación de potreros, conviene programar el pesaje de tal modo que los animales se pesen a la salida de los diferentes potreros de la rotación, evitando así que los pesos se tomen siempre en el mismo potrero; el pesaje podría hacerse entonces al final de una rotación completa, más un potrero o menos un potrero. Por ejemplo, en una rotación de 7 días de ocupación y 21 días de descanso, el pesaje puede hacerse cada 21 ó 35 días en vez de hacerlo cada 28 días.

Es conveniente tener en las pruebas de pastoreo animales sensibles a los cambios en cantidad y calidad del forraje en oferta; por tanto, se recomendó que esos animales se cambiaran anualmente, ojalá al final de la época de lluvias, para minimizar los efectos de ganancia compensatoria y, además, para reducir las cargas al inicio de la estación seca.

Para registrar los datos del pesaje de los animales, se recomienda utilizar un formulario que contenga la siguiente información:

Formulario modelo para registro de la ganancia de peso en los ensayos regionales

Institucion _____ Fecha _____

Experimento _____ Investigador _____

Tratamiento _____ Carga (animales/ha) _____

Fecha inicio experimento _____ Tiempo total (días) _____

Período de pastoreo (días) _____ Época del año _____

Número de animal	Peso inicial (kg/an.)	Peso último pesaje (kg/an.)	Peso actual (kg/an.)	Ganancia de peso ult. per. ^a (kg/an.)	Ganancia de peso acumulado (kg/an.)	Ganancia de peso diario ult.per. ^a (g/an. por día)	Ganancia de peso diario acumulado (g/an.por día)	Observaciones

a. ult. per. = en el último período de pastoreo.

Paralelamente, se deberán registrar las medias semanales de dos parámetros climáticos, por lo menos: la precipitación, en mm, y la temperatura media, en °C. Asimismo, deberá llenarse un registro de vacunaciones, vermifugaciones, y otras prácticas sanitarias.

La información registrada en el formulario modelo permite calcular los cambios de peso por hectárea, tanto en forma anual como estacional, es decir, considerando por separado los períodos (seco o lluvioso) de diferente productividad del ecosistema.

Mediciones en la pastura

Se adoptó el siguiente criterio básico: las mediciones realizadas en la pastura, en los ERD, debían ser ante todo de utilidad para la interpretación de los resultados de ganancia de peso y de persistencia de la pastura.

El método o la estrategia de muestreo deben ser simples, pero sin sacrificar la precisión; para lograrlo, se deben considerar: el tamaño del marco para muestras, el número de marcos y la distribución de esos marcos (ver el trabajo de Mendoza y Lascano).

Se recomendaron, como mínimo, dos mediciones:

- El *forraje disponible*, separando las especies sembradas en materia verde en base seca y materia seca inerte.
- La *composición botánica*, incluyendo las malezas.

Estas mediciones deben realizarse dos veces al año, por lo menos, ya sea en las épocas de lluvias o de sequía o ya en los períodos de máxima y mínima precipitación.

La técnica de medición se escogerá según las características de la pastura (en monocultivo o asociada, erecta o postrada, uniforme o desuniforme, heterogénea u homogénea en su composición botánica, sembrada en líneas o a voleo) y según la magnitud del área que se evaluará. Por ambas razones no se consideró apropiado recomendar una técnica uniforme para hacer mediciones en las pasturas integradas a los ERD.

Como una guía para seleccionar la técnica de medición se presentan los cuatro casos siguientes:

- a. **Pastura heterogénea de gran tamaño.** Su extensión es igual o mayor de 5 ha y alberga muchas especies de plantas, como las sabanas nativas. En este caso deberían considerarse técnicas de medición que faciliten no sólo gran número de observaciones sino también pocos cortes; tales son el doble muestreo por rango visual, y el rango de peso seco para disponibilidad y

composición botánica, respectivamente. Existen programas de computador como el BOTANAL que permiten la utilización y el manipuleo fácil de los datos obtenidos con esta técnica de muestreo (Hargreaves y Kerr, 1978).

- b. **Pastura asociada de 5 ha o menor.** En la asociación de gramínea + leguminosa se ha desarrollado, mediante el pastoreo, una diferencia en la arquitectura de la vegetación a modo de estrato. Esta situación requiere un método como el muestreo estratificado, en el que se calcula primero la proporción del área total del potrero ocupada por cada estrato cuya arquitectura de la vegetación (altura, densidad) sea diferente, haciendo una estimación de la variabilidad de la vegetación dentro del estrato; luego se toma, en cada estrato, un número de muestras que debe ser mayor cuanto más variable sea aquél. Por este método se reduce a la mitad, aproximadamente, el número total de muestras que se deben tomar en un área sin alterar su precisión (Amézquita et al., 1983). Finalmente, los datos de disponibilidad de materia seca de los componentes de la pastura se promedian por estrato y se obtiene, por área, una media total ponderada.
- c. **Pastura asociada de tamaño pequeño.** En la asociación de gramínea + leguminosa la vegetación es uniforme y la pastura no es mayor de 1 ha. En este caso el método más fácil de aplicar y quizás el más confiable sería el muestreo aleatorio con un número de muestras suficiente como para censar la variabilidad de la pastura. Las muestras se cortan y separan en sus componentes (materia verde y materia muerta, tanto de gramíneas como de leguminosas).
- d. **Pasturas de gramíneas en monocultivo.** El mejor método para evaluar el forraje disponible de una pastura, cuando no se necesita información sobre la composición botánica de ésta, es probablemente el doble muestreo por rango visual (Haydock y Shaw, 1975). Con este método, la cantidad de materia seca presente en los marcos de muestreo se estima visualmente teniendo como referencia un conjunto de 'puntos patrones'. Se puede trabajar satisfactoriamente con cinco puntos patrones que representen una escala de 1 a 5 asignando al menor forraje disponible el grado 1 y al mayor el grado 5 de la escala. Los pesos del forraje en base seca en los cinco marcos de la escala se ajustan a un modelo de regresión lineal para cada evaluador. Con la ecuación de regresión y con las observaciones visuales (100 ó 200) se estima el rendimiento de forraje del área experimental.

Otras mediciones que se harían en la pastura, como las relacionadas con los factores de calidad, se consideraron opcionales. Dado el caso, se recomendó hacerlas en época de lluvia y sequía y limitarlas a la proteína cruda y a la digestibilidad *in vitro* por especie y por parte de la planta, en el forraje en oferta.

Aunque las mediciones relacionadas con la persistencia de las especies sembradas se consideraron importantes, el comité asesor reconoció que su ejecución era muy compleja y no se ajustaba a los ERD. Se recomendó, sin embargo, que los investigadores responsables de los ensayos hicieran anotaciones de campo sobre la persistencia tanto en la época de lluvias como en la época seca para documentar en el tiempo, aunque de manera subjetiva, los siguientes aspectos:

- Especies de plantas en proceso de senescencia, o muertas, y su frecuencia de desaparición.
- Especies en regeneración y en supervivencia, y crecimiento de las plántulas.
- Inflorescencias presentes y formación de semillas de las especies en la pastura.
- Semillas y plántulas en las heces fecales.
- Enraizamiento de estolones en términos de la densidad y el tamaño de las raíces.
- Consumo preferencial de las especies por los animales.
- Presencia de depredadores.

Por otro lado, se recomendó específicamente que en los centros mayores de evaluación de germoplasma situados dentro de la RIEPT se realizaran mediciones detalladas de la persistencia; estos experimentos incluirán un rango de manejos pero sólo especies promisorias que hayan manifestado falta de persistencia bajo pastoreo.

Mediciones en el suelo

Como complemento de las medidas obtenidas en la vegetación, se recomendó hacer las siguientes mediciones en el suelo:

- Caracterización física y química del perfil al principio, a la mitad, y al final del ensayo.
- Caracterización química de los primeros 20 cm del perfil una vez al año, de preferencia al final de la época de lluvias.

Análisis de los resultados

El comité asesor dio recomendaciones para el análisis tanto estadístico como económico de los ERD.

Análisis estadístico

Las principales variables de respuesta que se analizan en los ensayos de pastoreo son: la ganancia de peso por animal; la ganancia de peso por unidad de superficie; el forraje disponible; y la composición botánica de la pastura. Por consiguiente, se sugirió que el análisis de estas variables de los ensayos debería incluir:

- estadísticas descriptivas;
- curvas de disponibilidad y de dinámica de la composición botánica;
- análisis de varianza para estimar los efectos de los tratamientos y de los años en la ganancia de peso por animal y por unidad de superficie.

Se aclaró que el análisis estadístico aplicado a los ERD debía ser útil no solamente para interpretar los resultados sino también para los siguientes fines:

- Proveer información para el análisis económico.
- Facilitar las decisiones para avanzar a la evaluación de pasturas mejoradas en las fincas.
- Indicar las posibles limitaciones de los ensayos regionales D.

Por último, se recomendó que el análisis estadístico de los datos recogidos en los ensayos de pastoreo en la RIEPT fuera un proceso descentralizado, dado que los costos de microcomputadores decrecen rápidamente. Sin embargo, los servicios de procesamiento de datos y de biometría del CIAT están a disposición de los participantes de la RIEPT como un apoyo en los análisis estadísticos que elabore cada uno.

Análisis económico

El análisis económico de los ERD debe apuntar a los siguientes objetivos:

- Suministrar información para la integración de las pasturas mejoradas en los sistemas de producción.
- Proveer información que oriente la selección del nuevo germoplasma forrajero.

El comité llamó la atención sobre el hecho de que los resultados de los ERD en las estaciones experimentales no reflejarían necesariamente los niveles de producción que se lograrán con las nuevas pasturas a nivel de la finca y que, por tanto, el análisis económico de los ERD debería considerarse como una primera aproximación. Un análisis económico más profundo deberá realizarse una vez las pasturas hayan sido probadas en las fincas (ver el trabajo de Mares, Vera y Li Pun).

Para el estudio económico de los resultados de los ERD se propuso el uso de la presupuestación y del análisis de inversión de alternativas concretas; además, si fuese factible, un análisis de funciones de la producción cuando hubiese suficiente información (ver el trabajo de Riesco y Seré).

Recomendación sobre liberación de cultivares

El comité asesor consideró que los resultados de los ERD en cuanto a productividad de carne o leche, o de ambos productos, son indispensables cuando la institución nacional responsable decide liberar un cultivar. Se indicó además que la evaluación de las pasturas a nivel de la finca, si bien deseable, no debería considerarse como un requisito insustituible para la liberación de un cultivar. Las nuevas pasturas mejoradas —es decir, con mejor germoplasma expuesto a un manejo apropiado— deben liberarse como tales una vez se confirme su potencial de alta productividad y de persistencia, y se haya definido el rango de manejo apropiado que maximizará su productividad y su estabilidad. El análisis económico de los resultados de los ERD se consideró fundamental para la decisión final de liberar un cultivar.

Someter la nueva tecnología de pasturas al manejo del productor inscrito en un sistema de producción real se estimó como una actividad de investigación posterior a la liberación de los cultivares. Se admitió, en efecto, que los investigadores no debían retener la tecnología cuyo potencial esté probado. Se debe reconocer, por otra parte, la capacidad del productor ganadero de ajustar, adaptar y optimizar el uso de esa tecnología dentro del marco de los recursos naturales (suelos, agua, ganado) de su finca y de los recursos socioeconómicos (mano de obra, capital, mercados) que posea. Las tecnologías que mejor se ajusten a las condiciones de producción y a los recursos del productor serán adoptadas; otras tecnologías no lo serán.

Referencias

- Amézquita, M. C.; Toledo, J. M.; Giraldo, H. y Rojas, A. 1983. Número de muestras a tomar para estimar la producción del forraje bajo pastoreo. 9a. Reunión Latinoamericana de Producción Animal. (Resumen.)
- Hargreaves, J.N. y Kerr, J.D. 1978. BOTANAL: A comprehensive sampling and computing procedure for estimating pasture yield and composition. II. Computational package. Division of Tropical Crops and Pastures, Tropical Agronomy, CSIRO, Australia. Technical memorandum no. 9.
- Haydock, K.P y Shaw N.H. 1975. The comparative yield method for estimating dry matter yield of pastures. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 15:663-670.

Participantes

Argentina

Sonia Chifflet de Verde

Investigadora, Nutrición y Utilización de Pasturas

INTA

Calle 32, no. 938 (tel: 2-4149)

Balcarce, Argentina

Australia

Richard M. Jones

Program leader, Pasture Agronomy and Ecology

CSIRO, Division of Tropical Crops and Pastures

306 Carmody Rd., St. Lucia 4067 (tel: 378-4228)

Brisbane, Australia

Belice

Harold Aaron Parham

Project leader, Forage Legume Project

Ministry of Natural Resources, Agriculture Dept.

Central Farm

Cayo District, Belice

Brasil

Carlo Magno Campos da Rocha

Coordinador, Ensayos Regionales de Forrajeras

del Cerrado

EMBRAPA-CPAC

BR020, km 18 (tel: [061]596-1171)
C.P. 70-0023
Planaltina, Brasil

Leonidas da Costa Schalcher Valle
Investigador
EMBRAPA-CNPGL
Rodovia MG133, km 42 (tel: [032]212-8550)
Coronel Pacheco, MG, Brasil

Ademir Hugo Zimmer
Coordinador, Area de Pastos
EMBRAPA-CNPGC
Rodovia BR262, km 4 (tel: [067]382-3001)
C.P. 154
Télex: 672153 EMBRAPA
Campo Grande, MG, Brasil

Emmanuel A. Souza Serrão
Coordinador, Programa de Investigación
EMBRAPA-CPATU
C.P. 48 (tel: 226-6622)
Belém, Brasil

José Marques Pereira
Investigador adjunto, jefe de división
CEPLAC
Rodovia Ilhéus-Itabuna, km 22
C.P. 07 (tel: 211-2211)
Itabuna, BA, Brasil

Derrick Thomas
Forrajes, Programa de Pastos Tropicales
CIAT
Apartado 6713 (tel: 680111, ext 363)
Cali, Colombia

Colombia

Pablo E. Mendoza M.
Director nacional, Programa de Pastos y Forrajes
ICA
Apartado 151123 Eldorado (tel: 281-3177, ext. 348)
Bogotá, Colombia

Héctor Hugo Li Pun

Representante, Programa de Producción Animal

CIID

Apartado 53016 (tel: 255-8600)

Télex: 45366

Bogotá, Colombia

José M. Toledo

Líder, Programa de Pastos Tropicales

CIAT

Apartado 6713 (tel: 680111, ext. 363)

Cali, Colombia

James M. Spain

Suelos y Nutrición de Plantas, Programa de Pastos Tropicales

CIAT

Apartado 6713 (tel: 680111)

Cali, Colombia

Carlos O. Seré

Economía, Programa de Pastos Tropicales

CIAT

Apartado 6713 (tel: 680111)

Cali, Colombia

Raúl R. Vera

Producción de Ganado, Programa de Pastos Tropicales

CIAT

Apartado 6713 (tel: 680111)

Cali, Colombia

Esteban A. Pizarro

Ensayos Regionales, Programa de Pastos Tropicales

CIAT

Apartado 6713 (tel: 680111)

Cali, Colombia

Carlos Lascano

Calidad de Pasturas y Nutrición Animal,

Programa de Pastos Tropicales

CIAT

Apartado 6713 (tel: 680111)

Cali, Colombia

Charmian G. Sackville-Hamilton

Ecofisiología, Programa de Pastos Tropicales

CIAT

Apartado 6713 (tel: 680111)
Cali, Colombia

María Cristina Amézquita
Biometría, Unidad de Servicio de Datos
CIAT

Apartado 6713 (tel: 680111)
Cali, Colombia

Costa Rica

Víctor M. Mares M.
Coordinador, proyecto Sistemas de Producción Animal
CATIE

Apartado 63, CATIE
Turrialba, Costa Rica

Cuba

Juan José Paretas F.
Subdirector,
Instituto de Investigación en Pastos y Forrajes
Apartamento 30, Marianao IV (tel: 080-8121)
La Habana, Cuba

Chile

Gastón Pichard D.
Profesor
Universidad Católica de Chile
Casilla 114-D (tel: 555-0058)
Télex: 40395 PUCVA-CL
Santiago, Chile

Osvaldo Paladines
Consultor, Programa de Pastos Tropicales
CIAT
Oscar Tenhann 888, Las Condes (tel: 224-4100)
Santiago, Chile

Ecuador

Hernán Caballero
Especialista en investigación agropecuaria
IICA
Muros 146 (tel: 524-238)
Télex: 2837-IICA-ED
Apartado postal 201-A
Quito, Ecuador

Jorge Eduardo Costales M.
Investigador 2, Programa de Pastos
INIAP
Estación Experimental Napo
Apartado 2600
Quito, Ecuador

Estados Unidos

Marvin Riewe
Profesor y superintendente de estación experimental
Texas A&M University
P.O. Box 728 (tel: [409]849-5708)
Angleton, Texas, U.S.A.

Guatemala

Gustavo Cubillos O.
Especialista en investigación agropecuaria
IICA
Apartado 1815 (tel: 316-304)
Guatemala, Guatemala

México

Angel Ramos S.
Subdirector de investigación, Zona Sur
INIA-SARH
Tinoco y Palacios 311-7 (tel: 67469)
Oaxaca, OAX, México

Francisco Meléndez N.
Coordinador regional de investigación
INIA, CAE Huimanguillo
Apartado postal no. 17 (tel: 50397)
Huimanguillo, Tabasco, México

Panamá

Carlos Manuel Ortega V.
Investigador (coordina RIEPT)
IDIAP
Gualaca, Chiriquí
Panamá

Pedro J. Argel
Asesor,
IDIAP/Rutgers

Apartado aéreo 958 (tel: 75-0293)
David, Panamá

Perú

Dale E. Banoy
Jefe de misión NCSU
NCSU/INIPA
Av. Guzmán Blanco 309 (tel: 32-0510)
Télex: 25194 PE
Lima, Perú

Keneth Reátegui del A.
Investigador, Pastos Tropicales
PEPP/INIPA/NCSU
Av. Guzmán Blanco 309 (tel: 32-0510)
Télex: 25194 PE
Lima, Perú

Manuel Arca B.
Director ejecutivo, Investigación Agropecuaria
INIPA
Av. Guzmán Blanco 309 (tel: 248-776)
Lima, Perú

César Augusto Reyes A.
Coordinador Pastos Tropicales
IVITA
Apartado 245 IVITA (tel: 6400)
Pucallpa, Perú

Héctor Arturo Huamán U.
Investigador, Nutrición y Calidad de Forrajes
IVITA
Apartado 4270 IVITA
Lima, Perú

Alfredo G. Riesco de la V.
Investigador, Economía Agrícola
IVITA
Apartado 245 (tel: 6400)
Pucallpa, Perú

Trinidad y Tobago

Paschal O. Osuji
Coordinator, Animal Production Program

CARDI, University of West Indies at St. Augustine
CARDI, U.W.I. St. Augustine Trinidad (tel: 808-663-1359)
St. Augustine, Trinidad y Tobago

República Dominicana

Yokasta Soto de Rosa

Directora

CENIP - Secretaría de Agricultura
Carr. Duarte, km 24, Apartamento 227-9
Santo Domingo, República Dominicana

Coordinadores de la reunión

Carlos Lascano

Programa de Pastos Tropicales, CIAT

Esteban Pizarro

Programa de Pastos Tropicales, CIAT

Alberto Ramírez

Programa de Capacitación, CIAT

Francisco M. Motta

Editor, Unidad de Comunicaciones
e Información, CIAT



Participantes en la Reunión de Trabajo de la RIEPT en Perú, 1-5 de octubre de 1984.

Notación, símbolos y abreviaturas

a. De instituciones

AFGC	Australian Forage and Grass Council (CSIRO, Australia)
AID	Agency for International Development (E.U.)
ALPA	Asociación Latinoamericana de Producción Animal
CAB	Commonwealth Agricultural Bureau (U.K.)
CAE	Centro Agrícola Experimental (México)
CARDI	Caribbean Agricultural Research and Development Institute (Trinidad)
CATIE	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (Costa Rica)
CENIP	Centro de Investigaciones Pecuarias (República Dominicana)
CEPEC	Centro de Pesquisas do Cacau (Brasil)
CEPLAC	Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (Brasil)
CIID	Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (Canadá, América Latina)

CNIA	Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (ICA, Colombia)
CNPGC	Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte (Brasil)
CNPGL	Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Leite (Brasil)
CPAC	Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (Brasil)
CPATU	Centro de Pesquisa Agropecuária do Tropicó Humido (Brasil)
CSIRO	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (Australia)
DMQ	Departamento de Métodos Quantitativos (EMBRAPA, Brasil)
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, (Brasil)
ICA	Instituto Colombiano Agropecuario (Colombia)
IFDC	International Fertilizer Development Center (E.U.)
IICA	Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (Costa Rica)
ILCA	International Livestock Center for Africa (Etiopía)
INTA	Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (Argentina)
IVITA	Instituto Veterinario de Investigación Tropical y de Altura (Perú)
MINAG	Ministerio de Agricultura (Cuba)
PEPP	Proyecto Especial Pichis Palcazu (Perú)
SARH	Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (México)
UCV	Universidad Central de Venezuela
U.W.I.	University of West Indies, Trinidad

b. De unidades de medida y de expresiones técnicas

an.	animal (= an.)
ANVA	análisis de varianza (ANOVA, en inglés)
BA	Estado de Bahía (Brasil)
BCA	bloques completos al azar (diseño)
°C	grados centígrados o Celsius
C.P.	caixa postal
cv.	cultivar
CV	coeficiente de variación
DE	desviación estándar
DME	cuadrado medio del error (= C.M.E.)
DIVMS	digestibilidad in vitro de la materia seca
E.E.A.	Estación Experimental Agropecuaria
econ.	economía
ERD	ensayos regionales D
estd.	estadística
fem.	femenino (a)
g.l.	grados de libertad
GPA	ganancia de peso por animal
GPD	ganancia de peso por día
GPH	ganancia de peso por hectárea
h	hora (s)
ha	hectárea
kg	kilogramo

km	kilómetro
lat.	latitud
mm	milímetro (s)
MS	materia seca
MSM	materia seca muerta
msnm	metros sobre el nivel del mar
MST	materia seca total
MVS	materia verde en base seca
MO	materia orgánica (M.O.)
no.	número
p.ej.	por ejemplo
PROG GLM	programa 'General Linear Model'
PV	peso vivo, kg
reg.	regionalismo
Rep.	República
Rep.	repetición (Biometría)
SAS	Statistical Analysis System
SE	error estándar
t	tonelada métrica (1 t = 1000 kg)
tecn.	tecnicismo
TIR	tasa interna de retorno
UA	unidad animal (1 UA = 400 kg de PV)
Univ.	Universidad
VPN	valor presente neto

\bar{X}	promedio, media
Zoot.	Zootecnia, zootecnista

c. Notación decimal

punto decimal: 0.68; 0.09

unidades de mil: antes de diez mil, sin signo (ej: 3400)
después de 9999, con coma (ej: 12,860)

Nota: en algunos cuadros, por razones tipográficas, las cantidades menores de diez mil llevan coma.

d. Unidades de medida y monedas

1US\$ = \$Col 156.00 (octubre, 1985)

1US\$ = Cruzeiros 7540.00 (octubre, 1985)

1US\$ = Inti 13,943.00 (octubre, 1985).

1 cwt = 1 hundredweight (largo) : 50.04 kg
= 1 hundredweight (corto) : 45.36 kg

1 acre = 0.405 ha

1 lb = 0.454 kg

Glosario de términos técnicos y regionales

- Acostumbramiento** = (reg.) Lapso en que un bovino se acostumbra a pastar en un potrero al que ha sido recién trasladado. Comportamiento animal típico de ese lapso.
- Aleatorio** = (neol.) Relativo a lo fortuito o dependiente del azar.
- Asociante** = (reg.) En una pastura, la especie forrajera que se asocia con otra.
- Atenuación** = (de corriente) Razón de la intensidad de la señal de entrada a un transductor, a la intensidad con una impedancia de carga conectada al mismo; a veces se expresa en decibeles.
- Bajo corte** = (tecn.) Método que determina el rendimiento agroeconómico de una pastura mediante el corte periódico de las especies forrajeras que la componen. (Un método alterno se denomina 'bajo pastoreo'.)
- Becerro** = Bovino menor de un año de edad.
- Biomasa** = Masa total de los seres vivos, animales y vegetales, de un biotipo.
- Brete** = (reg.) Sitio donde se inmoviliza un bovino para marcarlo, castrarlo y otras prácticas de manejo animal.
- Canal** = (fem.) Res sacrificada una vez retiradas sus vísceras y otros despojos.

- Capacitancia** = Reactancia (o sea, el componente de la impedancia de un circuito) que ofrece un condensador al paso de la corriente eléctrica; se expresa en ohmios.
- Cobertura** = (tecn.) Cubrimiento del suelo por las especies forrajeras (gramíneas o leguminosas) que integran una pastura.
- Corte** = (Ver bajo corte.)
- Correlación seriada** = (estd.) Se define como la correlación entre los miembros de una serie temporal (time series) y aquellos miembros que los preceden o suceden por un intervalo fijo en el tiempo. Si la serie se denomina $U_1, U_2, U_3, \dots, U_n$, la correlación seriada de orden k es la que se establece entre los pares (U_1, U_{1+k}) . (En inglés, serial correlation.)
- Correlación intraclass** = (estd.) Es la medida de la correlación entre los miembros de ciertos grupos naturales o 'familias'. P.ej., si una variable x se mide en k miembros de una familia, y se desea calcular la correlación entre esos miembros, se construye una tabla de correlación en la cual cada una de las $1/2 k(k-1)$ posibles parejas de miembros se representa dos veces, según el orden atribuido a los dos miembros de la pareja (uno se considera el primero y otro el segundo para la correlación). Cuando hay más de una familia, las tablas de correlación se superponen y el coeficiente se calcula para la tabla bivariada; esta operación se denomina correlación intraclass. (En inglés, intraclass correlation.)
- Curvilínea** = (neol.) Carácter de una relación matemática de expresarse gráficamente como una línea curva. Perteneciente a la línea curva.
- Deflactar** = (tecn.) Depurar una relación económica de sus fluctuaciones estacionales (deflactado = 'seasonally adjusted').
- Desagregar** = (tecn.) En ciencias económicas, separar un rubro de otro para su consideración.

- Desbalance** = (estd.) Carácter de un diseño no balanceado (desbalanceado) en el cual cada tratamiento se aplica a distinto número de unidades experimentales.
- Descriptor** = (tecn.) Rasgo o carácter que ayuda a identificar animales o seres inanimados.
- Desmonte** = (reg.) Eliminación selectiva de la vegetación nativa para limpiar un terreno.
- Digesta** = (tecn., lat.) Contenido del tracto digestivo.
- Diseño 'change-over'** = (estd.) Es el diseño básico aplicado a ensayos de tipo 'change-over'; en éstos, un sujeto experimental (un animal) recibe uno o más tratamientos en secuencia, a diferencia de los experimentos continuos en que el animal, una vez asignado a un tratamiento, permanece en él. En inglés, 'change-over design'. (En esta obra se ha traducido como diseño permutable.)
- Diseño de tipo 'double reversal'** = (estd.) Es otro caso particular del diseño general 'change over'. Como el diseño 'simple switch-over' o 'reversal', el diseño 'double reversal' comprende únicamente dos tratamientos y dos secuencias de tratamientos (A, B y B, A); se diferencia de aquél, sin embargo, en que tiene tres períodos de evaluación (período 1: A, B; período 2: B, A; período 3: A, B). En inglés, 'double reversal design'. (En esta obra se ha traducido como diseño de doble intercambio.)
- Diseño de tipo 'simple switch-over', o 'switch-back', o 'reversal'** = (estd.) Es el más simple de los diseños de tipo 'change over', y permite controlar tendencias en el tiempo. Comprende únicamente dos tratamientos y dos secuencias de los tratamientos, A, B y B, A, con sólo dos períodos (período 1: A, B; período 2: B, A). El grupo de sujetos experimentales (animales) disponibles se asigna al azar, la mitad de ellos a cada secuencia. Este diseño puede considerarse como un cuadrado latino de 2 x 2, con una diferencia: en éste último los animales se distribuirían primero en pares según las tendencias esperadas en el tiempo, y después cada pareja se asignaría al azar. En inglés,

'simple switch-over design', o 'switch-back design', o 'reversal design'. (En esta obra se ha traducido como diseño intercambiable.)

- Entre = (tecn.) En las expresiones 'entre años', 'entre fincas', 'entre animales', etc. significa 'entre un valor y otro' cualquiera de la variable considerada (años, fincas, animales).
- En oferta = (tecn.) Disponible, ofrecido al ganado. Dícese del forraje que encuentra el ganado en un momento dado cuando pastorea un potrero.
- Ensamblar = (tecn.) Integrar o asociar especies forrajeras en una pastura.
- Espaciamiento = (reg.) Distancia que separa repeticiones, bloques o unidades experimentales en un diseño estadístico de un experimento de pastoreo.
- Establecimiento = (reg.) Empresa o explotación ganadera.
- Estimado = (tecn.) Apreciación o estimación del valor probable, presente o futuro, de un parámetro.
- Estimativo = (tecn.) Ver estimado.
- Finquero = (reg.) Propietario o administrador de una explotación ganadera.
- Humanitario = (reg.) Dícese del trato dado a los animales experimentales cuando refleja la actitud justa y compasiva de los humanos hacia personas o grupos sociales.
- Implementar = (neol.) Dotar un proyecto o sistema de los elementos necesarios para su operación. Complementar, ejecutar.
- Incentivar = (reg.) Motivar, estimular a la acción.
- Insumo = (neol.) Elemento o material que se suministra a un sistema para iniciar o mantener su operatividad. Factor de producción.
- Intercepto = (tecn.) Intersección de una curva con uno de los ejes coordenados. Valor de una variable en el punto donde ocurre la intersección.

- Intraclase = Ver **correlación intraclase**.
- Levante = (reg.) 1. Novillo joven de edad comprendida entre el destete y el comienzo de la ceba. 2. Actividad pecuaria en que se produce esta categoría de bovinos.
- Nutricional = (neol.) Agradable, gustoso al paladar del animal.
- Ocupación = (tecn.) Tiempo, generalmente en días, durante el cual los animales pastorean u ocupan un potrero.
- Oferta = (Ver en oferta.)
- Palatable = (neol.) Nutritivo.
- Pastoreo = (reg.) Acción de pacer o comer hierba el ganado en una pastura.
- Pastorear = (reg.) Pacer, comer hierba el ganado en un campo o pradera. Originalmente, llevar el ganado al campo para hacerlo pacer.
- Pastura = (tecn.) Pradera o pastizal integrado por especies forrajeras que serán pastoreadas por el ganado.
- Pesaje = (reg.) Acción y efecto de pesar los animales.
- Picana = (reg.) Aijada o agujada del boyero.
- Post partum = (lat.) Después del parto.
- Presupuestación = (reg.) Elaboración de un presupuesto.
- Rebrote = (reg.) Tasa de crecimiento de las especies forrajeras en una pastura.
- Recría = (reg.) Levante de terneros nacidos en otra región.
- Rentabilidad = (econ.) Producción porcentual de un capital invertido en una empresa.
- Reportar = (neol.) Informar, comunicar, hacer saber.
- Res = Cualquier animal cuadrúpedo de cierto tamaño de especies domesticadas.
- Retajo = (reg.) Dícese del toro vasectomizado e inhábil para la reproducción.

- Rotacional** = (tecn.) Rotativo, en rotación. Dícese del sistema de pastoreo que incluye más de dos potreros.
- Retorno** = (Ver tasa de retorno.)
- Seriado** = (Ver correlación seriada.)
- Sesgo** = (estd.) Es la calidad de un resultado estadístico de hallarse privado de su representatividad (efecto sesgado) a causa de una distorsión sistemática que experimenta. Este efecto es distinto del error aleatorio que causa distorsión en un momento dado aunque el resultado, en promedio, queda equilibrado. (En inglés, 'bias'; no confundir con 'skewness', asimetría estadística de una distribución poblacional.)
- Sobrecambio** = (reg.) Traducción libre del diseño permutable ('change-over trial').
- Sobrepastoreo** = (tecn.) Utilización excesiva de una pastura por el ganado.
- Subcarga** = (tecn.) Carga animal inferior a la que normalmente soportaría una pastura.
- Subclímax** = (fem.) Etapa final de la sucesión ecológica (sustitución de una clase de comunidad por otra) cuyo desarrollo ulterior se inhibe por influjo de factores ajenos a los climáticos.
- Subpastoreo** = (tecn.) Utilización insuficiente de una pastura por el ganado.
- Tasa de retorno** = (tecn.) Método para calcular el beneficio esperado de una inversión de capital según la relación existente entre la ganancia esperada y su costo inicial.
- Vaciante** = (reg.) Menguante o descenso de un río.
- Vermifugación** = (reg.) Aplicación de antiparasitarios intestinales al ganado.
- Volante** = (reg.) En un experimento con bovinos, el animal que entra o sale del potrero para regular la presión de pastoreo.

Indice

- Adaptación ecológica, 235, 236,
- Ajuste de cargas, 87, 92
- Alimentación suplementaria, 54, 62
- Análisis económico, 210, 246, 264
- Análisis de sensibilidad, 225
- Análisis de varianza, 31, 33, 37, 40,
- Animales
 - ayuno, 117, 118, 120, 157, 259
 - comportamiento 10, 44, 49, 54, 56, 63, 68, 70, 85, 93, 211
 - aberrante, 112
 - perverso, 122
 - reproductivo, 26
 - edad bucal, 109
 - estrés climático, 130
 - estrés nutricional, 40
 - etapa de crecimiento, 108
 - experimentales, 99, 137, 258
 - fistulados, 149, 157, 158
 - ganancia de peso, 13, 22, 26, 29, 34, 44, 50, 56, 99, 101, 110, 125, 134, 145, 159, 201, 212, 260
 - pastoreo, 73, 148, 156, 189
 - pesaje
 - frecuencia, 114
 - repetido, 116
 - peso, 129
 - del becerro, 135
 - inicial, 120, 121
 - pérdida, 117
 - vivo, 117, 214, 234
 - problemas de adaptación, 130
 - producción, 4, 14, 18, 23, 26, 48, 67, 72, 87, 95, 99, 101, 143, 159, 183, 226, 240, 243, 251
 - registro de vacunaciones, 261
 - tasa de crecimiento, 107,
 - tasa de mortalidad, 27
- Ataque de insectos, 194
- Banco
 - de leguminosa, 205
 - de proteína, 210
 - de semilla, 182, 183, 186
- BOTANAL, 56, 155
- Capacidad de crecimiento, 100, 107,
- Carga animal, 7, 16, 33, 48, 51, 54, 61, 71, 74, 88, 146, 168, 180, 182, 215, 239
- Cargas fijas, 61, 68, 226, 243,
- Carne
 - precio, 207, 209, 227
 - producción, 15, 17, 30, 55, 61, 120, 203, 238, 243
- Cobertura de las especies, 154,
- Coefficiente de variación (CV), 21, 22, 25, 35, 117, 130, 135, 150
- Composición botánica, 149, 155, 169, 261
- Condiciones ambientales, 195, 245,
- Condiciones climáticas, 102, 175
- Contenido digestivo, 119, 120
- Control de plagas, 177,
- Control sanitario, 99

- Costo de oportunidad, 208, 209, 211, 217
- CPAC (Centro de Pesquisa Agropecuaria dos Cerrados), 51, 53, 56
- Cultivares comerciales, 44
- Defoliación, 74, 179, 195, 201,
- Densidad de plantas, 168, 171, 183, 190, 194
- Dieta
 - composición botánica, 158
 - digestibilidad, 158
 - valor nutritivo, 157
- Diseño de experimentos, 43, 105,
- Diseño no ortogonal, 32, 33, 40
- Eficiencia económica, 210
- Eficiencia reproductiva, 106, 128, 136
- Ensamblaje de germoplasma forrajero, 236
- Ensayos regionales
 - Ensayo regional A (ERA), 2, 15, 44
 - Ensayo regional B (ERB), 2, 15, 44, 253
 - Ensayo regional C (ERC), 2, 16, 31, 93, 234, 252
 - Ensayo regional D (ERD), 2, 6, 16, 45, 48, 53, 85, 203, 234, 251, 262
- Especies tropicales, 89
- Espectrofotómetro de masas, 159
- Estabilidad estructural del suelo, 89
- Estaciones experimentales, 8, 52, 55, 90, 106, 108, 234, 242, 243, 246, 247,
- Estimulantes del crecimiento, 99, 110
- Evaluación económica, 202, 207, 209, 213, 222, 230
- Eventos bióticos, 85, 86, 88
- Eventos climáticos, 85, 86, 180
- Factores ambientales, 177
- Factores climáticos, 16
- Fertilizantes
 - aplicación, 184
 - fósforo, 88
 - nitrógeno, 104
- Forraje
 - calidad nutricional, 67, 111, 144, 147, 157
 - componentes, 152, 153
 - composición botánica, 150
 - consumo, 67, 103, 144, 157
 - contenido de proteína, 46, 77, 148
 - digestibilidad, 77, 118, 120
 - disponibilidad, 9, 51, 53, 63, 67, 77, 87, 101, 126, 144, 151, 155, 156, 261
 - oferta, 144, 145, 259, 262
 - producción, 24, 27, 72
 - rendimiento, 155, 191, 262
 - residual, 88
 - tasa de digestión, 76
 - utilización, 87
- Frecuencia de medición, 134
- Funciones de producción, 201
- Ganado de carne, 47, 52, 101
- Germoplasma, 1, 8, 15, 31, 43, 85, 94, 99, 102, 231
 - evaluación, 44, 234, 241, 244, 248
 - selección, 99, 202, 231, 264
 - valor nutritivo, 47
- Grado de pigmentación, 154
- Hembras de remplazo, 240
- Índice de herencia, 132
- Inseminación artificial, 1, 5, 136
- Insumos
 - costo, 209
- Interacción genéticoambiental, 103
- Investigación biológica, 236
- Leche
 - calidad, 136
 - porcentaje de grasa, 135
 - precio, 207, 209, 228
 - producción, 15, 27, 31, 55, 63, 67, 77, 88, 99, 101, 127, 132, 203, 207, 211, 234
 - sistemas de producción, 128
 - sólidos, 128, 135
- Leguminosas estoloníferas, 88
- Limitantes del crecimiento, 103
- Madurez fisiológica, 132
- Manejo sanitario, 109
- Materia muerta en base seca (MSM), 21
- Materia orgánica, 86, 203
- Materia orgánica digerible (MOD), 101
- Materia seca (MS), 101
 - producción, 14, 15, 21, 45
- Materia verde en base seca (MVS), 21, 101, 145, 149, 152, 261
- Mejoramiento genético de las especies, 193
- Modelos de simulación, 246, 247
- Muestreo estratificado, 150

- Ordeño con amamantamiento, 132
 Parcelas experimentales, 129, 149
 Pastoreo (ver Sistemas de pastoreo)
 alternativas, 90
 ensayos, 13, 16, 35, 44, 48, 54, 132, 146, 156, 168, 178, 236, 239, 242, 251
 hábito, 118
 intensidad, 9, 144, 178, 252
 manejo, 5, 65, 186, 193, 239, 252, 255
 periodos, 51, 53, 79, 109, 115
 periodo de descanso, 239
 periodo experimental, 70, 100, 120, 237, 240
 presión, 7, 8, 16, 51, 52, 67, 71, 92, 146, 148, 179, 183, 239, 254
 pruebas, 4, 8, 108, 110, 115, 120, 202, 207, 215, 229
 selectivo, 194
 tratamientos, 111
 Pasturas
 asociadas, 88, 168, 179, 221
 atributos, 66, 143, 149, 152, 194, 237, 240
 ciclo corto, 71
 comportamiento, 56, 68, 207, 234
 composición botánica, 87, 149, 192, 253, 263
 etapa de producción, 86
 evaluación agronómica, 44, 134, 227, 235, 244, 264
 experimentales, 17, 70, 136, 149, 154, 254
 fertilidad, 86, 87
 mecanismos de persistencia, 175, 178, 194
 metodologías de evaluación, 85, 248
 metodologías de investigación, 233
 persistencia, 7, 45, 167, 193, 201, 225, 227, 238, 240, 246, 251
 periodos de crecimiento, 190, 193
 periodos de descanso, 89, 92, 182
 prácticas de manejo, 102, 179, 247
 productividad, 76
 rebrote, 156
 variabilidad, 20, 39, 167, 191
 Periodo de estrés, 90
 Periodo de evaluación, 30, 209, 211
 Persistencia
 gramíneas, 168, 176
 leguminosas, 237
 plantas, 186
 Plagas y enfermedades, 86, 175
 Plántulas
 crecimiento, 191
 emergencia, 182, 187
 periodo de germinación, 185
 regeneración, 167, 170, 176, 182, 186, 192
 supervivencia, 184, 187, 188, 193, 194
 Posición de meristemas basales, 175
 Precipitación, 86, 187
 Predicción de precios, 227
 Producción de materia verde, 48
 Ración de forraje, 77, 78
 Rango de peso seco, 155, 159, 261
 Reciclaje de nutrimentos, 10, 86, 146
 RIEPT (Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales), 1, 2, 8, 14, 43, 54, 100, 235, 248
 Repeticiones agronómicas, 93
 Reproducción sexual, 172
 Retorno al capital, 220
 Retorno económico, 203, 240
 Selección de especies, 87
 Semilla
 formación, 167, 174, 182, 189, 193, 263
 heces, 189
 porcentaje de germinación, 185
 reserva, 167, 175, 182, 185, 188, 194
 supervivencia, 182
 Sistemas de pastoreo, 9, 16, 43, 55, 61, 66, 73, 87, 90, 95, 129, 144, 167, 192, 201, 253
 alterno, 57
 continuo, 54, 55, 63, 73, 77, 90, 91, 145, 156, 173, 179, 237, 253
 diferido, 91
 en rotación, 54, 63, 67, 72, 75, 77, 89, 156, 179, 237
 fuerte, 178, 179
 intensivo, 89, 177, 180
 Sistemas
 manejo, 202, 234, 237
 ordeño, 132, 134, 136
 producción, 5, 6, 102, 104, 108, 206, 209, 233, 241, 247, 265

- Sobrepastoreo, 90, 182
- Suplementación animal, 209
- Tamaño del potrero, 29
- Tasa interna de retorno (TIR), 201, 211, 215, 220, 225, 228
- Tasa de supervivencia, 170, 175
- Técnicas de covarianza, 132
- Técnicas de medición, 152, 167, 261
- Terneras lactantes, 75,
- Tratamiento antiparasitario, 110,
- Toros retajos, 136
- Vacas
 - de cría, 106, 201, 258
 - edad, 132, 134
 - estado de gestación, 127, 133
 - estado sanitario, 109
 - lactantes, 4, 8, 27, 69, 75, 128
 - natalidad, 217
- Variación ambiental, 104
- Variación genética, 103,
- Variabilidad del clima, 19
- Variabilidad del suelo, 18,
- Variaciones en el peso, 119
- Varietades estoloníferas, 73
- Velocidad de crecimiento, 135

