

Application of categorical principal component analysis in the study of ovine production systems in Ciego de Ávila province

Aplicación del análisis de componentes principales categóricos en el estudio de los sistemas de producción de ovinos en la provincia Ciego de Ávila

Verena Torres Cárdenas¹, J. O. Serrano Torres², J. Martínez Melo², N. Fonseca Fuentes³,
Angela Borroto Pérez² and C. A. Mazorra Calero²

¹Instituto de Ciencia Animal, Apartado Postal 24, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba

²Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez (UNICA),
Carretera a Morón, km 9 ½. CP: 69450, Ciego de Ávila, Cuba

³Centro de Estudio de Producción Animal (CEPA), Universidad de Granma (UDG), carretera de Manzanillo km 17 ½
CP: 85100, Granma, Cuba

Email: vtorres@ica.co.cu

Verena Torres Cárdenas: <http://orcid.org/0000-0002-7451-8748>

J.O. Serrano Torres: <http://orcid.org/0000-0003-1710-6322>

J. Martínez Melo: <http://orcid.org/0000-0003-4767-974>,

N. Fonseca Fuentes: <http://orcid.org/0000-0001-6635-3165>

Angela Borroto Pérez: <http://orcid.org/0000-0001-9261-3995>

C. Mazorra Calero: <http://orcid.org/0000-0002-3431-9824>

The application of categorical principal component analysis is presented, with 22 qualitative variables measured in the study of ovine production systems in Ciego de Ávila province. The mathematical description of the method is stated using the loss function that is minimized by applying alternating least squares, which contemplate the transformation of any qualitative variable into variables of quantitative nature through optimal scaling. Cronback coefficient was used to measure the reliability of the questionnaire. Crossover tables were determined to verify the association among variables using the contingency coefficient, which is based on χ^2 and its significance. All the processes were carried out using the IBM-SPSS program, version 22. The application of the categorical principal components analysis allowed to identify categorical variables that explained the greatest variance in ovine production system in Ciego de Ávila province.

Key words: *Qualitative variation, production systems, multivariable analysis*

Programs of extension and technological innovation in agriculture allow the transformation of productive systems, taking into account different factors that influence agricultural production. Currently, these studies are accompanied by the application of surveys that address quantitative and qualitative aspects of systems in which results are introduced.

According to the National Office of Statistics and Information (2020), Cuban ovine production is mostly developed in the eastern and central region, with 55.7 and 31.4 % of total heads, respectively. Extensive grazing predominates in breeding systems of this species and natural pastures, with poor nutritional value and low productive yields, as a basic

Se presenta la aplicación del análisis de componentes principales categórico, con 22 variables cualitativas medidas en el estudio de los sistemas de producción de ovinos en la provincia Ciego de Ávila. Se expone la descripción matemática del método utilizando la función de pérdida que se minimiza al aplicar los mínimos cuadrados alternantes, que contemplan la transformación de cualquier variable cualitativa en variables de naturaleza cuantitativa a través del escalamiento óptimo. Se utilizó el coeficiente de Cronback para medir la fiabilidad del cuestionario. Se determinaron las tablas cruzadas para comprobar la asociación entre las variables mediante el coeficiente de contingencia, que se basa en χ^2 y su significación. Todos los procesamientos se realizaron mediante el IBM-SPSS, versión 22. La aplicación del análisis de componentes principales categórico permitió identificar las variables categóricas que mayor varianza explicaron en el sistema de producción de ovinos en la provincia Ciego de Ávila.

Palabras clave: *Variable cualitativa, sistemas de producción, análisis multivariado*

Los programas de extensión e innovación tecnológica en la agricultura permiten la transformación de sistemas productivos, al tener en cuenta los diferentes factores que influyen en la producción agropecuaria. En la actualidad, estos estudios se acompañan de la aplicación de encuestas que abordan los aspectos cuantitativos como cualitativos de los sistemas en los que se introducen los resultados.

Según la Oficina Nacional de Estadística e Información (2020), la producción ovina en Cuba se encuentra mayormente en la región oriental y central, con 55.7 y 31.4 %, de las cabezas totales, respectivamente. En los sistemas de crianza de esta especie predomina el pastoreo extensivo y como dieta básica los pastos naturales, con pobre valor nutritivo y bajos rendimientos productivos

diet (Herrera *et al.* 2020). Sheep raising in Ciego de Ávila province is very important for farmers and their families, as it serves mainly for meat consumption, and as an alternative way to obtain economic income through animal sales. It is characterized by presenting integral herds with all categories of animals, up to 20 and between 20 and 40 sheep (Borroto *et al.* 2011), and requires the application of technologies that contribute to the sustainable development of the breeding of this species.

In ovine production systems, technological options that contribute to animal welfare should be used under tropical conditions, increasingly affected by high temperatures and relative humidity, which condition heat stress and can affect feed intake, weight gain and reproductive performance, as well as physiological and biochemical parameters (Macías-Cruz *et al.* 2018 and Vicente *et al.* 2020). In this sense, the transformation of the microclimate in silvopastoral systems has an important role in regulating solar radiation (López-Vigoa *et al.* 2017) and promoting thermal well-being (Sousa *et al.* 2015). However, in the region, grazing systems for sheep may or may not be associated with different trees species. These systems are not characterized by their different components, which would allow the interpretation of factors that can affect ovine production and would serve as a basis for designing improvement strategies.

For characterizing production systems, methods for data collecting from surveys are used. Most of questions (items) have qualitative answers, so the methods to be used must be adequate for these types of variables. According to Navarro *et al.* (2010), in social research, data sets that reflect some quality or category are mainly involved, and may contain a mixture of different types of variables, many of which are measured in categories, ordered or not.

The use of multivariate techniques is a way that jointly analyzes the variables that are measured for comprehensive responses to the different questions in the surveys. In Cuba, recently, the statistical model for measuring impact (Torres *et al.* 2008, 2013), based on the combination of principal component analysis (PCA) with cluster analysis, has been used for characterizing food with forages in dairy farms in Florencia municipality (Martínez-Melo *et al.* 2020). It was utilized for determining the incidence of livestock practices on the productivity of herds (Benítez *et al.* 2016), as well as to analyze the efficiency of milk production on farms of cooperative and farmer sector (Alonso *et al.* 2020). It is also applied in measuring impact of biomass banks (Gudiño *et al.* 2020), with the use of quantitative variables.

Nonlinear principal component analysis or categorical principal component analysis (CATPCA) is the analogous multivariate method for analyzing qualitative variables. Like PCA, it seeks to maximize

(Herrera *et al.* 2020). La crianza de ovinos en la provincia Ciego de Ávila es de gran importancia para los productores y sus familias, por servir principalmente para el consumo de carne, y como una vía secundaria para la obtención de ingresos económicos por venta de animales. Se caracteriza por presentar rebaños integrales con todas las categorías de animales, de hasta 20 y entre 20 y 40 ovinos (Borroto *et al.* 2011), y requiere la aplicación de tecnologías que contribuyan al desarrollo sostenible de la crianza de esta especie.

En los sistemas de producción de ovinos se deben utilizar opciones tecnológicas que contribuyan al bienestar animal en las condiciones tropicales, cada vez más afectadas por las altas temperaturas y humedad relativa, que condicionan estrés por calor y que pueden afectar el consumo de alimento, la ganancia de peso y el comportamiento reproductivo, como parámetros fisiológicos y bioquímicos (Macías-Cruz *et al.* 2018 y Vicente *et al.* 2020). En este sentido, la transformación del microclima en sistemas silvopastoriles desempeña una función importante para regular la radiación solar (López-Vigoa *et al.* 2017) y favorecer el bienestar térmico (Sousa *et al.* 2015). Sin embargo, en la región, los sistemas de pastoreo para los ovinos pueden o no encontrarse asociados con árboles de diferentes especies. Estos sistemas no se encuentran caracterizados desde sus diferentes componentes, lo que permitiría interpretar los factores que pueden afectar la producción ovina y serviría como base para el diseño de estrategias de mejora.

En la caracterización de los sistemas productivos se utilizan métodos para la recolección de información a partir de encuestas. La mayoría de las preguntas (ítems) dan lugar a respuestas que son de tipo cualitativo, por lo que los métodos a utilizar deben ser adecuados para este tipo de variables. Según Navarro *et al.* (2010), en las investigaciones de corte social intervienen, fundamentalmente, conjuntos de datos que reflejan alguna cualidad o categoría y pueden contener una mezcla de diferentes tipos de variables, muchas de las cuales están medidas en categorías, ordenadas o no.

El uso de las técnicas multivariadas es una vía que analiza de forma conjunta las variables que se miden para respuestas integrales a las diferentes interrogantes de los cuestionarios. En Cuba, en los últimos años, el modelo estadístico de medición de impacto (Torres *et al.* 2008, 2013), basado en la combinación del análisis de componentes principales (ACP), con el análisis de conglomerados ha sido utilizado para caracterizar la alimentación con el uso de forrajes en fincas lecheras del municipio Florencia (Martínez-Melo *et al.* 2020), para determinar la incidencia de las prácticas ganaderas en la productividad de los rebaños (Benítez *et al.* 2016), así como para analizar la eficiencia de la producción de leche en las fincas de productores del sector cooperativo y campesino (Alonso *et al.* 2020). También se aplica en la medición del impacto de los bancos de biomasa (Gudiño *et al.* 2020), con la utilización de variables cuantitativas.

total variance of the first principal components, transforming qualitative variables into quantitative variables, by maximizing correlations among all variables and allowing the existence of linear relationships among them and preserving variable measurement level (nominal, multiple nominal, ordinal and interval), as well as reducing system dimensionality through optimal scaling, first described by Gifi (1990, cit. by Linting 2007).

The objective of this study was to show the use of CATPCA with qualitative variables, measured in the study of sheep production systems in Ciego de Ávila province.

Materials and Methods

The study was carried out in Ciego de Ávila province, located in the central region of the country, with a surface area of 6,971.64 km² and a land area of 6,194.90 km². It limits to the north with Bahamas channel and the Bahías de Los Perros and Buena Vista are located on its insular platform, bordered by some keys that form the Sabana - Camagüey archipelago, including Cayo Coco and Cayo Guillermo with 776.74 km². To the south, it limits with the Caribbean Sea, where there is a vast platform occupied by the Ana María Gulf, numerous keys with 776.74 km² and a key line that is part of the Jardines de la Reina archipelago. The main economic activities of this province are agriculture, livestock, forestry and tourism.

According to Sorí *et al.* (2017), Ciego de Ávila is characterized by very hot summers and short winters. During the course of the year, temperature generally ranges from 18 °C to 33 °C, and rarely drops below 14 °C, or rises above 36 °C, with winds from the east to northeast from Cayo Coco to Júcaro. Accumulated mean monthly precipitation is in a range between 20 and 230 mm, depending on the rainy period (May-October) and dry (November-April). Relative humidity fluctuates from 72 to 85 % during the year. The Júcaro-Morón plain occupies most of the territory, made up of flat, gently rolling and hilly plains. The different types of soils that are presented are related to topography, being predominantly those of red ferralitic type, deep and with good drainage.

According to Serrano *et al.* (2020), in Ciego de Ávila province, there are 53 403 total sheep heads. The study sample was composed by 296 sheep farmers, 74 of them belonging to the state sector and 222 from the private sector. An amount of 22 qualitative variables were registered, contained in a survey applied to sheep farmers of the province, distributed in the three regions and in the ten municipalities (figure 1).

Table 1 shows the names of variables, their characteristics and types.

Mathematical description of the CATPCA. The description presented has been described by Morales (2004) and Navarro *et al.* (2010). The starting point

El análisis de componentes principales no lineal o el análisis de componentes principales categórico (ACPcat) es el método multivariado análogo para analizar variables cualitativas. Al igual que el ACP, busca maximizar la varianza total de las primeras componentes principales, transformando las variables cualitativas en cuantitativas, al maximizar las correlaciones entre todas las variables y permitir la existencia de relaciones lineales entre ellas y preservar el nivel de medida de las variables (nominal, nominal múltiple, ordinal y de intervalo), así como reducir la dimensionalidad del sistema mediante el escalamiento óptimo, descrito por primera vez por Gifi (1990, cit. por Linting 2007).

El objetivo de este trabajo es mostrar el uso del ACPcat con variables cualitativas, medidas en el estudio de los sistemas de producción de ovinos en la provincia Ciego de Ávila.

Materiales y Métodos

El estudio se llevó a cabo en la provincia Ciego de Ávila, ubicada en la región central del país, con una extensión superficial de 6971.64 km² y un área de tierra firme de 6194.90 km². Limita al norte con el canal de Bahamas y en su plataforma insular se encuentran las bahías de Los Perros y Buena Vista, bordeadas por algunos cayos que forman el archipiélago Sabana – Camagüey, entre ellos, Cayos Coco y Guillermo con 776.74 Km². Al Sur limita con el Mar Caribe, donde se encuentra una vasta plataforma ocupada por el golfo de Ana María, numerosos cayos con 776.74 km² y una línea de cayos que forman parte del archipiélago Jardines de la Reina. Las principales actividades económicas de esta provincia son la agrícola, ganadera, forestal y turística.

Según Sorí *et al.* (2017), Ciego de Ávila se caracteriza por veranos muy calientes e inviernos cortos. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 18 °C a 33 °C, y rara vez baja a menos de 14 °C, o sube a más de 36 °C, con vientos del este al noreste desde Cayo Coco hasta Júcaro. La precipitación promedio mensual acumulada se halla en un rango de 20 a 230 mm, dependiendo del período lluvioso (mayo-octubre) y poco lluvioso (noviembre-abril) y la humedad relativa fluctúa entre 72 y 85 % en el transcurso del año. La llanura Júcaro-Morón ocupa la mayor parte del territorio, constituido por llanuras planas, suavemente onduladas y colinosas. Los diferentes tipos de suelos que se presentan están vinculados a la topografía, siendo predominantes los del tipo ferralítico rojo, profundos y de buen drenaje.

Según Serrano *et al.* (2020), en la provincia Ciego de Ávila, existen 53 403 cabezas ovinas totales. La muestra del estudio estuvo compuesta por 296 productores de ovinos, de ellos 74 pertenecientes al sector estatal y 222 del sector privado. Se registraron 22 variables cualitativas, contenidas en un cuestionario aplicado a los productores de ovinos en la provincia, distribuidos en las tres regiones y en los diez municipios (figura 1).

Los nombres de las variables, sus características y



Figure 1. North, Central and South regions of Ciego de Ávila province

Table 1. Definition of categorical variables of the survey

Name of variables	Levels	Type	Scale
Municipalities	10 *		Nominal
Region	3 North, center and south		Nominal
Educational level	5 Primary, secondary, high school, technical and university		Nominal
Gender	2 Male or female		Nominal
More than one job	2 Yes or no		Nominal
Sector (private or state)	2 State or private		Nominal
Training	2 Yes or no		Nominal
Land tenure	2 Yes or no		Nominal
EGAME contract	2 Yes or no		Nominal
Production objective	3 Sale to enterprises, self-consumption and sale to others		Nominal
Relevance degree	3 Great importance, medium importance and low importance		Nominal
Sire rotation	2 Yes or no		Nominal
Selection criteria	2 Phenotypical and reproductive characteristics		Nominal
Castration	2 Yes or no		Nominal
Registration	2 Yes or no		Nominal
Facilities	4 Very rudimentary, rudimentary, modern or has no facilities		Nominal
Trees	6 In grazing areas, in life fences, protein Banks, integration to fruit trees, has no trees		Nominal
Choraspast (classification according to grazing hours)	2 Continuous or semi-stabulated grazing		Nominal
Ctipopast (classification according to grazing type)	5 Extensive, rotational, semi-transhumance, integrated to crops and in agroforestry systems		Nominal
Grasses	2 Natural and improved		Nominal
Forages	2 Yes or no		Nominal
Supplementation	4 Vitamins and minerals, protein, byproducts and no supplementation		Nominal

*Chambas, Bolivia, Morón, Florencia, Ciro Redondo, Majagua, Ciego de Ávila, Baraguá, Venezuela and Iro de Enero

was the data matrix $H_{n \times m}$, which contains the observed scores of n cases in the m variables contained in the survey. Each variable can be denoted as the j-th column of H; h_j as a vector $n \times 1$, with $j=1, \dots, m$. If h_j variables do not have a numerical measurement level, the relationship among them is expected to be non-linear, so it is necessary to apply a non-linear transformation. The transformation of each category

tipos se muestran en la tabla 1.

Descripción matemática del ACPCAT. La descripción que se presenta ha sido descrita por Morales (2004) y Navarro *et al.* (2010). Se parte de la matriz de datos $H_{n \times m}$, la cual contiene las puntuaciones observadas de n casos en las m variables contenidas en el cuestionario. Cada variable puede ser denotada como la j-ésima columna de H; h_j como un vector $n \times 1$, con $j = 1, \dots, m$. Si las variables h_j no

obtains an optimal scaled value, called categorical quantization H , which is replaced by a matrix Q_{ij} , which contains the transformed variables $q_j = \varnothing_j(h_j)$. In the Q matrix, the observed scores of the cases are replaced by the categorical quantifications.

The CATPCA model is the same as the classical PCA, capturing the possible non-linearities of the relationships among transformation variables. The objective of the CATPCA is achieved by minimizing the so-called loss function, which accommodates weights according to multiple nominal transformations. The scores of the cases in the principal components obtained are called scores of the objects in CATPCA. These components, multiplied by a set of optimal weights, are identified as component saturations and approximate the original data as closely as possible.

If $X_{n \times p}$ is the matrix of the component scores, where p is the number of components, and $A_{m \times p}$ is the matrix of component saturations, its j -th row being indicated by a_j , the loss function (stress), which for the minimization of the difference between the original data and the principal components is expressed as:

$$L(Q, A, X) = n^{-1} \sum_{j=1}^m \text{tr}(q_j a_j' - X)'(q_j a_j' - X)$$

This loss function is subjected to a group of restrictions. First, the transformed variables are standardized, so that $q_j' q_j = n$. This restriction is necessary to solve the indeterminacy between q_j and a_j in the scale product $q_j a_j'$. This normalization implies that q_j contains z-scores and guarantees that the component saturations in a_j are correlated between variables and components. To avoid the trivial solution $A = 0$ and $X = 0$, scores of the objects are limited and it is required that $X'X = nI$, where I is the identity matrix. It is also necessary that the scores of the objects are centered. Therefore, $I'X = 0$, where I represents the unit vector.

The two previous restrictions imply that the columns of X (components) are orthonormal z-scores (their mean is zero, their standard deviation is one) and they are uncorrelated. For nonlinear levels (nominal and ordinal), $q_j = \varnothing_j(h_j)$ denote a transformation according to the level of measurement selected for variable j .

The loss function is minimized by applying the alternating least squares, cyclically updating one of the parameters X , Q and A . According to Young (1972) and Portillo and Mar (2007), this methodology of alternating least squares contemplates the transformation of any qualitative variable into quantitative variables through optimal scaling.

CATPCA has relative freedom with respect to basic assumptions. Data can be measured on any scale, multiple nominal, nominal, ordinal, or interval. The technique has a good representation of linear and non-linear relationships. The most important is the

tienen nivel de medición numérico, se espera que la relación entre ellas no sea lineal, por lo que es necesario aplicar una transformación no lineal. La transformación de cada categoría obtiene un valor escalado óptimo, denominado cuantificación categórica H , la cual se reemplaza por una matriz Q_{ij} , que contiene las variables transformadas $q_j = \varnothing_j(h_j)$. En la matriz Q , las puntuaciones observadas de los casos se reemplazan por las cuantificaciones categóricas.

El modelo ACPCAT es igual al ACP clásico, capturando las posibles no linealidades de las relaciones entre las variables en las transformaciones. El objetivo del ACPCAT se alcanza al minimizar la denominada función de pérdida, que acomoda las ponderaciones de acuerdo con las transformaciones nominales múltiples. A las puntuaciones de los casos en las componentes principales obtenidas, se le denominan puntuaciones de los objetos en ACPCAT. Estas componentes, multiplicadas por un conjunto de ponderaciones óptimas, se identifican como saturaciones en componentes y aproximan los datos originales tan cerca como sea posible.

Si $X_{n \times p}$ es la matriz de las puntuaciones de las componentes, donde p es el número de las componentes, y $A_{m \times p}$ la matriz de las saturaciones en componentes, siendo su j -ésima fila indicada por a_j , la función de pérdida (estrés), que para la minimización de la diferencia entre los datos originales y las componentes principales se expresa como:

$$L(Q, A, X) = n^{-1} \sum_{j=1}^m \text{tr}(q_j a_j' - X)'(q_j a_j' - X)$$

Esta función de pérdidas está sujeta a un número de restricciones. Primero, las variables transformadas se estandarizan, a fin de que $q_j' q_j = n$. Esta restricción es necesaria para resolver la indeterminación entre q_j y a_j en el producto escalar $q_j a_j'$. Esta normalización implica que q_j contenga z-scores y garantice que las saturaciones en componentes en a_j estén correlacionadas entre las variables y las componentes. Para evitar la solución trivial $A = 0$ y $X = 0$, las puntuaciones de los objetos se limitan y se requiere que $X'X = nI$, donde I es la matriz identidad. Se necesita además, que las puntuaciones de los objetos estén centradas, por lo tanto $I'X = 0$, donde I representa el vector unidad.

Las dos restricciones anteriores implican que las columnas de X (componentes) son z-scores ortonormales (su media es cero, su desviación estándar es uno) y están incorrelacionadas. Para los niveles no lineales (nominal y ordinal), $q_j = \varnothing_j(h_j)$ denotan una transformación acorde con el nivel de medición seleccionado para la variable j .

La función de pérdida se minimiza al aplicar los mínimos cuadrados alternantes, actualizando cíclicamente uno de los parámetros X , Q y A . Según Young (1972) y Portillo y Mar (2007), esta metodología de mínimos cuadrados alternantes contempla la transformación de cualquier variable cualitativa en variables de naturaleza cuantitativa mediante el escalamiento óptimo.

El ACPCAT posee una relativa libertad respecto a supuestos básicos. Los datos pueden estar medidos en cualquier escala, nominal múltiple, nominal, ordinal o de

existence of association and/or covariation among variables.

Cronback coefficient was used for measuring survey reliability (Dominguez-Lara and Merino-Soto 2015) using the formula:

$$\text{Alpha of Cronback} = \alpha = \frac{K}{K - 1} \left[1 - \frac{\sum S_i^2}{S^2_T} \right]$$

Where:

- K: number of items
- S_i: variances of each item
- S_{2T} = total variance

Statistical processing was performed using the cross-table procedure to check the association among variables through contingency coefficient, based on χ^2 and its significance. The optimal scaling for the nominally scaled variables, since they have a small number of categories (Navarro *et al.* 2010), was conducted using the CATPCA procedure in the IBM-SPSS program, version 22 (2013).

Results and Discussion

To state the existing correlations among different variables, contingency coefficients were determined according to χ^2 , specific for nominal variables. Table 2 shows the percentages of coefficients, which were significant (P < 0.05; P < 0.01 and P < 0.001) for each.

intervalo. La técnica representa bien las relaciones lineales como las no lineales. Lo importante es la existencia de asociación y/o covariación entre las variables.

Se utilizó el coeficiente de Cronback para medir la fiabilidad del cuestionario (Dominguez-Lara y Merino-Soto 2015) mediante la fórmula:

$$\text{Alfa de Cronback} = \alpha = \frac{K}{K - 1} \left[1 - \frac{\sum S_i^2}{S^2_T} \right]$$

- K: el número de ítems
- S_i: varianzas de cada ítem
- S_{2T} = varianza total

El procesamiento estadístico se realizó mediante el procedimiento de tablas cruzadas para comprobar la asociación entre variables mediante el coeficiente de contingencia, basado en χ^2 y su significación, y el escalamiento óptimo para las variables escaladas de forma nominal, ya que poseen un número pequeño de categorías (Navarro *et al.* 2010) mediante el procedimiento ACPCAT en el programa IBM-SPSS, versión 22 (2013).

Resultados y Discusión

Para conocer las correlaciones existentes entre las diferentes variables se determinaron los coeficientes de contingencia según χ^2 , específicos para variables nominales. En la tabla 2 se muestran los porcentajes de los coeficientes que fueron significativos (P < 0.05; P < 0.01 y P < 0.001) para cada una de ellas.

Table 2. Percentage of significant relationships for variables

Variables	%
Municipality	71
Region	52
Educational level	95
Gender	33
More than one job	76
Sector (private or state)	86
Training	76
Land tenure	81
EGAME contract	86
Production objective	90
Relevance degree	67
Sire rotation	90
Selection criteria	24
Castration	76
Registration	81
Facilities	95
Trees	86
Choraspast	76
Ctipopast	81
Grasses	76
Forages	71
Supplementation	71

Most of variables had percentages of significant relationships superior to 71, only the variables region, gender, relevance degree and selection criteria had low percentages, lower than 70, so they could be eliminated. However, they were maintained in the first analysis.

The first step in the development of the CATPCA is the normalization method, called principal by variables, which objective is to optimize the association among variables. The coordinates of variables in the space of cases are the component saturations (correlations with principal components or dimensions and scores of objects).

Table 3 shows statistics of the solution with all variables, which include the recorded variance and losses in the first and last iteration for a convergence level that is established, which is 0.0001 in this case.

Table 3. Iteration history

Number of iteration	Contabilized variance for		Losses		
	Total	Increase	Total	Centroid coordinates	Centroid restriction in vector coordinates
0 ^a	12.632	0.002	97.368	94.804	2.564
58 ^b	13.931	0.000009	96.069	94.454	1.615

The iterative algorithm stopped when the difference of total fit between the last two iterations was lower than the pre-set convergence value, which was reached in iteration 58. The explained variance was 13.93, with an increase of 000009 and a loss of 96.069 for a five-dimensional model, since the CATPCA, like its counterpart PCA for numerical variables, allows to generate as many dimensions as variables are included. However, its fundamental objective is dimension reduction, so the summary of the model fitted for these dimensions is shown in table 4.

La mayoría de las variables tuvieron porcentajes de relaciones significativas superiores a 71, solo las variables región, sexo, grado de importancia y criterios de selección tuvieron porcentajes bajos, inferiores a 70, por lo que se pudieran eliminar. No obstante, se mantuvieron en el primer análisis.

El primer paso en la desarrollo del ACPCAT es el método de normalización, denominado principal por variables, cuyo objetivo es optimizar la asociación entre las variables. Las coordenadas de las variables en el espacio de los casos son las saturaciones en componentes (las correlaciones con las componentes principales o dimensiones y las puntuaciones de los objetos).

En la tabla 3 se muestran las estadísticas de la solución con todas las variables, que incluyen la varianza contabilizada y las pérdidas en la primera y última iteración para un nivel de convergencia que se

establezca, en este caso 0.0001.

El algoritmo iterativo se detuvo cuando la diferencia del ajuste total entre las dos últimas iteraciones fue menor que el valor de convergencia prefijado, que se alcanzó en la iteración 58. La varianza explicada fue de 13.93, con incremento de 000009 y pérdida de 96,069 para un modelo de cinco dimensiones, ya que el ACPCAT, al igual que su homólogo ACP para variables numéricas, permite generar tantas dimensiones como variables se incluyen. Sin embargo, su objetivo fundamental es la reducción de dimensiones, por lo que se muestra el resumen del modelo

Table 4. CATPCA model fit for five dimensions

Dimension	Cronbach alpha	Contabilized variance for	
		Total (self-value)	% of variance
1	0.864	5.708	25.946
2	0.699	3.004	13.656
3	0.596	2.318	10.537
4	0.374	1.557	7.075
5	0.268	1.343	6.107
Total	0.972	13.931	63.321

Total percentage of variance explained by the first five dimensions is 63.32 %, which can be considered as adequate. Vázquez *et al.* (2017) found a value of 61.409, when conducting a study in the Empresa Pecuaria Valle del Perú, in San José de las Lajas municipality, where they included quantitative variables. The table also shows the value of Cronbach alpha coefficient (0.972),

ajustado para estas dimensiones en la tabla 4.

El porcentaje total de la varianza explicada por las cinco primeras dimensiones es de 63.32 %, que se puede considerar como adecuado. Vázquez *et al.* (2017) encontraron un valor de 61.409, al realizar un estudio en la Empresa Pecuaria Valle del Perú, del municipio San José de las Lajas, donde incluyeron variables cuantitativas.

which indicates a high internal consistency of data and a highly reliable scale.

Despite the great diffusion of this coefficient, Ventura-León and Caycho-Rodríguez (2017) have criticized it, since they state that it has limitations as it is affected by the number of questions, the number of alternative answers and the proportion of the variance of the test, proposing the Omega coefficient (ω) instead, as reported by Domínguez-Lara and Merino-Soto (2015). It is then proposed by Domínguez-Lara (2016), the coefficient H, which functions as an estimate of reliability of the survey and is interpreted as the variability percentage of the latent variable, explained by the indicators. This author concludes that H is a complementary measure, which can be helpful in analytical processes aimed at reporting psychometric properties of assessment instruments. According to this researcher, although some methodological developments remain pending, it is an interesting alternative in the analytical framework of structural equation models. However, in the present study, it is considered that Cronbach coefficient can be used, since the original variables will not be replaced by the selected factors.

The five selected dimensions have eigenvalues superior to the unity (table 4). These values are equivalent to those of the classic PCA, and warn about the percentage of information retained in each dimension, in which the latent root criterion helps to select those factors with eigenvalues, superior to the unity and positive Cronbach coefficients in each dimension. Although the last two dimensions have a Cronbach value close to zero and an eigenvalue close to one, their inclusion will be decided in the matrix of weights or saturations.

Saturation matrix is a correlation matrix, which considers dimensions in columns and transformed initial variables in rows. Each coefficient inside the matrix measures the relationship between a variable and the dimension and it is interpreted as a correlation coefficient, which assumes values between -1 and 1. Variables with high saturations in a dimension (independent of the sign) are indicators of association between variable and dimension. The maximum value of weights is one and corresponds to a variable which variability is fully explained by the dimension. The minimum number zero indicates that the variable has no relation to the dimension. Finally, the dimension is identified with a label, according to the highest coefficients it contains (table 5).

To carry out a detailed analysis of these results, the first decision to make is about the magnitude to be established as the positive inferior limit or negative superior limit, or both, for the selection of variables that influence the most on the explanation of each dimension. As this value indicates the correlation in each dimension with the variables, it is logical to analyze the variables

La tabla también muestra el valor del coeficiente Alfa de Cronbach (0.972), que indica una elevada consistencia interna de los datos y escala altamente fiable.

A pesar de la gran difusión que tiene este coeficiente, Ventura-León y Caycho-Rodríguez (2017) lo han criticado, ya que plantean que tiene limitaciones al estar afectado por el número de preguntas, el número de alternativas de respuesta y la proporción de la varianza del test, proponiendo en su lugar el coeficiente Omega (ω), según refieren Domínguez-Lara y Merino-Soto (2015). Se propone entonces por Domínguez-Lara (2016), el coeficiente H, que funciona como una estimación de la confiabilidad del cuestionario y se interpreta como el porcentaje de la variabilidad de la variable latente, explicada por los indicadores. Este autor concluye que H es una medida complementaria, que puede ser de ayuda en los procesos analíticos orientados al informe de las propiedades psicométricas de los instrumentos de evaluación. Según señala, aunque algunos desarrollos metodológicos quedan pendientes, es una alternativa interesante en el marco analítico de los modelos de ecuaciones estructurales. Sin embargo, en el presente estudio se considera que el coeficiente de Cronbach se puede utilizar, debido a que no se van a sustituir las variables originales por los factores seleccionados.

Las cinco dimensiones seleccionadas poseen valores propios mayores que la unidad (tabla 4). Dichos valores son equivalentes a los propios del ACP clásico, y advierten sobre el porcentaje de información retenida en cada dimensión, donde el criterio de raíz latente ayuda a seleccionar aquellos factores con valores propios, mayores que la unidad y coeficientes de Cronbach positivos en cada dimensión. Aunque las dos últimas dimensiones poseen valor Cronbach cercano a cero y valor propio cercano a uno, su inclusión se decidirá en la matriz de pesos o saturaciones.

La matriz de saturaciones es una matriz de correlaciones, que considera en las columnas las dimensiones, y en las filas las variables iniciales transformadas. Cada coeficiente en el interior de la matriz mide la relación entre una variable y la dimensión y se interpreta como coeficiente de correlación, que asume valores entre menos uno y uno. Variables con saturaciones altas en una dimensión (independiente del signo) son indicadores de asociación entre variable y dimensión. El valor máximo de los pesos es uno y corresponde a una variable cuya variabilidad se explica totalmente por la dimensión. El número mínimo cero indica que la variable no tiene relación con la dimensión. Por último, la dimensión se identifica o bautiza con una etiqueta, según los coeficientes más altos que posea (tabla 5)

Para realizar un análisis detallado de estos resultados, la primera decisión a tomar es acerca de la magnitud a establecer como límite inferior positivo o límite superior negativo, o ambos, para la selección de las variables que más influyen en la explicación de cada dimensión. Como este valor indica la correlación en cada dimensión con las variables, es lógico analizar las variables que poseen

Table 5. Saturation matrix of the fitted model

Variables (items)	Dimensions				
	1	2	3	4	5
Municipality	0.01	0.85	0.07	-0.39	0.27
Region	0.02	0.82	0.07	-0.39	0.28
Educational level	0.71	-0.08	0.03	-0.12	0.23
Gender	0.15	-0.13	-0.15	-0.04	0.13
More than one job	-0.53	-0.02	-0.56	-0.15	0.32
Sector (private or state)	0.74	-0.18	-0.01	-0.20	0.26
Training	0.42	-0.34	-0.32	-0.30	0.14
Land tenure	0.64	0.20	0.59	-0.14	-0.28
EGAME contract	-0.65	0.04	-0.29	-0.41	-0.41
Production objective	0.66	-0.07	0.23	0.40	0.41
Relevance degree	0.16	0.46	0.23	0.17	-0.24
Sire rotation	0.43	-0.71	-0.06	-0.02	-0.10
Selection criteria	-0.15	-0.18	0.11	0.31	-0.10
Castration	0.48	-0.07	-0.28	0.08	-0.28
Registration	0.76	-0.26	-0.03	-0.27	0.25
Facilities	0.49	0.38	-0.31	0.12	0.02
Trees	-0.01	0.39	-0.22	0.63	0.20
Choraspast	-0.41	-0.33	0.41	-0.20	0.25
Ctipopast	-0.65	-0.14	-0.58	0.09	0.28
Grasses	-0.56	-0.37	0.49	-0.08	0.23
Forages	0.64	0.07	-0.40	-0.24	-0.12
Supplementation	-0.57	-0.07	0.43	0.01	0.22

that have low saturations in each dimension and the dimension with low saturation coefficients in most of the variables

The variables gender, relevance degree and selection criteria had the lowest saturation in all dimensions, and they also had the lowest percentages of relationship with the rest of variables (table 1). Municipality and region have similar coefficients, which seems to indicate that both explain farm location. Finally, dimension five has a Cronbach coefficient closer to zero, which is why these variables and said dimension are eliminated. In this regard, Morales (2004) stated that it should not be forgotten that the fundamental objective of the method is to reduce information. Results are shown in table 6.

bajas saturaciones en cada dimensión y la dimensión con bajos coeficientes de saturación en la mayoría de las variables.

Las variables sexo, grado de importancia y criterio de selección son las de más baja saturación en todas las dimensiones, y fueron además las que tuvieron más bajos porcentajes de relación con el resto de las variables (tabla 1). El municipio y la región poseen coeficientes similares, lo que parece indicar que ambas explican la ubicación de las fincas. Por último, la dimensión cinco posee coeficiente de Cronbach más cercano a cero, razón por la cual se eliminan estas variables y dicha dimensión. Al respecto, plantea Morales (2004) que no se debe olvidar que el objetivo fundamental del método es reducir información. Los resultados se muestran en la tabla 6.

Table 6. CATPCA model, fitted for four dimensions

Dimension	Cronbach alpha	Contabilized variance for	
		Total (self-value)	% of variance
1	0.873	5.704	31.690
2	0.609	2.353	13.073
3	0.589	2.255	12.528
4	0.318	1.428	7.936
Total	0.969	11.741	65.227

This model, with the eliminated variables and with four dimensions, reaches 65.23 % of the total explained variance, which is higher than the five-dimensional model (63.32). The first dimension explains more than 30 % of variability, while the second, third and fourth explain the remaining 30 %. Saturations for the model with four dimensions are presented in table 7.

En este modelo, con las variables eliminadas y con cuatro dimensiones se alcanza 65.23 % de la varianza total explicada, que es superior al modelo de cinco dimensiones (63.32). La primera dimensión explica más del 30 % de la variabilidad, mientras que la segunda, tercera y cuarta explican el 30 % restante. Las saturaciones para el modelo con cuatro dimensiones se presentan en la tabla 7.

Table 7. Saturation matrix of the fitted model with four dimensions

Variables	Dimensions			
	1	2	3	4
Municipality	0.171	0.729	-0.270	0.047
Educational level	0.717	-0.071	0.100	-0.151
More than one job	-0.541	-0.455	-0.344	0.227
Sector (private or state)	0.738	-0.250	0.172	-0.104
Training	0.411	-0.575	0.022	-0.039
Land tenure	0.649	0.461	0.339	0.386
EGAME contract	-0.655	-0.260	-0.195	0.578
Production objective	0.648	0.206	0.178	-0.592
Sire rotation	0.426	-0.532	0.363	-0.011
Castration	0.476	-0.237	-0.205	0.101
Registration	0.756	-0.308	0.205	-0.061
Facilities	0.522	0.121	-0.450	-0.031
Trees	-0.076	0.323	-0.450	-0.523
Choraspast	-0.403	-0.108	0.614	-0.088
Ctipopast	-0.663	-0.442	-0.350	-0.348
Grasses	-0.549	0.004	0.659	-0.150
Forages	0.627	-0.320	-0.315	0.221
Suplementacion	-0.575	0.175	0.431	-0.129

In dimension one there is a representation of the educational level, more than one job, private or state sector, land tenure, EGAME contract, production objective, registration, facilities, ctipopast, forages and supplementation, with the selection of saturation values superior to 0.50. These variables characterize sheep production systems in the province and it is important to note that those with negative signs are related to land tenure and supplementation. This may be explained by the type of grazing system, since semi-transhumant grazing is developed in 30 % and the extensive in 68 %. Farmers with land predominate (69 %), although 50 % use it for other purposes, such as agricultural crops and livestock. Likewise, there is an absence of supplementation and forages in 70.6 and 87.2 % of the productive systems, respectively.

Dimension two relates municipalities, training and sire rotation system. The latter with negative signs, which seems to indicate the differences among municipalities, according to these variables. This is related to the inclusion of new farmers who have not been trained. In addition, 50 % of the municipalities benefited from a training project developed during 2018. In this sense,

En la dimensión uno existe una representación del nivel escolar, pluriempleo, sector privado o estatal, tenencia de tierras, contrato EGAME, objetivo de producción, registro, instalaciones, ctipopast, forrajes y suplementación, con la selección de valores de saturación superiores 0.50. Estas variables caracterizan los sistemas de producción de ovinos en la provincia y es importante señalar que aquellas con signos negativos se relacionan con los aspectos de tenencia de la tierra y la suplementación. Lo anterior puede estar explicado por el tipo de sistema de pastoreo, pues se desarrolla el pastoreo semitrashumante en 30 % y extensivo en 68 %. Predominan los productores con tierras (69 %), aunque 50 % la utilizan para otros fines, como cultivos agrícolas y ganadería mayor. Asimismo, existe ausencia de suplementación y de forrajes en 70.6 y 87.2 % de los sistemas productivos, respectivamente.

La dimensión dos relaciona los municipios, la capacitación y el sistema de rotación del semental. Estos últimos con signos negativos, lo que parece indicar las diferencias entre los municipios, de acuerdo con estas variables. Lo anterior se relaciona con la incorporación de nuevos productores que no se han capacitado. Además, 50 % de los municipios se beneficiaron por un proyecto de

sire rotation is affected in 69.6 % of farms, due to lack of technical criteria and training.

Dimension three relates the variables choraspast (classification of the system according to grazing hours) and the presence of natural and improved pastures, with a positive relationship, both variables with dimension. Continuous grazing systems are predominant, as well as the use of natural grasses in 96.3 and 94.3 % of the cases, respectively.

In dimension four, the variable presence of trees was located, with a negative relationship, because there is no dependence between different studied systems and the incorporation of trees. There is a lack of knowledge about the importance of including silvopastoral systems in all its variants, it is highlighted that 71.3 % of systems do not use this natural resource.

Figure 2 shows the saturation of variables in the first two dimensions. Outside of the selection, variables grasses and classification, according to grazing hours, presented the highest saturation in dimension three, and trees in dimension four.

capacitación desarrollado durante 2018. En este sentido, se afecta la rotación de los sementales en 69.6 % de las fincas, por falta de criterio técnico y capacitación.

La dimensión tres relaciona las variables choraspast (clasificación del sistema según horas de pastoreo) y la presencia de pastos naturales y mejorados, con una relación positiva, ambas variables con la dimensión. Predominan los sistemas de pastoreo continuo y la utilización de pastos naturales en 96.3 y 94.3 % de los casos, respectivamente.

En la dimensión cuatro, se ubicó la variable presencia de árboles, con una relación negativa, lo que se explica porque no hay una dependencia entre los diferentes sistemas estudiados y la incorporación de árboles. Existe un desconocimiento de la importancia de incorporar sistemas silvopastoriles en todas sus variantes, se destaca que 71.3 % de los sistemas no utilizan este recurso natural.

En la figura 2 se muestra la saturación de las variables en las primeras dos dimensiones. Fuera de la selección, las variables pastos y clasificación, según horas de pastoreo, fueron las que presentaron mayor saturación en la dimensión tres, y árboles en la cuatro.

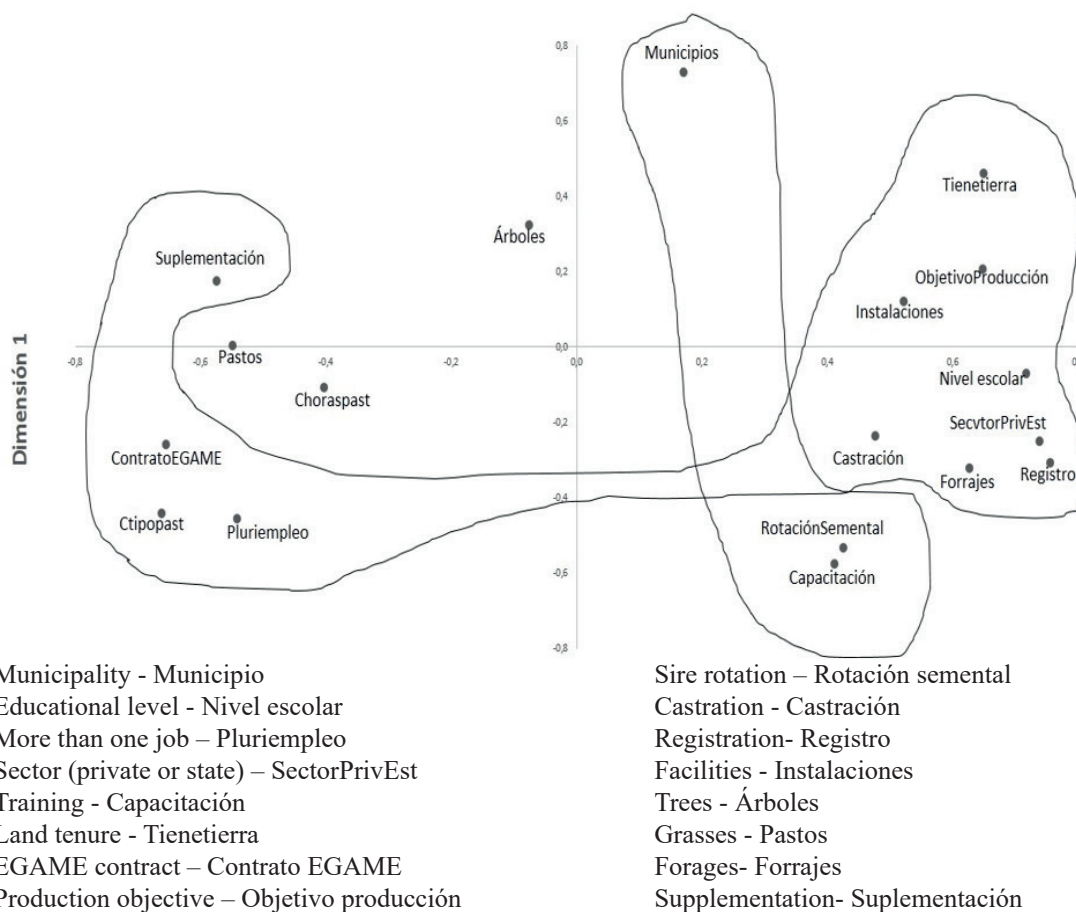


Figure 2. Saturation of variables for dimensions one and two

Conclusions

Cronbach coefficient was correctly applied to measure reliability of the survey used, since the original variables were not replaced by the selected factors.

The application of multivariate analysis using the CATPCA allowed to identify the categorical variables

Conclusiones

El coeficiente de Cronbach se aplicó correctamente para medir la fiabilidad del cuestionario utilizado, debido a que no se sustituyeron las variables originales por los factores seleccionados.

La aplicación del análisis multivariado mediante el

that explained the greatest variance in sheep production system in Ciego de Ávila province.

The most highlighted variables with the application of the CATPCA and, which fundamentally explain sheep production system, were: educational level, more than one job, sector, land tenure, EGAME contract, production objective, registration, facilities, classification according to grazing type, forages, supplementation, municipality, training, rotation system, grazing hours and presence of natural and improved grasses.

Conflict of interest

The authors declare that there are no conflicts of interests among them

Author's contribution

Verena Torres Cárdenas: Original idea, statistical analysis, writing the manuscript

J. O. Serrano Torres: Sampling, data base, data analysis

J. Martínez Melo: Sampling, data base, data analysis, writing the manuscript

N. Fonseca Fuentes: Data base, data analysis

Angela Borroto Pérez: Manuscript revision

C. A. Mazorra Calero: Data base

ACPCAT permitió identificar las variables categóricas que mayor varianza explicaron en el sistema de producción de ovinos en la provincia Ciego de Ávila.

Las variables que más peso tuvieron con la aplicación del ACPCAT y, que fundamentalmente explican el sistema productivo de ovinos, fueron: nivel escolar, pluri-empleo, sector, posesión de tierra, contrato con la EGAME, objetivo de la producción, registro, instalaciones, clasificación según tipo de pastoreo, forrajes, suplementación, municipio, capacitación, sistema de rotación, horas de pastoreo y presencia de pastos naturales y mejorados.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflicto de intereses

Contribución de los autores

Verena Torres Cárdenas: Idea original, análisis estadístico, escritura del manuscrito

J. O. Serrano Torres: Muestreo, base de dato, análisis de datos

J. Martínez Melo: Muestreo, base de dato, análisis de datos, escritura del manuscrito

N. Fonseca Fuentes: Base de dato, análisis de datos

Angela Borroto Pérez: Revisión del manuscrito

C. A. Mazorra Calero: Análisis de datos

References

- Alonso-Vázquez, A.C., Torres-Cárdenas, V., Herrera-Hernández, J.A., Iriban-Díaz, C.A. & Chongo-García, B. 2020. "Caracterización de factores que influyen en la producción de leche en fincas de usufructuarios del municipio Consolación del Sur". Cuban Journal of Agricultural Science, 54(4): 481-492, ISSN: 2079-3480.
- Benítez, D.G., Vargas, J.C., Torres, V. & Soria, S. 2016 "La incidencia de las prácticas ganaderas en la productividad de los rebaños de cría en la provincia de Pastaza de la Amazonia ecuatoriana". Avances en Investigación Agropecuaria, 20(3): 43-61, ISSN: 0188-7890.
- ONEI (Oficina Nacional de Estadística e Información). 2020. Existencia de ganado ovino y caprino. Distribución de la tierra del país y su utilización por provincias. La Habana, Cuba.
- Borroto, A., Pérez-Carmenate, R., Mazorra, C.A., Pérez-Carmenate, A., Barrabí, M. & Arencibia, A.C. 2011. "Caracterización socioeconómica y tecnológica de la producción ovina en Ciego de Ávila, región Central de Cuba (Parte I)". Pastos y Forrajes, 34(2): 199-210, ISSN: 2078-8452.
- Dominguez-Lara, S. 2016. "Evaluación de la confiabilidad del constructo mediante el coeficiente H: breve revisión conceptual y aplicaciones". Psychologia. Avances de la Disciplina, 10(2): 87-94, ISSN: 1900-2386.
- Dominguez-Lara, S. & Merino-Soto, A. M. 2015. "Por qué es importante reportar los intervalos de confianza del coeficiente Alfa de Cronbach". Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales, Niñez y Juventud, 13(2):1326-1328, ISSN: 1692-715X.
- Gudiño, R.S., Díaz-Untoria, J.A., Torres-Cárdenas, V., Retureta, C., Padilla C.R., Martínez, R. & Vega-Murillo, V.E. 2020. "Análisis del impacto de la tecnología del banco de biomasa con el pasto CT-115 en una lechería comercial representativa de la zona tropical del centro de Veracruz, México". Cuban Journal of Agricultural Science, 54(3): 299-308, ISSN: 2079-3480.
- Herrera, R.S. 2020. "Relación entre los elementos climáticos y el comportamiento de los pastos y forrajes en Cuba". Avances en Investigación Agropecuaria, 24(2): 23-38, ISSN: 0188-7890.
- Linting, M. 2007. Chapter 2: Nonlinear principal components analysis: Introduction and Application. In: Nonparametric Inference in Nonlinear Principal Components Analysis: Exploration and beyond. PhD Thesis. Leiden University, Holland, ISBN: 978-90-9022232-5.
- López-Vigoa, O., Sánchez, T., Iglesias, J.M., Lamela, L., Soca, M., Arece, J. & Milera, M. 2017. "Los sistemas silvopastoriles como alternativa para la producción animal sostenible en el contexto actual de la ganadería tropical". Pastos y Forrajes, 40(2): 83-95, ISSN: 2078-8452.
- Macías-Cruz, U., Gastélum, M.A., Avendaño-Reyes, L., Correa-Calderón, A., Mellado, M., Chay-Canul, A. & Arechiga, C.F. 2018. "Variaciones en las respuestas termoregulatorias de ovejas de pelo durante los meses de verano en un clima desértico". Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, 9(4), ISSN: 2428-6698. <http://dx.doi.org/10.22319/rmcp.v9i4.4527>.
- Martínez-Melo, J., Jordán, H., Torres, V., Fontes, D., Mazorra, C. & Serrano, J.O. 2020. "Alimentación a base de forrajes en fincas lecheras del municipio Florencia, Ciego de Ávila". Universidad & Ciencia, 9(2): 1-15, ISSN: 2227-2690.
- Morales, J.F.E. 2004. Aplicación e interpretación de técnicas de reducción de datos según Escalamiento óptimo. Bachelor Thesis. Facultad de Ciencias Sociales, Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile.

- Navarro, J.M., Casas G.M & González, E. 2010. "Análisis de Componentes Principales y Análisis de Regresión para datos categóricos. Aplicación en la Hipertensión Arterial". *Revista de Matemática: Teoría y Aplicaciones*, 17(2): 199-230, ISSN: 1409-2483. <https://doi.org/10.15517/RMTA.V17I2.2128>.
- Portillo, F. & Mar, C. 2007. *Métodos no lineales de escalamiento óptimo: Aplicación al análisis del empleo en la compañía ferroviaria MZA*. Departamento de Economía y Empresa. Facultad de Ciencias Empresariales. Universidad de la Rioja, España. ISSN: 2254-8483.
- Serrano, J.O., Mazorra, C.A. & Pérez, M.A. 2020. "Reconversión agroecológica del sistema de producción ovina del Centro de Investigación de Bioalimentos". *Universidad & Ciencia*, 9(2): 71-84, ISSN: 2227-2690.
- Sorí, R., Córdova, O., & Hernández A.A. 2017. Caracterización climática y fenómenos meteorológicos en la provincial de Ciego de Ávila. In: Informe final de proyecto: Cambio Climático. Elaboración de escenarios para el desarrollo fenológico, situación fitosanitaria de cultivos agrícolas y zonas de interés medio ambiental en Ciego de Ávila. Medidas de mitigación y adaptación. Centro Meteorológico Provincial de Ciego de Ávila, Ciego de Ávila, Cuba.
- Sousa, L.F., Maurício, R.M., Paciullo, D.S.C., Silveira, S.R., Ribeiro, R.S., Calsavara, L.H. & Moreira, G.R. 2015. "Forage intake, feeding behavior and bio-climatological indices of pasture grass, under the influence of trees, in a silvopastoral system". *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*, 3(3): 129-141, ISSN: 2346-3775. [https://doi.org/10.17138/tgft\(3\)129-141](https://doi.org/10.17138/tgft(3)129-141).
- Torres, V., Cobo, R., Sánchez, L. & Ruez, N.R. 2013. "Statistical tool for measuring the impact of milk production on the local development of a province in Cuba". *Livestock Research for Rural Development*, 25, Article #159, Available: <http://www.lrrd.org/lrrd25/9/torr25159.htm>.
- Torres, V., Ramos, N., Lizazo, D., Monteagudo, F. & Noda, A. 2008. "Modelo estadístico para la medición del impacto de la innovación o transferencia tecnológica en la rama agropecuaria". *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 42(2): 133-139, ISSN: 2079-3480.
- Vázquez, Y. 2012. *Modelación Estadística-Matemática con variables mixtas para el estudio de la sostenibilidad social en una empresa ganadera bovina*. PhD Thesis. Facultad de Ciencias Técnicas, Universidad Agraria de la Habana, Mayabeque, Cuba, p. 130.
- Vázquez, Y., Guerra, C. W., Sánchez, O. & Domínguez, L. 2017. "Aplicación del CATPCA para el estudio de la sostenibilidad de la empresa pecuaria Valle del Perú". *Investigación Operacional*, 38(1): 63-69, ISSN: 2224-5405.
- Ventura-León, J.L. & Caycho-Rodríguez, T. 2017. "El coeficiente Omega: un método alternativo para la estimación de la confiabilidad". *Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales, Niñez y Juventud*, 15(1): 625-627, ISSN: 2027-7679.
- Vicente, R., Macías, U., Avendaño, L., Correa-Calderón, A., López & M., Lara, A. 2020. "Impacto del estrés por calor en la producción de ovinos de pelo. Revisión". *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*; 11(1): 205-222, ISSN: 2428-6698. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v11i1.4923>.
- Young, F. W. 1970. "Nonmetric multidimensional scaling. Recovery of metric information". *Psychometrika*, 35:455-473 DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02291820>.

Received: June 2, 2021

Accepted: August 31, 2021