

# MÉTODOS DE INVESTIGACION CON ENFOQUE Y ANALISIS DE DATOS DE SISTEMAS AGROPECUARIOS <sup>1</sup>

R. Quiroz\*, B. Arce\*, M. Holle\*

## ABSTRACT

The analysis of the data obtained throughout the different phases of the FSR approach must aid the researcher in understanding the interactions among the components of the system and its relationship with the environment. The literature dealing with this subject is limited. This paper shows some methods of data analyses with selected examples from the INIAA-PISA Project in Peru. The methods included are: descriptive statistics, principal component analysis, cluster analysis, discriminant analysis, regression analysis and combined analysis of variance in time and/or space. In addition, simulation models and optimal plot size estimation are discussed.

(Palabras claves: Análisis multivariado, componentes principales, conglomerados, modelos de simulación y mixtos).

## INTRODUCCION

Tradicionalmente, la investigación agropecuaria ha desarrollado su actividad en estaciones experimentales, con énfasis en el estudio de disciplinas individuales y aisladas. Los éxitos obtenidos han permitido lograr aumentos significativos en la producción y productividad de muchos cultivos y crianzas, en los campos de muchos agricultores. Sin embargo se han podido identificar grupos de usuarios que sobreviven en condiciones de clima y recursos marginales e, inclusive, algunos que poseen vivencias agrícolas de gran tradición. Estos grupos, mayoritarios en algunos países de América Latina y otros continentes, no se han favorecido por estas mejoras.

Aproximadamente desde el año 1970, investigadores agrícolas y de las ciencias sociales, en forma individual o en grupos multidisciplinarios, se han enfocado específica y concentradamente en esos usuarios de tecnología. Han incorporado enfoques holísticos y análisis de sistemas, adicionales o complementarios a la investigación disciplinaria y "reduccionista" que ha caracterizado siempre al sector agropecuario. Sin embargo, al presente sólo se cuenta con algunos datos de éxito y se ha comprobado que el tiempo necesario para generar tecnología es mayor. En el proceso es necesario modificar, adaptar y utilizar métodos que han sido propuestos pero poco utilizados.

El Proyecto de Investigación de Sistemas Agropecuarios Andinos, a cargo del INIAA, del Centro Inter-

## COMPENDIO

En las diferentes etapas de la investigación agropecuaria con enfoque de sistemas, se obtienen datos cuyo análisis debe proporcionar un conocimiento cuantificado de las relaciones que existen entre los componentes del sistema y con su entorno. La literatura sobre la aplicación de métodos de análisis a este tipo de datos, es escasa. En este trabajo se presentan algunos métodos de análisis de datos con ejemplos seleccionados del Proyecto de Investigación de Sistemas Agropecuarios del Instituto Nacional de Investigación Agraria y Agroindustrial (INIAA-PISA) en Perú. Los métodos incluidos son: "estadígrafos" descriptivos, análisis de componentes principales, de conglomerados, discriminatorio, de regresión, y combinado de variancia en el tiempo y/o el espacio. Además se incluye una discusión sobre los modelos de simulación y una estimación del tamaño óptimo de parcelas de cultivo.

nacional de Investigación para el Desarrollo (CIID) y de la Agencia Canadiense de Desarrollo Internacional (ACDI), realiza sus acciones en el altiplano del lago Titicaca, en zona peruana. Estudia y experimenta en los sistemas agropecuarios practicados ahí, con la finalidad de definir y validar alternativas tecnológicas que mejoren el bienestar de las familias campesinas que viven en comunidades tradicionales. En las investigaciones realizadas, se ha utilizado un gran número de técnicas y métodos aplicados a los cultivos y crianzas de la zona. El presente artículo describe y comenta algunos de ellos, en función de su capacidad de aplicación en el proceso metodológico que se sigue para ordenar este trabajo. Ese proceso es uniforme, pero cada equipo adapta y desarrolla cada paso individual, de acuerdo con sus necesidades (Fig. 1).

## CARACTERIZACION DE SISTEMAS

### Medidas estadísticas descriptivas

Un primer paso en el análisis de datos de caracterización, puede realizarse con descriptores estadísticos, pues permiten visualizar las estructuras de los recursos de producción y la productividad de los sistemas en estudio. Además, hace posible tener una idea de la diferencia entre productores, para cada variable utilizada.

### Análisis multivariados

Es común encontrar muchas variables explicatorias utilizadas. A veces es útil tener un gran número de ellas, pero también se corre el riesgo de duplicar la información. Si la duplicidad es total; es decir, si la segunda variable es una combinación lineal de la primera ( $r = 1.0$ ), entonces la matriz de variables independientes es

<sup>1</sup> Recibido para publicación el 18 de marzo de 1991.

<sup>2</sup> Nutricionista, zootecnista y Director del Proyecto de Investigación de Sistemas Agropecuarios Andinos (PISA), respectivamente, Instituto Nacional de Investigación Agraria y Agroindustrial (INIAA), La Molina, Lima, Perú

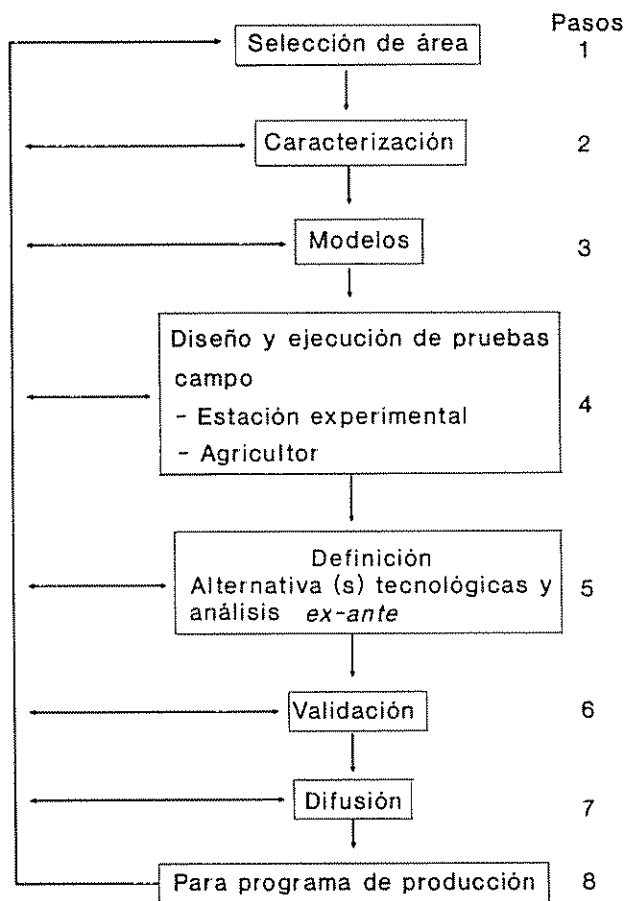


Fig. 1. Macrometodología de la investigación en sistemas de áreas con agricultura tradicional.

singular y no existe una solución única. En este caso, es posible detectar y corregir el problema, con una redefinición de los parámetros. La limitante aparece cuando existe casi "colinealidad". Es decir, cuando hay duplicación de información, pero la correlación no es perfecta. De ser así, existe una solución única en la matriz de variables explicatorias. Esto conlleva problemas, como el sesgo en los parámetros que expliquen cualquier tipo de función de respuesta o limitación en el poder de extrapolación fuera del espacio vectorial de las variables explicatorias o independientes (13). Una forma de confirmar la correlación, es estimar la matriz de correlación de todas las variables explicatorias y observar las interrelaciones entre cada dos variables.

Existen interrelaciones entre más de dos variables, que no pueden ser detectadas por este método y se requiere del análisis de la estructura de los datos, utilizando técnicas como la descomposición vectorial ("Eigen analysis"). Para eliminar el efecto de la correlación de las variables, es necesario formar variables ortogonales (no correlacionadas), previamente a cualquier tipo de análisis (regresión, conglomerados,

etc.). Una manera útil de lograr este tipo de combinaciones lineales ortogonales es la técnica de componentes principales (7, 10).

El agrupamiento de los productores se puede lograr mediante métodos multivariados, como lo es el análisis de conglomerados o "cluster" (8). En este análisis se determina la distancia cuadrada entre los centroides de los grupos y la distancia de cada elemento, que ha de ser clasificado, a los centroides de cada grupo. La clasificación de cada elemento se realiza de acuerdo a estas distancias. El tipo de agrupamiento depende del método seleccionado—por ejemplo, conexión promedio, método centroide, variancia mínima de Ward, etc. En la mayoría de estudios simulados, se han generado conglomerados compactos de más o menos el mismo tamaño o dispersión, favoreciendo el método de Ward (17). En estudios exploratorios, donde no se tiene idea sobre el tipo de agrupamiento que se espera, es recomendable utilizar métodos como la conexión por densidad ("density-linkage").

Si el agrupamiento de los productores se ha basado en la experiencia, éste se puede verificar con el análisis discriminante, el cual se describe posteriormente. Por el contrario, si se ha usado el método de "cluster", el análisis discriminante se emplea para generar una función—ecuación matemática que describe la distancia cuadrada entre un elemento y el centroide de cada conglomerado, para asignar a qué grupo pertenece cada observación—, con el objeto de clasificar nuevos datos. Los grupos formados por este análisis son los mismos que se obtienen con el "cluster", ya que su utilización depende del método, distancias cuadradas similares, entre otros.

Para ilustrar el uso de técnicas multivariadas, se presenta un análisis del padrón comunal de la comunidad campesina de Apopata en Puno (Perú). Las características de los productores analizados ( $n = 51$ ) muestran una gran variabilidad (Cuadro 1). Cuando existe tal heterogeneidad entre los productores, es recomendable tratar de formar grupos afines, de tal modo que su estudio y, posteriormente, el desarrollo de alternativas técnicas sean adecuados a cada grupo objetivo.

La matriz de correlación mostró la existencia de varios pares de las 15 variables correlacionadas. La reducción de la "dimensionalidad" se hizo mediante el método de componentes principales. Dado un conjunto de  $P$  variables numéricas, el método produce  $P$  componentes principales que son combinaciones lineales de las variables originales. Los coeficientes de cada combinación lineal son los vectores propios de la matriz de correlación. De las 15 nuevas variables o componentes principales, las cuatro primeras explican el 99% de la variancia total (Cuadro 1). Estas variables están asociadas con las variables originales: superficie, y número de alpacas, llamas y ovinos.

Cuadro 1. Variables utilizadas en el análisis del padrón comunal de Apopata, Puno (Perú).

Variables	Media	D.E.	Vectores propios						Variancia acumulada
			CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP	
Edad (años)	48.0	12.5	0.036	0.023	0.063	0.551	0.825	1	0.81981
Hijas 1-6 años	0.3	0.6	0.001	0.001	0.004	0.006	0.003	2	0.95221
Hijas 7-12 años	0.2	0.6	0.001	0.003	0.004	0.006	0.002	3	0.97818
Hijas 13-18 años	0.4	0.6	0.001	0.002	0.007	0.009	0.001	4	0.99221
Hijos 0-6 años	0.3	0.6	0.001	0.000	0.001	0.015	0.010	5	0.99860
Hijos 7-12 años	0.3	0.6	0.000	0.001	0.007	0.005	0.002	6	0.99917
Hijos 13-18 años	0.4	0.7	0.001	0.002	0.003	0.008	0.004	7	0.99958
Total de hijos	4.6	2.6	0.003	0.012	0.013	0.039	0.059	8	0.99982
Alpacas (unidades)	68.6	46.6	0.198	0.936	0.039	0.253	0.134	9	0.99990
Llamas (unidades)	25.9	31.0	0.244	0.001	0.923	0.271	0.120	10	0.99994
Bovinos (unidades)	2.3	3.1	0.000	0.041	0.021	0.038	0.036	11	0.99996
Ovinos (unidades)	27.1	18.3	0.037	0.280	0.297	0.742	0.530	12	0.99998
Parcelas (unidades)	2.3	1.1	0.001	0.002	0.012	0.009	0.023	13	0.99999
Educación (años)	1.7	2.2	0.003	0.010	0.001	0.012	0.032	14	0.99999
Superficie (ha)	82.9	114.1	0.948	0.208	0.231	0.067	0.008	15	1.00000

CP = Componente principal  
D E = Desviación estándar

El análisis de conglomerados ("clusters") por el método de Ward, con las cuatro variables originales, dio origen a cuatro grupos (Fig. 2). Los descriptores estadísticos (Cuadro 2) muestran que los productores del Grupo 1 poseen menos tierra y ganado, comparado con los otros tres grupos. Los grupos dos, tres y cuatro tienen un número similar de ovinos y alpacas. Los productores del Grupo 4 tienen más llamas que los de los otros grupos. La tenencia de tierra, en orden descendente de grupos, es: 4, 3, 2 y 1. Los productores escogidos por intuición al inicio del seguimiento dinámico, fueron clasificados en los grupos 1 y 2.

Cuadro 2. Valores promedios de las variables discriminantes por conglomerado (Apopata, Puno (Perú), datos 1989-padrón comunal).

Grupo	n	Superficie (ha)	Alpacas (Núm.)	Llamas (Núm.)	Ovinos (Núm.)
1	36	40(26)	44(20)	26(11)	21(14)
2	9	70(24)	137(33)	35(28)	42(19)
3	3	250(50)	120(52)	35(13)	48(13)
4	3	473(64)	113(23)	107(81)	35(13)

Desviación estándar entre paréntesis

### Análisis de regresión

Es importante determinar funciones de producción, que permitan predecir el comportamiento de una variable dependiente de interés, respecto de una o más variables independientes. Se debe resaltar que en estudios de muestreo no se debe establecer la relación causa-efecto entre variables independientes y depen-

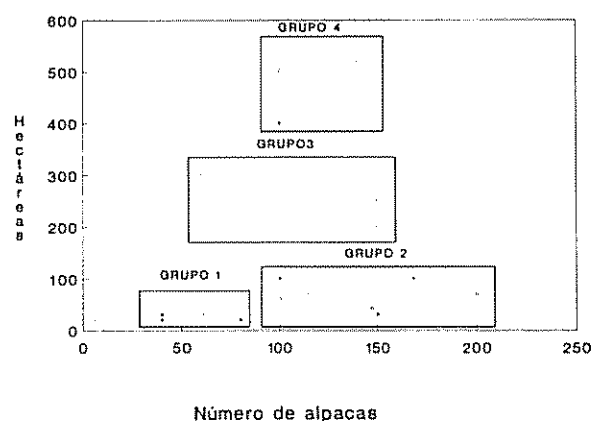


Fig. 2. Cuatro grupos de familias individuales en función de los componentes principales.

dientes, ya que no se han controlado otras que pueden estar afectando el estudio.

Para demostrar el uso de algunas herramientas de regresión, se utilizaron datos de los semilleros de papa (variedad Andina) del fondo rotatorio del Proyecto INIAA-PISA, en tres comunidades campesinas de Puno, en la campaña agrícola del período 1987-1988. Las variables incluidas en el análisis y los correspondientes descriptores estadísticos se muestran en el Cuadro 3.

La primera interrogante planteada en el análisis fue: ¿existe algún efecto del tamaño de la parcela sobre los rendimientos, expresados en kilogramos por hectárea?. Para dar respuesta a esta pregunta, se utilizó el método propuesto por Smith (16), donde la variancia del rendimiento, en función del tamaño de parcela, determina un índice de heterogeneidad del suelo. Con este índice y la relación de costos fijos y costos variables asociados con el cultivo, se puede fijar el tamaño de

**Cuadro 3.** Descriptores estadísticos de las variables consideradas (n = 27) en el análisis de fondos rotatorios de Puno (1987-1988).

Variables	Medla	Desviación	Mínima	Máxima
Semilla (kg ha <sup>-1</sup> )	1 482	411	833	2 778
Nitrógeno (kg ha <sup>-1</sup> )	110	55	14	181
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )	76	42	0	155
K <sub>2</sub> O (kg ha <sup>-1</sup> )	57	43	0	137
Total químicos (kg ha <sup>-1</sup> )	243	117	35	399
Guano (kg ha <sup>-1</sup> )	3 931	1 917	1 069	8 187
Mano de obra (h)	2 163	1 318	612	6 037
Yunta (h)	154	187	0	1 021
Pesticida, l/	430	390	0	1 567
Tamaño de parcela (m <sup>2</sup> )	1 009	2 071	110	11 000

parcela óptimo o más eficiente. Luego se estima el costo por usar tamaños de parcela diferentes al óptimo. Para el ejemplo, la relación funcional encontrada, entre la variancia y el tamaño de parcela, fue:

$$V_x = \frac{34.7}{X^{0.8}}$$

donde,

- V<sub>x</sub> = variancia del tamaño de la parcela X dividido por el tamaño de parcela-base.
- 34.7 = variancia del tamaño de parcela-base.
- 0.8 = índice de heterogeneidad del suelo.

El tamaño óptimo de parcela se estimó mediante la relación de costos fijos y variables del 30% y 70%, respectivamente:

$$X_{opt} = \frac{0.8}{0.2} * \frac{0.3}{0.7} = 1.7$$

Como el tamaño de parcela-base utilizado fue de 200 m<sup>2</sup>, el tamaño óptimo de parcela encontrado fue de 340 metros cuadrados.

El sesgo que puede conllevar el uso de kilogramos por hectárea, para expresar rendimiento, cuando los datos provienen de diferentes tamaños de parcelas, se muestra en la Figura 3. Para el caso del estudio, tamaños de parcela menores que 250 m<sup>2</sup> y mayores que 450 m<sup>2</sup> introducen un sesgo en la transformación de los datos de rendimiento a kilogramos por hectárea. Para eliminar este sesgo, se requiere expresar los rendimientos en otra forma, de tal manera que los resultados comparados no sean influidos por la variancia que tienen los rendimientos, sólo en función del tamaño de la parcela. Es decir que si el tamaño de la parcela es relevante en la predicción de la variable inde-

pendiente, se busca distinguir que este efecto no sólo es debido al tamaño sino también a otros factores — dedicación al cuidado del cultivo o eficiencia en el uso de recursos.

Se conoce la función que relaciona el rendimiento con la densidad de siembra (Fig. 4). Por lo tanto, se creó una variable de respuesta compuesta para eliminar el sesgo que puede introducir el tamaño de parcela:

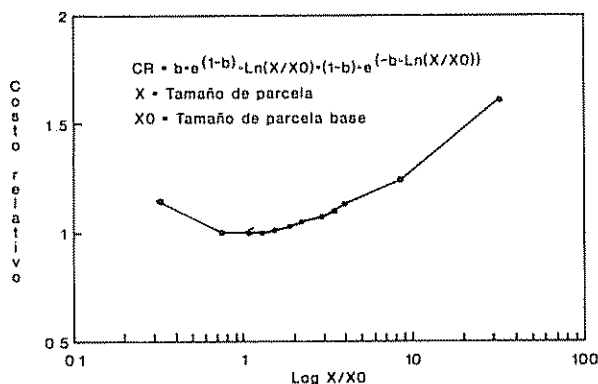


Fig. 3. Costo para usar tamaños de parcelas diferentes al óptimo.

$$Y = Q_c - Q_s,$$

donde,

- Y = rendimiento biológico neto (kg).
- Q<sub>c</sub> = cantidad de papa cosechada (kilogramos por parcela).
- Q<sub>s</sub> = cantidad de papa sembrada (kilogramos por parcela).

Los resultados del análisis de regresión, para predecir el rendimiento biológico neto con el uso de todas las variables explicatorias evaluadas (Cuadro 4) y el modelo reducido, según el procedimiento "stepwise"

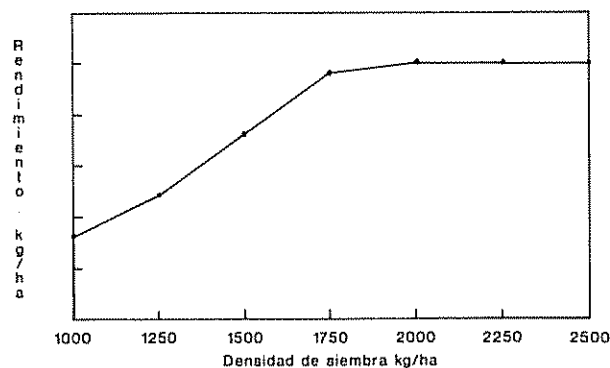


Fig. 4. Efecto de la densidad de siembra sobre el rendimiento de la papa.

Cuadro 4. Coeficientes de regresión y su significancia en la predicción del rendimiento biológico neto de papa (tres comunidades de Puno, 1987-1988, fondos rotatorios).

Variable	Coefficiente	Prob > t
Intercepto	269.75	0.1424
Nitrógeno	-1007.93	0.1865
Fósforo	-1009.84	0.1855
Potasio	-1020.01	0.1817
Total químicos	1009.29	0.1859
Guano	-0.12	0.0011
Mano de obra	0.02	0.0604
Yunta	-0.64	0.0632
Pesticida	-0.57	0.0003
Tamaño de parcela	1.64	0.0001

Cuadro 5. Coeficientes de regresión, significancia y coeficiente de determinación de las variables originales seleccionadas mediante el procedimiento "stepwise" (tres comunidades de Puno, 1987-1988, fondos rotatorios).

Variable	Coefficiente	Prob > F	R <sup>2</sup> Parcial	R <sup>2</sup> Modelo
Intercepto	317.76	0.0606	—	—
Tamaño de parcela	1.64	0.0001	0.9804	0.9804
Potasio	-9.91	0.0007	0.0076	0.9880
Pesticida	0.61	0.0011	0.0045	0.9926
Guano	-0.12	0.0002	0.0035	0.9960
Yunta	-0.46	0.0799	0.0006	0.9966

(Cuadro 5), indican que las variables más importantes en la descripción de la variable de respuesta —rendimiento biológico neto—, fueron: niveles de potasio, guano, horas de yunta, pesticida y tamaño de parcela.

Cuando se tienen variables correlacionadas, existe un problema de multicolinealidad que puede sesgar los coeficientes de regresión (13; Cuadro 6). Para eliminar este problema, es necesario reducir la "dimensionalidad" de las variables independientes y crear nuevas variables ortogonales, con sentido biológico. Estas se usan para explicar el comportamiento de la variable de respuesta. La reducción de la "dimensionalidad" se realizó con el empleo de la técnica de componentes principales (7, 10). En el ejemplo, los prime-

ros cuatro componentes principales están asociados con: tamaño de parcela, mano de obra y pesticida. Estos cuatro componentes ortogonales explican más del 99% de la variabilidad en el espacio vectorial de las variables independientes (Cuadro 7).

Los resultados sugieren que en estudios como el usado en el ejemplo y en las condiciones de comunidades de Puno, las variables como tamaño de parcela, guano, mano de obra y pesticida, deben ser consideradas por su influencia sobre el rendimiento, pues al utilizar los componentes principales relacionados con estas, como variables independientes, el modelo de regresión explica el 98% del rendimiento biológico neto (Cuadro 8).

Cuadro 6. Matriz de correlación de las variables independientes usadas en el análisis de regresión para predecir la producción de papa (tres comunidades de Puno, 1987-1988, fondo rotatorio).

	Semilla	N	P	K	Total	Guano quím.	Mano obra	Yunta	Pest. parc.	Total
Semilla	1.00	0.39 (0.05)	0.14 (0.50)	0.19 (0.35)	0.30 (0.13)	0.26 (0.20)	0.35 (0.07)	-0.14 (0.50)	0.68 (0.00)	-0.12 (0.56)
N		1.00	0.47 (0.01)	0.53 (0.00)	0.84 (0.00)	-0.29 (0.15)	0.27 (0.17)	0.22 (0.26)	0.23 (0.24)	-0.02 (0.93)
P			1.00	0.62 (0.00)	0.81 (0.00)	-0.03 (0.89)	0.23 (0.24)	-0.28 (0.16)	0.16 (0.42)	0.01 (0.93)
K				1.00	0.85 (0.00)	-0.32 (0.10)	0.15 (0.44)	-0.31 (0.11)	0.15 (0.44)	0.17 (0.39)
Total. quím.					1.00	-0.26 (0.18)	0.27 (0.17)	-0.11 (0.57)	0.22 (0.26)	0.06 (0.76)
Guano						1.00	0.22 (0.27)	0.12 (0.55)	0.05 (0.80)	-0.29 (0.14)
M. obra							1.00	-0.15 (0.46)	0.36 (0.07)	-0.03 (0.88)
Yunta								1.00	-0.16 (0.43)	-0.22 (0.27)
Pesticida									1.00	-0.10 (0.60)
Tamaño de parcela										1.00

El nivel de probabilidad para aceptar  $H_0 : P = 0$  se encuentra entre paréntesis.

Cuadro 7. Variables originales y componentes principales en el análisis de producción de papa (tres comunidades de Puno, 1987-1988, fondos rotatorios).

Variables	Vectores propios				CP acumulada	Variancia
	CP <sub>1</sub>	CP <sub>2</sub>	CP <sub>3</sub>	CP <sub>4</sub>		
N	0.003	-0.006	0.018	0.016	1	0.529
P	0.000	0.001	0.008	0.011	2	0.821
K	0.005	-0.002	0.010	0.014	3	0.982
Total quím	0.008	-0.007	0.036	0.041	4	0.995
Guano	-0.620	0.722	-0.305	0.017	5	0.998
Mano de obra	-0.118	0.299	0.938	-0.085	6	1.000
Yunta	-0.017	-0.012	-0.026	-0.085	7	1.000
Pesticida	-0.022	0.011	0.118	0.987	8	1.000
Tamaño de parcela	0.775	0.623	-0.099	0.020	9	1.000

CP = componente principal

## MODELOS

Los sistemas agropecuarios en aquellas regiones con agricultura tradicional y/o marginal, son usualmente complejos y están conformados por subsistemas biológicos, como el pecuario y el agrícola, casi siempre en combinación. Se caracterizan por estar sometidos a la incertidumbre y cambios en el tiempo. Por lo tanto, el estudio de los componentes de mayor relevancia y sus interacciones es complejo. Una de las formas de entender y conocerlos a fondo es mediante la identificación de sus componentes e interrelaciones, el análisis de sistemas y la "modelación". Esta herramienta, que ha tenido grandes avances y resultados excelentes en otras áreas —como minería, industria y asuntos militares—, ha sido poco utilizada en el área agropecuaria.

Se entiende por "modelación" una representación simplificada de un sistema real, con base en un conjunto de evidencias. El diseño de un modelo permite analizar en detalle el sistema de producción, identificando sus componentes e interrelaciones y, una vez implementado, posibilita obtener una idea más clara de la sensibilidad de las variables, definiendo así áreas de investigación prioritarias.

La "modelación" se puede utilizar para probar tratamientos en experimentos o alternativas tecnológicas de forma *ex-ante*, con el consecuente ahorro de tiempo y dinero.

Los modelos deben cumplir con ciertas características, para lograr los objetivos planteados, las que son un balance entre la generalidad, precisión y realismo. Está ampliamente comprobado que un modelo, al buscar mayor realismo, aumenta en complejidad y su precisión se reduce; y si es demasiado preciso, pierde generalidad. El planteamiento inicial de los modelos

Cuadro 8. Coeficientes de regresión y su significancia en la predicción del rendimiento biológico neto, usando componentes principales (tres comunidades de Puno, 1987-1988, fondos rotatorios).

Variable	Coefficiente	Probabilidad > T
Intercepto	1140	0.0001
CP1	2938	0.0001
CP2	1664	0.0001
CP3	-155	0.1101
CP3	184	0.0608
R <sup>2</sup>	0.984	

CP = componente principal

debe ser sencillo, y en la medida que éste no responda a las expectativas, se debe aumentar la complejidad.

Las etapas en la elaboración de modelos han sido descritas por Shannon (15) y Aguilar y Cañas (1). Desde 1988 el Proyecto INIAA-PISA utiliza esta herramienta, por medio de dos convenios: uno, con la Pontificia Universidad Católica de Chile y el otro, con el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE, Costa Rica). La experiencia inicial ha sido enriquecedora. Se han elaborado cuatro modelos de simulación y un sistema experto. Los modelos de simulación se han utilizado para entender mejor las interrelaciones de los sistemas modelados, para el análisis *ex-ante* de las alternativas tecnológicas y para priorizar áreas experimentales en el campo. El sistema experto ha sido validado por investigadores en el cultivo de papa y se siguen haciendo las modificaciones pertinentes.

Los tres modelos pecuarios: alpaca, ovinos y bovinos de carne y leche han sido descritos por Quiroz *et al.* (11). El modelo de simulación de papa y el sistema experto de papa, por Arze y Valdivia (3).

## PRUEBAS EXPERIMENTALES

El diseño y la ejecución de pruebas de campo se pueden realizar tanto en una estación experimental como en el campo del agricultor. Por considerar que las pruebas en una estación experimental, son ampliamente conocidas, sólo se describe el *modus operandi* del Proyecto PISA, en el campo del agricultor. Algunos de los problemas más comunes, encontrados en la investigación agropecuaria, son discutidos por Quiroz (12). Cuando se realizan pruebas en diferentes localidades y años (ambientes)—generalmente en campos de agricultores—, se plantean modelos mixtos con efectos fijos y aleatorios en las variables independientes. Esto puede modificar el análisis de los datos que comúnmente se hace.

Para ilustrar la forma de analizar los modelos mixtos en el tiempo y el espacio, se utilizan datos parciales de rendimientos de papa, obtenidos en dos localidades de Puno (Perú) durante dos años. El diseño, dentro de cada localidad y año, fue de bloques completamente aleatorios, con cuatro bloques (B) y cuatro variedades (T).

En primer lugar se realiza un análisis por localidad al año. La estructura del análisis de variancia se muestra a continuación (Cuadro 9).

Las pruebas de F usan el cuadrado medio del error como denominador, para los efectos de bloque y variedad, basado en los cuadrados medios esperados.

El siguiente paso es probar si las variancias de los grupos de datos que se van a combinar, son homogéneas. En casos como el ejemplo dado, donde los grados de libertad para todos los grupos son iguales, se puede utilizar la prueba de Hartley (6). De lo contrario, se debe utilizar la prueba de Bartlett (4). Si los grados de libertad no son muy diferentes, Hartley (6) afirma que su aproximación es válida. La prueba de F máxima de

Cuadro 9. ANOVA para un experimento con papa en Puno (Perú).

FV	GL	CM ESPERADO	CM
B	3	VAR (Error) + 4 VAR(B)	CMB
T	3	VAR (Error) + 4 VAR(T)	CMT
ERROR	9	VAR (Error)	CME

FV = Fuente de variación.

GL = Grados de libertad.

CM = Cuadrados medios.

VAR = Variancia.

Hartley, para el ejemplo, indica que la variancia es heterogénea. La relación  $S^2$  máxima/ $S^2$  mínima da un valor de 6.85, y el valor tabulado para la comparación de cuatro variancias, con nueve grados de libertad, es de 6.14 ( $P > 0.05$ ). Cuando la variancia es heterogénea, se debe determinar si la relación de la media con la variancia es funcional y se recomienda hacer transformación en las variables. Si la relación no es funcional, una alternativa es la partición de errores.

Para continuar con el ejemplo, se supone que la variancia es homogénea. El siguiente paso es un análisis combinado por años, para cada localidad. Se pueden establecer dos variantes de este análisis; en la primera, se "realcatorizan" los tratamientos cada año. Esto es lo común en el caso de los cultivos. La estructura para este análisis de variancia se presenta en el Cuadro 10.

Si se asume que el efecto anual es fijo, como puede ser el caso en climas muy variables con comparaciones de pocos años, el término de error para la prueba

Cuadro 10. ANOVA para el experimento de papa con "realcatorización" de tratamientos

FV	GL	CM esperado	CM	TE1	TE2
A	1	Verror + 4 Vat + 4 Vab + 16 Va	CMA	CMC1	CMC1
B	3	Verror + 2 Vbt + 4 Vab + 8 Vb	CMB	CMBY	CMC2
T	3	Verror + 2 Vbt + 4 Vat + 8 Vt	CMT	CMBT	CMC3
A*B	3	Verror + 4 Vab	CMAB	CME	CME
A*T	3	Verror + 4 Vat	CMAT	CME	CME
B*T	9	Verror + 2 Vbt	CMBT	CME	CME
ERROR	9	Verror	CME		
Total (corr.) 31					

TE1 = Término de error apropiado, si el año es fijo

TE2 = Término de error apropiado, si el año es aleatorio

V = Componente de variancia en los CM esperados.

CMC1 = CMAB+CMAT-CME.

CMC2 = CMBT+CMAB-CME.

CMC3 = CMBT+CMAT-CME.

de F, es un cuadrado medio compuesto (TE1). Si se usa el cuadrado medio del error (CME), como denominador, puede haber una subestimación o sobreestimación del valor de F. La magnitud del sesgo es una función de la relación numérica que existe entre el término de error apropiado y el cuadrado medio del error.

Si el efecto de año es aleatorio, varios de los efectos necesitan un denominador compuesto para la prueba de F. Cuando se usan denominadores compuestos se utiliza la aproximación de Satterthwaite (14), para estimar los grados de libertad del error. Para el término CMC1, los grados de libertad del error se estimarían como:

$$Fr = \frac{(CMC1)^2}{\frac{(CMAB)^2}{GLab} + \frac{(CMAV)^2}{GLav} + \frac{(CME)^2}{GLE}}$$

$$Fr = 2.42$$

La segunda variante es cuando los tratamientos no son anuales. En este caso, se le denomina experimento perenne, y el año, con sus correspondientes interacciones, constituye la subparcela. El análisis es igual a un diseño de parcelas divididas, con bloques y variedades en la parcela principal y el año más las correspondientes interacciones en la subparcela (18).

Si el análisis es combinado por localidades para cada año, la estructura es similar a la expuesta en los párrafos anteriores. Sólo hay que substituir el efecto anual por el de localidad. La consideración principal es determinar si el efecto de localidad es fijo o aleatorio. Algunos criterios tomados en cuenta en la definición de un efecto fijo o aleatorio, son:

a. Si se desea generalizar los resultados a una población mayor;

**Aleatorio:** generalización justificada por el análisis estadístico. Es decir, se puede hacer una extrapolación, utilizando los límites de confianza generados con la variancia de la muestra.

**Fijo:** generalización sería subjetiva y no estaría justificada por el análisis estadístico.

b. ¿Cómo se seleccionaron los factores?.

**Aleatorio:** al azar.

**Fijo:** por cualquier otro procedimiento.

c. Si se llevara a cabo un estudio similar, ¿se seleccionarían los mismos factores?

**Aleatorio:** no necesariamente los mismos.

**Fijo:** serían los mismos.

El análisis de variancia combinado, por años y localidades, tiene la siguiente estructura, si todos los efectos son aleatorios (Cuadro 11).

El efecto sobre el valor de F puede ser muy significativo (Cuadro 12). En algunos casos, el cuadrado medio del denominador elaborado puede ser menor que 0; en estos casos, es preferible aplicar la prueba contra el error experimental, ya que sería imposible obtener otro estimado del valor de F.

Si alguno de los componentes - año o localidad - es considerado como efecto fijo, la estructura del análisis varía. Es decir, varios de los denominadores para la prueba de F, serían diferentes. El presente ejemplo usa un modelo totalmente aleatorio, debido a que sería el más complejo. La clave para establecer la estructura de análisis en cada caso, es la estimación de los componentes de variancia.

Cuadro 11. ANOVA para el experimento de papa si los efectos son aleatorios.

	GL	CM estimado	CM	TE
A	1	$Vc+4Valt+8Vat+4Vbal+16Val+32Va$	CMA	CMCA
L	1	$Vc+4Valt+8Vlt+4Vbal+16Val+32Vl$	CML	CMCL
A*L	1	$Vc+4Valt+4Vbal+16Val$	CMAL	CMCAL
B(A*L)	12	$Vc+4Vbal$	CMBAL	CME
T	3	$Vc+4Valt+8Vlt+8Vat+16Vt$	CMT	CMCT
A*T	3	$Vc+4Valt+8Vat$	CMAT	CMALT
L*T	3	$Vc+4Valt+8Vlt$	CMLT	CMALT
A*L*T	3	$Vc+4Valt$	CMALT	CME
ERROR	36	$Ve$	CME	

Total corr. 63

CMCA = CMAL+CMAT-CMALT  
CMCL = CMAL+CMLT+CMALT

CMCAL = CMBAL+CMALT-CME  
CMCT = CMAT+CMLT-CMALT



En casi todos los casos en donde se requiere un CM compuesto, el uso del CME, como denominador de la prueba de F, produce una subestimación de este estadígrafo. En el término de error apropiado para el efecto tratamiento, el CM de la interacción triple es mayor que la suma de los CM de las interacciones año-tratamiento y localidad-tratamiento. Esto causa un denominador menor que cero. Es por ello preferible usar el CME como denominador.

Cuadro 12. Valores de F estimados con el CME y el término de error apropiado para el análisis de producción de papa, Puno (1974 y 1982).

FV	F-CME	F-TEA
A	1 70	12 17
L	1 93	9 16
A*L	0 29	186 22
B(A*L)	0 84	0 84
T	2 97	-49 00
A*T	0 02	0 10
L*T	0 09	0 53
A*L*T	0 16	0 16

## DEFINICION DE ALTERNATIVAS TECNOLOGICAS Y ANALISIS EX-ANTE

### Definición de alternativas

El resultado y resumen del trabajo de investigación, con la metodología según el enfoque y análisis de sistemas, se plasma en opciones tecnológicas a los sistemas estudiados, en un ámbito definido de agricultores. Ello obliga al equipo de investigación a integrar estudios en forma sistemática, y permite proseguir en el proceso de investigación ordenada, hacia el uso de esta tecnología en etapas posteriores, como validación y difusión.

En el caso de la investigación tradicional, los resultados se integran casi siempre en función de un cultivo o crianza. El producto del fitomejoramiento es una variedad, algunas veces con recomendaciones específicas como zonas de siembra, control de pestes, etc. pero casi siempre la información es desagregada. Un producto formal reconocido y valioso es el artículo científico.

Las alternativas tecnológicas en la investigación con el enfoque y/o análisis de sistemas, son un esfuerzo por integrar componentes, disciplinas, etc., en función de la realidad del ambiente donde se ubican los agricultores usuarios. Son también el producto que la investigación agrícola ofrece, proveniente de la caracterización de sistemas de producción y de las pruebas realizadas durante la investigación. Muchas veces se muestra un modelo cualitativo parcialmente cuantificado. El desarrollo de otros tipos de modelos cuantitativos

cubre solamente los componentes. Falta la elaboración de modelos de las unidades productivas de agricultores en ambientes tradicionales y/o marginales, hasta el punto que permitan su uso como maqueta o matriz de la producción de alternativas tecnológicas para dicho modelo.

La sistematización requiere dos acciones: a) el listado de las alternativas para cada condición y b) una descripción en formato de cada una. En este proceso es posible desarrollar y utilizar información secundaria y proveniente de fuentes externas al trabajo planificado. Pero es clave la documentación de cada ítem de información para que la alternativa sea útil en la continuación del proceso. Por otro lado, la eficiencia de la investigación es difícil de evaluar, si se desconoce la fuente de las "minitecnologías" incluidas en la alternativa tecnológica definida.

La descripción de una alternativa tecnológica requiere un formato que cumpla con los principios de un enfoque holístico y de análisis de sistemas. El término "alternativa tecnológica" surgió a raíz de que el término "paquete tecnológico" implicaba contradicciones con la forma real en que el campesino adopta y adapta la información a su esquema de producción integrado. Ha sido frecuente la experiencia en procesos de investigación y transferencia tecnológica, donde cada agricultor "desarma" el (los) paquete(s) e integra en su propio sistema de producción las partes que cree necesitar. Una alternativa significa que hay un patrón, maqueta, sistema actual y real que corresponde al agricultor. Durante el proceso de desarrollo de la investigación de esta alternativa se ha usado la maqueta como base, de tal forma que las variantes están ya probadas en unos pocos casos, y que los pasos subsiguientes — validación, difusión, etc.—, sirven, principalmente, para medir el desempeño de la alternativa en una mayor cantidad y variedad de contextos, y para estimar el comportamiento desde una perspectiva económica y social.

Un formato propuesto, basado en la experiencia del proyecto INIAA-PISA, tiene las siguientes partes:

- Cambio en aspectos del proceso de producción del sistema en el que se sugiere hacer la modificación.
- Sistema actual, que utiliza la descripción, producto de la fase de caracterización del sistema imperante en la comunidad campesina. Es el comparador que el equipo acepta y sobre el cual se plantean las alternativas.
- Alternativa INIAA-PISA, que describe someramente los cambios al sistema del agricultor.
- Justificación, es decir las razones para hacer el cambio expuesto en la alternativa tecnológica.

- Meta definida por los incrementos, reducción en la demanda de recursos y aumento de los productos del sistema. Es ideal si se puede cuantificar. Es un ejercicio riesgoso pero útil.

- Investigaciones futuras, son el paso metodológico del proceso de investigación que debe continuar —validación, componente que se ha de estudiar—.

- Medio ambiente socio-económico que comprende el área del comportamiento socio-económico del campesino o de la comunidad, que aceptará o rechazará la prueba, validación, etc. de la alternativa tecnológica. Contribución clara del trabajo integrado entre ciencias sociales y biológicas.

- Tiempo mínimo estimado para ver resultados, expresado en años o campañas agrícolas (válidas) que indica el avance logrado en el desarrollo de la alternativa y la confianza de éxito en ella por parte del equipo de investigación responsable del trabajo.

- Base documental, constituida por las referencias escritas, actividades programadas del proyecto, observaciones que fundamentan cada componente de la alternativa. Es esencial para la continuidad del trabajo.

#### Análisis *ex-ante*

Previamente a la validación de una alternativa tecnológica en la propiedad del productor, es recomendable estimar el posible comportamiento de ésta. Para ello, se utiliza alguna forma de orden del conocimiento, de tal modo que la predicción que se haga tenga cierto nivel de certeza. En el proyecto PISA-INIAA, se usan dos formas de ordenadores de datos: los formatos y los modelos de simulación.

**a) Formatos cuantitativos.** Los formatos cuantitativos utilizados constituyen las hojas de cálculo electrónico tipo Lotus 123. Estas hojas se utilizan para estimaciones, tanto biológicas como económicas. Como ejemplo de las biológicas, se presenta una evaluación de la disponibilidad y calidad de los recursos locales para alimentación de bovinos.

La primera parte de este estudio tiene como base la información publicada por Ccama (5), respecto de la superficie sembrada en cultivos, cuyos residuos se usan para la alimentación animal, y pastos cultivados, anuales y perennes. Es evidente que en los últimos 19 años ha habido un incremento mayor en la superficie sembrada en pastos, comparada con los cultivos de consumo humano. Ese aumento se debe a pastos perennes como alfalfa y otros cultivos, ya que los de cebada y avena forrajera presentaron incrementos leves.

Cuadro 13. Producción de materia seca y digestibilidad de algunas fuentes de forrajes en el departamento de Puno (Perú).

Forraje	MS (kg/ha)	DMS (%)
Alfalfa	4 600	69
Avena forrajera	3 500	60
Cebada forrajera	2 600	60
Otros pastos cultivados	5 300	60
Avena, grano	2 000	56
Cañihua	6 000	56
Cebada, grano	2 000	50
Habas	1 500	48
Quinua	6 000	43
Trigo, grano	2 000	50

MS = materia seca

DMS = digestibilidad de la materia seca

Para estimar el aporte energético en megacalorías de energía neta para manutención (ENm, Mcal), se utilizó la producción de materia seca por hectárea y las respectivas digestibilidades (Cuadro 13).

A partir de estos datos, se estimaron los contenidos de ENm, utilizando las siguientes relaciones funcionales (9):

- Un kilogramo de MS digestible = 4.4 Mcal de energía digestible (ED);

-  $EM = 0.82 ED$ , donde EM = energía metabolizable;

-  $ENm = 1.37 EM - 0.138 EM^2 + 0.0105 EM^3 - 1.12$ .

La disponibilidad de ENm fue superior a la demanda, considerando la población bovina del departamento de Puno, durante 19 años. Para el cálculo del requerimiento de manutención, se asumió un peso vivo (PV) de 200 kilogramos. La ecuación utilizada para estimar este requerimiento (Mcal), fue:  $0.077PV^{0.75}$  (9). La oferta de ENm fue superior en los residuos de cosecha que en los pastos cultivados, debido a la mayor superficie sembrada. Además, si se empleara todo residuo para alimentación animal, se podría tener suficiente energía para manutención y cierto nivel de producción. Sin embargo, parte de los residuos se utiliza como combustible, especialmente en las comunidades campesinas.

Otra estimación realizada fue acerca de la soportabilidad y potencial productivo por hectárea de forraje (Cuadro 14). Si se consideran sólo los requerimientos de manutención, con pastos cultivados se podrían soportar 1353 (DE = 460) animales/ha/d, o un animal durante 1353 días. En el caso de los residuos de cosecha, la cifra es de 844 (DE = 541) animales/ha/

día. Las desviaciones estándares (DE) son mayores en los residuos debido a la mayor variabilidad en rendimiento y digestibilidad. Si el 50% de la energía disponible se utiliza para ganancia de peso (Cuadro 14), en pastos cultivados es posible que un animal de 200 kg gane un promedio de 1.2 kg/d por 196 (DE = 74) d; mientras que en residuos de cosecha, el número de días se reduce a 83 (DE = 58). La energía neta para ganancia en peso (ENg), se estimó con la siguiente ecuación:  $ENg = 1.42 EM - 0.174 EM^2 + 0.0122 EM^3 - 1.65$  (9).

En términos económicos, se usan los formatos cuantitativos para realizar el análisis beneficio/costo de las salidas de los modelos de simulación.

**b. Modelos de simulación.** A diferencia de los modelos de programación matemática y los formatos cuantitativos, los modelos de simulación usados en esta etapa, son modelos estocástico-determinísticos. Es decir, las variables de mayor relevancia en el modelo se estiman por medio de una función probabilística. Esto permite obtener resultados diferentes en cada corrida del modelo, dentro de una densidad de probabilidades.

Una vez que se determina la precisión del modelo, con respecto del sistema de producción-objetivo, el modelo de simulación puede utilizarse como una herramienta de análisis *ex-ante*. En este análisis se pueden modificar todos los componentes que se le hayan incorporado y también probar las propuestas de alternati-

**Cuadro 14.** Niveles de soportabilidad y producción por hectárea de algunos forrajes en el departamento de Puno (Perú), con base en energía.

Forraje	ENm/ha	Animal/ha/d	ENg/ha	DDGP
Alfalfa	7 326	1 789	2 278	278
Avena forrajera	4 554	12	1 275	156
Cebada forrajera	3 383	826	947	6
Otros pastos cultivados	6 896	1 684	1 930	236
Avena (grano)	2 334	570	606	74
Cañihua	7 003	1 710	1 514	185
Cebada (grano)	1 779	434	347	42
Haba	1 334	325	260	32
Quinua	4 254	1 039	529	65
Trigo, grano	1 920	469	413	50

EN = energía neta, Mcal.

Animal/ha/d = animal/hectárea/día.

DDGP= días de ganancia de peso, a razón de 1.2 kg/día

**Cuadro 15.** Tratamientos\* considerados en el experimento.

Tratamientos	Niveles nutricionales
T1	Pradera nativa + bofedal
T2	Pradera nativa + bofedal + suplemento en pastura (último tercio de gestación) durante 135 días
T3	Pradera nativa + bofedal + suplemento en pastura (dos últimos tercios de gestación) durante 225 días
T4	Pradera nativa + bofedal + suplemento en pastura (toda la gestación) durante 345 días

\* Modificaciones probadas en el modelo

vas que se deseen. Al final, se seleccionan aquellas cuya probabilidad de viabilidad sea mayor, tanto desde el punto de vista biológico como económico. Para mostrar el uso de esta herramienta, se presenta un ejemplo de evaluación *ex-ante*, usando un modelo de simulación de alpacas.

#### Ejemplo de evaluación ex-ante:

**Título:** "Influencia del peso al empadre sobre parámetros productivos y reproductivos en un rebaño de alpacas".

#### Objetivos:

1. Determinar el efecto del peso en el empadre y el suplemento, durante la gestación, en los parámetros productivos y reproductivos del rebaño, evaluando el porcentaje de fertilidad, peso de las crías al nacimiento y al destete, peso de las reproductoras y su producción de fibra.

2. Determinar la rentabilidad de distintos pesos en el empadre y el suplemento.

**Materiales y métodos:** En el modelo de alpacas (2) se definieron campos de pastoreo de pradera nativa y bofedal, simulando las condiciones de la comunidad campesina de Apopata, con sus respectivas tasas de crecimiento y digestibilidades. La disponibilidad inicial para la pradera nativa fue de 1000 kg de MS/ha, y para el bofedal de 1500 kg de MS/hectárea. Se utilizó una carga animal promedio de 0.8 UO/hectárea.

En un diseño de bloques completamente al azar, se evaluaron cuatro tratamientos (Cuadro 15). Los bloques fueron constituidos por los pesos iniciales de las hembras reproductoras: 49, 55, y 60 kilogramos. Cada tratamiento tuvo 100 hembras reproductoras y la carga se mantuvo constante (100 UO de 30 kg/ha). Cada tratamiento se replicó cinco veces (corridas del modelo). El análisis consistió en un análisis de variancia

Cuadro 16. Evaluación de la alimentación suplementaria durante la preñez de alpacas de diferentes pesos y su influencia sobre parámetros productivos y reproductivos.

Variable de respuesta	Peso al empadre					Tratamiento*					
	49	55	60	S $\bar{y}$	Sig.	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	S $\bar{y}$	Sig.
Peso de cría (kg)	6.6	7.0	7.6	0.3	ns	6.9	6.8	7.1	7.4	0.3	ns
Peso de lactante (kg)	49.7	55.0	60.5	0.3	**	53.3	53.8	50.7	58.5	0.4	**
Porcentaje de parición	63.4	75.1	90.7	0.6	**	72.4	75.1	76.0	82.2	0.7	**
Peso al destete (kg)	23.9	27.5	29.8	0.3	**	25.5	26.2	27.7	28.9	0.3	**
<b>Producción de fibra (kg) en:</b>											
Gestantes 1er año	0.8	0.9	1.1	0.03	**	0.9	0.9	0.9	1.1	0.03	**
Gestantes 2do año	0.8	1.0	1.2	0.03	**	0.9	0.9	1.0	1.1	0.04	*
Lactantes 2do año	0.9	1.1	1.2	0.05	**	1.0	1.0	1.1	1.2	0.05	ns

\* Tratamiento se refiere a las modificaciones probadas en el modelo  
 S $\bar{y}$  = Error estándar de la media; Sig. = Significancia;  
 ns = P>0.05; \* = P<0.05; \*\* = P<0.01

para probar los efectos de bloque, de tratamiento y la interacción de éstos. Posteriormente se realizó un análisis multivariado de variancia, considerando la interrelación existente entre las variables de respuestas, debido a que éstas fueron tomadas de los mismos individuos; por lo tanto, no sin independencia.

Además, se utilizó la prueba de Dunnett, de una sola cola, para comparar las respuestas al suplemento *versus* la respuesta al testigo. Para estimar la magnitud del efecto del peso inicial, en las variables de respuesta donde hubo efecto de bloque, se hizo un análisis de regresión simple.

Las variables medidas, para todos los tratamientos, fueron: peso de la cría al nacimiento y peso al destete, peso de las lactantes y porcentaje de parición y producción de fibra de las reproductoras y lactantes. Para determinar la cantidad de hectáreas necesarias de pastura suplementaria, se corrió el modelo pero indicando que se estime durante los días señalados de la gestación, la cantidad adicional que requiere de suplemento de pastura. Con esta información se calculó el equivalente a una pastura de suplemento.

**Resultados y discusión:** El peso inicial de las hembras reproductoras afectó la mayoría de las variables de respuesta (Cuadro 16).

El incremento (b) en las variables de respuesta por cada kilogramo de incremento en el peso de la hembra reproductora, se muestra en el Cuadro 17.

Cuadro 17. Tasa de incremento (b) de variables de respuesta por kilogramo de incremento en el peso de las hembras reproductoras.

Variable de respuesta	b	r <sup>2</sup>	P >  t
Peso lactante (kg)	0.97	0.78	0.0001
Parición (%)	2.46	0.86	0.0001
Peso al destete (kg)	0.54	0.68	0.0001
<b>Producción de fibra (kg) en:</b>			
Gestantes 1er año	0.02	0.51	0.0001
Gestantes 2do año	0.03	0.60	0.0001
Lactantes 1er año	0.03	0.41	0.0001

El mayor efecto del peso durante el empadre se muestra en la variable porcentaje de parición, donde el peso inicial de la hembra reproductora explica el 86% de la variación y se sugiere probar un peso inicial de 60 kg en la ejecución del ensayo en el campo.

Las variables de respuestas del modelo que fueron afectadas (P<0.05) por los tratamientos simulados (Cuadro 16), se debieron al incremento propiciado por el suplemento durante la gestación (T4). Esto fue demostrado por la prueba de Dunnett, de una cola (P<0.05). La única interacción grupo \* tratamiento importante (P<0.05), fue para la variable parición. Esta se debió a la respuesta diferencial del T4, como se muestra en la Fig. 5.

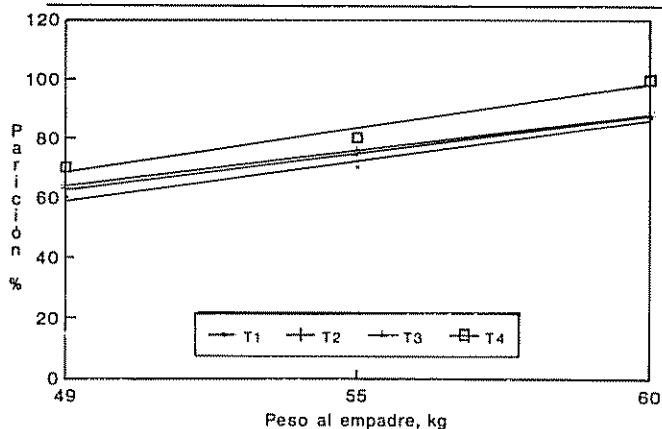


Fig. 5. Interacción grupo-tratamiento para la variable parición (ver cuadro para explicación de tratamientos).

Al considerar todas las variables de respuesta juntas, mediante el análisis multivariado de variancia, se encontró que tanto el peso inicial como los tratamientos, tuvieron efecto en la respuesta animal ( $P < 0.001$ ). La interacción fue significativa cuando se consideraron las variables asociadas con producción de carne; pero no así con aquéllas relacionadas con la producción de fibra.

La rentabilidad de la inversión (Cuadro 18), que se calculó por la relación entre la producción y la inversión —donde la producción es el ingreso de carne/hectárea más el ingreso de fibra/hectárea—, indica que en la medida que se suplementa, la rentabilidad en general disminuye. Sin embargo, la rentabilidad aumenta al incrementarse el peso al empadre, lo cual sólo se podría hacer al disminuir la presión de pastoreo. Esto implica que en condiciones reales se debe incrementar la disponibilidad de forraje o reducir la carga animal.

**Conclusiones del experimento:** Parecería que en el esquema de las comunidades campesinas y en las condiciones ecológicas de la de Apopata, al empadrear alrededor de los 49 kilos sin suplemento, se obtiene la mayor rentabilidad factible, sobre todo para aquellas familias que no disponen de capital necesario para tener pastura suplementaria. En este sistema de producción, el porcentaje de parición es de 63%; por con-

Cuadro 18. Rentabilidad de la inversión en suplemento a alpacas gestantes, usando los resultados de la simulación.

Peso de alpacas gestantes (kg)	Tratamientos			
	T1	T2	T3	T4
49	19.75	17.54	15.42	15.21
55	28.16	24.06	24.01	22.32
60	46.68	37.00	33.53	35.50

siguiente, las crías producidas se utilizan principalmente para reposición y consumo familiar, y, por ende, quedan pocas crías de bajo peso para la venta. La cosecha anual es fundamentalmente la fibra. Se sugiere evaluar en el campo el efecto del suplemento durante toda la gestación, en alpacas gestantes con peso al empadre de 60 kg, comparadas con el sistema tradicional en alpacas del mismo peso.

En resumen, se han mostrado diversas herramientas de análisis de datos útiles en las diferentes etapas del trabajo en sistemas. La aplicación de éstas está en función del tipo de dato obtenido y el objetivo del trabajo realizado. En algunos casos el uso de descriptores estadísticos es suficiente. Sin embargo, hay situaciones donde se requieren otras técnicas más elaboradas como el análisis de regresión, técnicas multivariadas de clasificación o el análisis de variancia combinados en el tiempo y/o el espacio.

### LITERATURA CITADA

- AGUILAR, C.; CAÑAS, R. 1980. Algunas consideraciones del uso de análisis de sistemas en ciencias agrícolas. *Ciencia Interamericana (OEA)* 10(1-2): 8.
- ARCE, B. 1989. Análisis del sistema de producción de alpacas en pequeños productores de Puno, Perú. Tesis Mag. Sc. Santiago, Chile, Programa de Posgrado de la Facultad de Agronomía, Departamento de Zootecnia, Pontificia Universidad Católica de Chile. 222 p.
- ARZE, J.; VALDIVIA, R. 1990. Desarrollo de modelos para la transferencia de agrotecnología en el altiplano peruano. In Reunión de Perspectiva de la Investigación en el Altiplano en el Corto y Mediano Plazo. A. Arguelles (Ed.). Lima, Perú. 18 p. (En prensa).
- BARTLETT, M.S. 1937. Properties of sufficiency and statistical tests. *Proceedings of the Royal Society of Agriculture (U.K.)* 160: 268.
- CCAMA, F. 1990. Estructura y evolución de la producción agropecuaria en el departamento de Puno, período 1970-1988. Publicaciones del PISA-INIAA. Serie Técnica Estudio Técnico no. 1. p. 1-3.
- HARTLEY, H.O. 1950. The maximum F-ratio as a short-cut test for heterogeneity of variance. *Biometrika (U.K.)* 37:308.
- HOTELLING, H. 1933. Analysis of a complex of statistical variables into principal components. *Journal of Educational Psychology* 24:417-441, 498-520.
- MORRISON, D.F. 1976. *Multivariate statistical methods*. New York, McGraw-Hill. 415 p.

- 
9. NATIONAL RESEARCH COUNCIL. 1984. Nutrient requirements of beef cattle. 6 ed. rev. Washington, D.C., National Academy Press. 90 p.
  10. PEARSON, K. 1901. On lines and planes of closest fit to systems of points in space. *Philosophical Magazine* 6(2):559.
  11. QUIROZ, R.; ARCE, B.; CAÑAS, R.; AGUILAR, C. 1990. Desarrollo y uso de modelos de simulación en la investigación de sistemas de producción animal. In Reunión General de RISPAL (IX., 1990, San José, C.R.). Informe. M. Ruiz y A. Ruiz (Eds.). San José, C.R., IICA-RISPAL. (En prensa).
  12. QUIROZ, R. 1990. Aspectos relevantes en el diseño, análisis y presentación de experimentos y estudios agropecuarios. Publicaciones del INIAA-PISA Serie Técnica. Estudio Técnico no. 1. p. 1-36.
  13. RAWLINGS, J. 1989. Applied regression analysis. North Carolina State University. 260 p. (En prensa).
  14. SATTERTHWAITTE, F.E. 1946. An approximate distribution of estimates of variance components. *Biometrics* (EE.UU.) 2:0-4.
  15. SHANNON, R. 1975. Systems simulation: the art and science. New York, Prentice Hall. 387 p.
  16. SMITH, H.F. 1938. An empirical law describing heterogeneity in the yields of agricultural crops. *Journal of Agricultural Science* (U.K.) 28:1-23.
  17. STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM 1988. SAS/STAT User's guide. Release 6.03 edition. Cary, North Carolina, EE.UU., SAS Institute. 1029 p.
  18. STEEL, R.G.; TORRIE, J.H. 1980. Principles and procedures of statistics: A biometrical approach. New York, McGraw-Hill. 394 p.