RECOMENDACIONES SOBRE SISTEMAS DE ALIMENTACION

Manuel E. Ruiz[1], Charles J. Wilcox, Danilo Pezo, Richard Taylor, Carlos Chaves, Oswaldo Rosero

1. Marco conceptual

Se recomienda que se tome como base los principios y pasos metodológicos que se proponen en el documento "Desarrollo de Sistemas de Alimentación: Marco Conceptual, de M. E. Ruiz, y que aparece en este mismo capítulo. A manera de extracto de estas propuestas se plantea lo siguiente:

a. Que la metodología para el desarrollo de sistemas de alimentación animal incluya los pasos necesarios que aseguren: 1) La ubicación del sistema objetivo dentro de un contexto ambiental mayor, 2) La orientación del experimento y 3) La identificación de los recursos e insumos disponibles.

b. La definición del macro-ambiente debe incluir:
   - Elementos biológicos
   - Elementos físicos
   - Elementos sociales y culturales
   - Elementos políticos
   - Elementos económicos
   - La identificación de restricciones del ambiente y del sistema de producción, las necesidades de éste y los recursos de producción.

c. Las guías contenidas en el marco conceptual se delínean como sigue:

   - El investigador debe estar consciente de las tendencias y políticas de producción agropecuaria de largo plazo.

   - También debe estar consciente que cualquier evento que modifique las condiciones económicas muy probablemente afectará la naturaleza y factibilidad de las recomendaciones tecnológicas.

   - El programa de investigación de un país dado, o de una región dentro o entre países, debe, en prime-

[1] Coordinador del grupo de trabajo.

Copyrighted material

ra instancia, identificar los límites de los ecosistemas contenidos en el ámbito geográfico pertinente. Tales ecosistemas deben caracterizarse a fin de identificar aquellos de uso potencial para la producción animal.

- La caracterización de los ecosistemas debe incluir información sobre: 1) Factores climáticos (por ejemplo, precipitación total y su distribución en el año, temperatura y otros); 2) Factores edáficos (tales como fertilidad, características físicas del suelo, topografía).

- En cuanto a los sistemas de producción contenidos en los ecosistemas, éstos también deben caracterizarse y clasificarse según producto o funciones objetivo.

- Dentro del sistema de producción, y tomando en cuenta que el interés primordial es el subsistema de alimentación, el proceso de caraterización debe continuar a este nivel. Además, se tendría que definir la restricciones del subsistema y sus interacciones con otros subsistemas.

- Al desarrollar tecnologías, cuya justificación es la eliminación o reducción de los impedimentos a la producción, es necesario efectuar evaluaciones económicas tanto *ex ante* como *ex post*.

2. Crecimiento y engorde

El grupo propone los mismos planteamientos presentados en el documento base "Metodología para ensayos de producción: Crecimiento y engorde", escrito por M.E. Ruiz y que aparece en este capítulo. Además, se hacen las siguientes adiciones:

a. Con respecto a la asignación de tratamientos a animales

Según la experiencia de los participantes en el grupo, frecuentemente se aplican tres procedimientos para la asignación de tratamientos a los animales:

(1) Se ordenan los animales según su peso, luego se sortean los tratamientos en el primer grupo de animales (cuyo número es igual al número total de tratamientos). El orden en que quedan los tratamientos en este primer grupo de animales se mantiene para el siguente grupo y así sucesivamente. Este procedimiento no es correcto pues la posición que el animal ocupa en cada grupo de hecho determina el tratamiento que va a recibir, lo que atenta contra el principio de la aleatoriedad, así como determinará que los diferentes tratamientos tendrán pesos totales diferentes.

(2) Se ordenan los animales según su peso, luego se forman subgrupos cuyo número de animales es igual al número de tratamientos. Dentro de cada grupo se hace una asignación al azar de los tratamientos. Este procedimiento es aceptable aunque no es óptimo según criterio del grupo.

Copyrighted material

(3) El procedimiento preferido es la asignación de tratamientos al azar a todos todos los animales, sin preocuparse de que los pesos de los grupos queden balanceados en términos del peso total o promedio.

b. Con respecto al pesaje de los animales

Existen varios procedimientos para pesar los animales:

(1) Ayunar durante varias horas (24, 48 ó 72) y luego pesar.

(2) Pesar dos o tres días consecutivos, sin ayuno.

(3) Pesar sólo una vez sin ayuno.

Según la experiencia de los investigadores, no se gana mucha precisión pesando dos o tres días consecutivos, ni sometiendo a los animales a ayuno; por lo tanto, el procedimiento (3) es considerado como el más práctico y suficientemente adecuado. Lo que sí debe primar en el pesaje de los animales es que éste se ejecute cada vez bajo el mismo manejo (la misma hora, la misma persona haciendo las lecturas en la romana, etc.). También debe recordarse que la principal fuente de error es la apreciación personal al momento de pesar al animal.

c. Con respecto a las mediciones de respuesta

En los experimentos de crecimiento y engorde las mediciones o variables de respuesta de mayor interés son: Ganancia de peso, peso absoluto, consumo voluntario, eficiencia de conversión alimentaria y, cuando corresponda, rendimiento y calidad de la canal. En casos especiales puede ser necesario tomar datos de la tasa de pasaje, llenado ruminal y otros.

Si solamente se obtienen los pesos inicial y final, la única alternativa para calcular la ganancia diaria es restando uno del otro y divididendo el resultado por el número de días transcurridos entre pesajes. Sin embargo, se recomienda que se hagan pesajes intermedios pues esto permite:

- Reajustes de la alimentación, especialmente si los tratamientos se definen como cantidades por cada 100 kg de peso vivo por día.

- Comparaciones de las ganancias de peso tanto en el período experimental total como en fases de este período.

- Medir la tasa de crecimiento o engorde con menos error que la simple medición del peso inicial y el final.

- Detectar desviaciones importantes del crecimiento lineal (períodos experimentales cortos) esperado. En caso que ocurra curvilinearidad, ésta se puede evaluar, ya sea con modelos no lineales (la función de Brody) o lineales (regresiones polinomiales).

d. Con respecto al número mínimo de animales por tratamiento

Para su estimación se necesita conocer la variabilidad existente en las variables o mediciones de respuesta,

Copyrighted material

por ejemplo, el coeficiente de variación (CV). Para una discusión más detallada acerca de la importancia del CV, se refiere al lector al documento de Wilcox y Van Horn, que aparece en este capítulo. Sin embargo, el investigador debe estar consciente de que el CV está afectado a su vez por la duración del experimento y el mismo número de animales por grupo (Cuadro 1).

Es obvio que mientras más largo sea el período de evaluación se necesitarán menos animales. La disminución en el valor del CV a medida que aumenta la duración del ensayo resulta del hecho que los pesos medios (y las ganancias) de los animales al decorrer el tiempo, son relativamente mayores que los aumentos en la variabilidad.

De la literatura se pueden obtener valores para los CV de otros parámetros de crecimiento, como altura a la cruz, perímetro toráxico y perímetro abdominal. En el Cuadro 2 se presenta el efecto de la duración del experimento sobre el número de animales que se requieren en cada uno de los tratamientos, para detectar una diferencia de 20% entre tratamientos.

Se nota que se requiere menos animales a medida que el experimento tenga una mayor duración. Se llama la atención al hecho que es más difícil detectar diferencias cuando se usa altura a la cruz o perímetro toráxico, que cuando se usa peso corporal. El uso de perímetro abdominal requiere la menor cantidad de animales.

3. La interfase nutrición-reproducción

a. Suplementación mineral-reproducción

Se recomienda identificar carencias minerales en los suelos, los forrajes y los tejidos animales, por región. Para ello, se puede utilizar la técnica de mapeo sistemático descrita por McDowell *et al.* (1984). En caso de existir limitaciones de laboratorio, los análisis mínimos a realizar serían los de forrajes y tejidos animales. De

Cuadro 1. Cambios en el coeficiente de variación en función del número de animales por grupo y la duración del ensayo.

Animales por grupo	Duración del ensayo, días				
	28	84	168	224	365
3	40	24	19	17	15
5	36	22	16	15	13
7	34	21	15	14	14

Fuente: Paladines (1984).

Copyrighted material

Cuadro 2. Número de animales requerido para detectar una diferencia de 20% entre tratamientos, en función de la duración del experimento.

Respuesta	Semanas de experimentación			
	6	8	10	12
Peso vivo	25	20	14	10
Altura a la cruz	62	33	23	17
Perímetro toráxico	38	31	20	14
Perímetro abdominal	18	13	11	9

Fuente: Eaton *et al.* (1959)

presentarse dificultades para la obtención de muestras de tejidos a nivel de finca, se recomienda realizar el muestreo a nivel de matadero, siempre y cuando se pueda determinar la procedencia y el plano nutricional en que se mantuvo los animales. Los muestreos deben hacerse en dos épocas del año (hacia el final de las épocas seca y lluviosa). Se ha observado que la respuesta a la suplementación mineral durante la época lluviosa es más pronunciada que durante la época seca, lo que tiene una relación directa con los requerimientos nutricionales.

La suplementación con los minerales que se detecten por debajo de los niveles críticos se pueden realizar utilizando fórmulas completas o bien minerales específicos administrados directamente al animal. Las variables a evaluar son la tasa de parición en las hembras y la ganancia de peso en los machos.

b. Efecto de la alimentación en la reproducción

En la evaluación del efecto del tipo de alimentación sobre el comportamiento reproductivo de los animales, es importante considerar el número de partos y la condición corporal de la vaca o novilla al asignar los animales a los diferentes tratamientos. La respuesta reproductiva de los mismos puede estar influenciada, positiva o negativamente, por estas variables.

c. Interacciones ambiente-nutrición en la respuesta reproductiva del animal

La existencia de interacciones ambiente-nutrición-reproducción deben ser consideradas al momento de planear los experimentos. Si, por ejemplo, en una determinada región la frecuencia de partos es mayor en

Copyrighted material

cierta época del año la aplicación de los tratamientos deberá tener en cuenta esta tendencia natural.

d. Detección de pubertad

La detección de la pubertad, únicamente con base en la observación de las manifestaciones del celo puede introducir errores, debido a la manifestación de celos no acompañados de ovulación y posterior formación de un cuerpo lúteo funcional. Al respecto Nelsen *et al.* (1985) observaron que alrededor de un 15% de las novillas prepúberes presentan celos no acompañados de ovulación. La magnitud de este tipo de comportamiento no se ha estudiado en el trópico, por lo que se considera importante que al menos se palpe las novillas a intervalos mensuales, para poder relacionar las manifestaciones de celo con el inicio de la pubertad.

4. Ganado lechero

Las mismas recomendaciones que se hicieron en la Sección 2 (Crecimiento y engorde), con respecto a las mediciones de respuesta, aplican a la mayoría de las situaciones en la experimentación con ganado lechero. Esto es cierto toda vez que se trate de animales jóvenes en que precisamente se miden peso corporal, altura a la cruz, y otros parámetros.

En lo que respecta a las vacas lecheras, las recomendaciones se podrían resumir como sigue:

a. Parámetros a medir

(1) Consumo y composición del alimento.

(2) Cantidad y persistencia de la lactancia.

(3) Composición de la leche y sus propiedades, particularmente grasa, sólidos no grasos, sólidos totales, proteína, lactosa, conteo de células somáticas, caseína y acidez.

(4) Características organolépticas.

(5) Resíduos tóxicos (pesticidas, aditivos químicos, contaminantes).

(6) Peso o condición corporal.

b. Fuentes de variación

Además de los tratamientos impuestos a la vaca, se reconoce que los siguientes factores tienen influencia marcada sobre la respuesta a medir y que, por lo tanto, se deben tomar las precauciones debidas.

(1) Razas o cruces.

(2) Edad.

(3) Estatus nutricional (la condición corporal o el peso vivo pueden ser indicativos) e historia nutricional.

(4) Estado de la lactancia y/o preñez.

(5) Condición de amamantamiento.

Copyrighted material

(6) Método de ordeño (manual, mecánico, tipo de galera) y frequencia de ordeño.

(7) Frecuencia en la toma de datos.

c. Condiciones experimentales

Este punto también guarda similaridad con lo indicado en la Sección 2 y los puntos tratados en el documento base sobre crecimiento y engorde. Particularmente se enfatiza la importancia de la atención del investigador sobre el diseño estadístico apropiado, la duración del experimento, el número de animales y el período de adaptación, tanto antes como entre períodos.

5. Aspectos estadísticos adicionales

a. Recomendaciones sobre observaciones perdidas y categorías (celdas) perdidas

Raras veces los investigadores que usan animales de especies mayores pueden conducir un experimento que sea totalmente balanceado. A menudo no es posible obtener un número igual de animales para cada categoría y, aún cuando se comience con un experimento balanceado, es frecuente que un animal se enferme, se dañe, rehuse a comer o que, por alguna otra razón, falle en proveer la información experimental que se esperaba. En muestreos contínuos de sangre, puede que el catéter deje de funcionar o que se pierda. También puede suceder que los asistentes fallen en ceñirse al protocolo de muestreo, que se pierdan muestras en el laboratorio o que no se tenga suficiente muestra para hacer todos los análisis.

Si hay homogeneidad en todos los aspectos, un experimento balanceado es lo más eficiente; pero, por todas las posibilidades citadas anteriormente, pueden ocurrir observaciones perdidas o clases desiguales, e inclusive, algunas categorías pueda que aparezcan vacías (celdas vacías). Aún cuando las situaciones indicadas ocurran, es posible obtener información valiosa; pero para ello es necesario tener mucho cuidado con el análisis estadístico de los datos.

El análisis estadístico primario es por medio del método de análisis de varianza por cuadrados mínimos (Harvey, 1960). Existen otras alternativas pero éstas no se incluyen en este documento. Para hacer un análisis de varianza por cuadrados mínimos se require hacer las suposiciones usuales, incluyendo aquellas que se refieren al error (Snedecor y Cochran, 1980). Además, es necesario suponer que no hay relación entre el número de observaciones en una categoría y su media (es decir, el número y la media son independientes entre sí). En general esta suposición es razonable si la perdida de observaciones no es consecuencia directa de los tratamientos.

El objetivo es obtener estimaciones no sesgadas por la influencia desproporcionada de otros efectos en

Copyrighted material

el modelo. Con un balance perfecto, las estimaciones de tales efectos son, generalmente, independientes entre sí (ortogonales); esto no es así cuando hay desproporcionalidad. Se puede demostrar fácilmente que, si hay varios niveles del tratamiento A, que se combinan con el tratamiento B, y si el número de observaciones en cada categoría AB no es igual, entonces las medias aritméticas de A están sesgadas (por B) y que las medias aritméticas de B están sesgadas por los efectos de A. De allí que se requiere un ajuste simultáneo para cada uno de ellos por medio del análisis de varianza por cuadrados mínimos.

Si A y B son efectos fijos y están combinados, y si algunas de las celdas AB no tienen datos, se presenta una situación especial, asociada con la estimación de la interacción AxB. En muchos casos, y dependiendo de la estructura exacta de los datos y las suposiciones acerca del modelo, es posible que no se pueda estimar algunas o todas las medias por cuadrados mínimos. Esta situación ha sido tratada por Henderson y McAllister (1978), incluyendo las implicaciones que tiene el contar con celdas vacías. Debido a las implicaciones indeseables que tiene esta situación, algunos paquetes computarizados no tienen (a propósito) la capacidad de estimar por cuadrados mínimos las medias involucradas (ejemplo, Barr *et al.*, 1979) y se refieren a ellas como "no estimables". En general, el método de Harvey (1977) permite la estimación de esas medias, pero con la advertencia de los peligros que representa.

b. Recomendaciones para el análisis de datos binarios

En muchos casos, la(s) variable(s) de respuesta ocurren sólo en dos clases o categorías (por ejemplo, 0 ó 1). A este tipo de datos se les conoce como datos binarios. Los investigadores en producción animal tienen una larga tradición en el análisis de estos datos, iniciada aún antes de los trabajos clásicos de Lush. Aunque el análisis estadístico de estos datos requiere de consideraciones especiales, actualmente su análisis no presenta mayor dificultad. Existe una gran cantidad de literatura científica acerca de cómo hacer el análisis de este tipo de datos (Harvey, 1977; Barr *et al.*, 1979; Harvey, 1982; Rutledge y Gunsett, 1982), además de computadoras modernas que pueden realizarlos fácilmente.

(1) Uso de pruebas de Chi-cuadrado. Las pruebas de Chi-cuadrado se han utilizado para determinar la significancia estadística de los efectos (Snedecor y Cochran, 1980). Sin embargo, estas pruebas no se prestan de manera conveniente a los complejos modelos matemáticos usados en la actualidad, a pesar de la disponibilidad de computadoras.

Los investigadores han recurrido a menudo al agrupamiento de cuadros multidimensionales de Chi-cuadrado en tablas de doble entrada, los cuales pueden ser fácilmente analizados. A pesar de ello, una revisión de Rutledge y Gunsett (1982) sugiere que esta estrategia es peligrosa.

Copyrighted material

(2) Análisis por cuadrados mínimos. Una alternativa para el análisis de datos binarios consiste en hacer un análisis de varianza por cuadrados mínimos. La ventaja de este análisis es la de permitir el uso de modelos matemáticos complejos, que contienen variables contínuas y discretas, así como efectos fijos y efectos aleatorios. Los datos se codifican, como 0 ó 1 (o cualquier otra codificación comparable), con lo que el análisis se puede hacer sin complicación. De gran importancia es el hecho que las estimaciones de los efectos, sean estos discretos o contínuos, no estén sesgadas, al menos en el grado que la estructura de los datos y el modelo matemático permiten.

Se debe tener cuidado con este método al considerar las pruebas de significancia. La suposición de homogeneidad del error puede no ser válida en casos con frecuencias extremas y/o grupos de datos muy pequeños. No se espera que la heterogeneidad del error sea muy grande con grupos grandes de datos y frecuencias intermedias. En general, la heterogeneidad del error lleva a pruebas de significancia muy liberales (muchos resultados significativos; una Protección Tipo I menor que la esperada). En casos en que no se obtenga significancia estadística se hace innecesario continuar haciendo análisis estadísticos, pues no se esperaría obtener significancia con pruebas más conservadoras, y ya se dispondría de estimaciones no sesgadas de los efectos. Cuando se requiera de pruebas de significancia más correctas se puede recurrir a análisis más conservadores.

Harvey (1982) demostró que el análisis de varianza por cuadrados mínimos ponderados puede corregir parcialmente los problemas de heterogeneidad del error. En algunos modelos, el análisis por el método de cuadrados mínimos es suficiente, pues éste pondera en forma automática los valores de las subclases, de acuerdo al número de observaciones de cada subclase. Para análisis más complejos, como el ajuste de variables independientes contínuas dentro de subclases, el análisis de varianza por cuadrados mínimos ponderados es el indicado. El programa de Harvey (1977) permite realizar dicho análisis. Un análisis de varianza por cuadrados mínimos, un tanto modificado, también puede realizarse con un programa para SAS (Barr *et al.*, 1979).

(3) El método logarítmico-lineal. Un enfoque alternativo en el análisis de datos binarios es el método logarítmico-lineal, que utiliza estimaciones de máxima probabilidad. Su revisión y descripción fue hecha por Rutledge y Gunsett (1982). Una desventaja de este enfoque es su restricción general a modelos jerárquicos. Cuando se incluyen interacciones en el modelo, todas aquellas de menor orden y los efectos principales deben incluirse. Se recomienda que los investigadores en nutrición y en ciencia animal en general, estén familiarizados con este tipo de enfoque. Sin embargo, los experimentos con animales, cuyas variables de respuesta son de tipo binario, se prestan mejor al análisis por el método ordinario de cuadrados mínimos o por el método ponderado.

Copyrighted material

6. Areas prioritarias de investigación

Con base en la experiencia del grupo y los documentos analizados, se considera necesario hacer investigación en los siguientes aspectos:

a. Crecimiento y engorde

- Determinación de los CV para ganancia de peso y medidas corporales en pre-rumiantes y rumiantes.

- Estimación del peso relativo del contenido ruminal y maneras de controlarlo en el caso que se pruebe que es importante.

b. Interfase nutrición-reproducción

- Evaluar el efecto de los minerales sobre la reproducción en la regiones tropicales de Latinoamérica, más específicamente fósforo, cobre, cobalto, zinc, manganeso y selenio. Al respecto, ya existen tablas de composición mineral de la mayoría de los pastos tropicales y en algunos países se ha trabajado en las deficiencias de estos minerales en los suelos (McDowell *et al.*, 1984).

- En experimentos acerca del efecto de la suplementación mineral sobre la reproducción es importante considerar la respuesta de los animales en función de la edad (novillas y vacas), ya que existe evidencia acerca de una mejor respuesta a la suplementación en las novillas (Conrad y Mendes, 1965; Stonaker *et al.*, 1975; Lebdosoekojo, 1977).

- Se considera que los CV generados en áreas sub-tropicales y templadas para los diferentes parámetros reproductivos no necesariamente son extrapolables al trópico, por lo que se recomienda su estimación bajo condiciones tropicales. Esta información permitirá un mejor diseño de los experimentos, sobre todo en lo que se refiere al número de animales por tratamiento.

- La introducción y evaluación de sistemas para evaluar la condición corporal de los animales y su relación con la eficiencia reproductiva.

c. Producción de leche

- Determinación de los CV para producción de leche y otros parámetros relacionados.

- Estudios sobre el período mínimo de acostumbramiento requerido para poder considerar los animales adaptados a las dietas experimentales.

- Determinar la importancia de los efectos residuales en estudios contínuos.

Copyrighted material

7. Referencias

BARR, A.J.; GOODNIGHT, J.H.; SALL, J.P.; HELWIG, J.T. 1979. SAS User's Guide. 1979 ed. Statistical Analysis System Institute, Inc. Cary, North Carolina, EE.UU. 921 p.

CONRAD, J. H.; MENDES, M. O. 1965. Estudo comparativo do uso de suplementos minerais e fontes de proteina sobre a percentagem de nascimento de bezerros. Reporte do Escritorio Teórico de Agricultura Brasil-Estados Unidos. A Granja, Revista dos Criadores. Brasil.

EATON , H.D.; GOSSLER, D.G.; LUCAS JUNIOR, H.L. 1959. Effect of duration of experiment on experimental errors in calf nutrition growth studies. Journal of Dairy Science 42:1398.

HARVEY, W.R. 1960. Least squares analysis of data with unequal subclass numbers. U.S. Department of Agriculture, ARS 20-8. Washington, DC., EE.UU.

HARVEY, W.R. 1977. User's guide for LSML76. Ohio State University. Columbus, Ohio. (mimeografiado). 76 p.

HARVEY, W.R. 1982. Least-square analysis of discrete data. Journal of Animal Science 54:1067.

HENDERSON, C.R.; McALLISTER, A.J. 1978. The missing subclass problem in two-way fixed models. Journal of Animal Science 46:1125.

LEBDOSOEKOJO, S. 1977. Mineral supplementation of grazing beef cattle in the eastern plains of Colombia. Ph.D. Thesis Gainesville, Florida, EE.UU. University of Florida. 227 p.

McDOWELL, L.R.; CONRAD, J. H.; ELLIS, G. L.; LOOSLI, J. K. 1984. Minerals for grazing rumiants in tropical regions. Gainesville, Florida, EE.UU. Department of Animal Science, Center for Tropical Agriculture y U.S. Agency for International Development. 86 p.

NELSEN, T. C.; SHORT, R. E.; PHELPS, D. A.; STAIGMILLER, R. B. 1985. Nonpuberal estrus and mature cow influences on growth and puberty in heifers. Journal of Animal Science 61:470.

PALADINES, O. 1984. Mediciones de la respuesta animal en ensayos de pastoreo: ganancia de peso. *In* Evaluación de Pasturas con Animales. Alternativas Metodológicas. Ed por C. Lascano, E. Pizarro. Cali, Colombia, RIEPT, Centro Internacional de Agricultura Tropical. p. 99.

RUTLEDGE, J.J.; GUNSETT, F.C. 1982. Analysis of categorical data in the animal sciences. Journal of Animal Science 54:1072.

SNEDECOR, G.W.; COCHRAN, W.G. 1980. Statistical Methods. 7 ed. Ames, Iowa, EE.UU., The Iowa State University Press. 507 p.

STONAKER, H. H.; SALAZAR, J.; BUSHMAN, D. H.; GOMEZ, J.; VILLAR, J.; OSORIO, G. 1975. Proccedings of a seminar on potential to increase beef production. CIAT. Publication Series CE. No. 10. p. 63.

Copyrighted material