

Categorical regression model for the analysis and interpretation of statistical power

Modelo de regresión categórica para el análisis e interpretación de la potencia estadística

Walkiria Guerra¹, Magaly Herrera², Lucía Fernández¹ and Noslen Rodríguez Álvarez¹

¹Universidad Agraria de La Habana, Autopista Nacional y Carretera de Tapaste, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba

²Instituto de Ciencia Animal, Apartado Postal 24, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba

Email luzmi@infomed.sld.cu

Criteria of theoretical-practical value are established in models of analysis of variance of fixed effects (parametric and non-parametric), from an integral analysis of variables related to statistical indicators and experimental design, which includes statistical power as a dependent variable. The analyzed information was selected from independent researches, processed by the Biomathematics department from the Instituto de Ciencia Animal, developed in areas of birds, pigs, grasses and ruminants. The analyzed experiments correspond to completely randomized (CRD), balanced and random block designs (RBD). The results were processed by parametric F Fisher test and were compared with the non-parametric equivalent tests, Kruskal-Wallis and Friedman. A total of 21 experiments were selected, 16 related to the CRD and five to the RBD. For the analysis of data, a data matrix was created with the nine selected variables. It is considered, as the most outstanding result, the strong negative relation that is manifests between the power and the probability of type I error in the analysis of variance models (parametric and non-parametric). That is, at low values of the probability of type I error, high values of power. It is convenient, in future studies, to deepen in the aspects of sample size, the distribution of the variable under study and the criterion of power-efficiency (Asymptotic Relative Efficiency, ARE), in relation to the probability of type I error and the power.

Key words: *Statistical and experimental design indicators, analysis of variance parametric and non-parametric.*

Bono and Arnau (1995), when reviewing the development of the concept of a test power, point out that in the theory developed by Neyman and Pearson, from 1928 to 1933, the power of a statistical test is the probability of significant results. Their estimation, according to these authors, is determined by three basic components: sample size, level of significance (α) and size of the effect to be detected.

There are two ways to estimate the power: the prefixed (a priori) and *a posteriori*. The first shows the researcher about the sample size needed for adequate power and, to this end, power tables have been constructed. The a posteriori power is important in the interpretation of the results of completed studies, as is the case of this study, whose purpose is to alert about the conduct to be followed in future researches.

Scheffé (1959) discusses the power of the F Fisher test in analysis of variance models (ANAVA), with fixed

Se establecen criterios de valor teórico-práctico en modelos de análisis de varianza de efectos fijos (paramétricos y no paramétricos), a partir de un análisis integral de variables relacionadas con indicadores estadísticos y del diseño experimental, que incluye la potencia estadística como variable dependiente. La información analizada se seleccionó de investigaciones independientes, procesadas por el departamento de Biomatemática del Instituto de Ciencia Animal, desarrolladas en áreas de aves, cerdos, pastos y rumiantes. Los experimentos analizados se corresponden con diseños completamente aleatorizados (DCA), balanceados y de bloques al azar (DBA). Los resultados se procesaron por la dócima paramétrica F de Fisher y se compararon con las dócimas homólogas no paramétricas, Kruskal-Wallis y Friedman. Se seleccionaron 21 experimentos en total, 16 relacionados con el DCA y cinco con el DBA. Para el análisis de los datos, se conformó una matriz de datos con las nueve variables seleccionadas. Se considera, como el resultado más sobresaliente, la fuerte relación negativa que se manifiesta entre la potencia y la probabilidad de error tipo I en los modelos de análisis de varianza (paramétrico y no paramétrico). Esto es, a bajos valores de la probabilidad de error tipo I, altos valores de la potencia. Resulta conveniente, en próximos estudios, profundizar en los aspectos de tamaño de muestra, la distribución de la variable en estudio y el criterio de potencia-eficiencia (Asymptotic Relative Efficiency, ARE en inglés), en relación con la probabilidad de error tipo I y la potencia.

Palabras clave: *Indicadores estadísticos y del diseño experimental, análisis de varianza paramérico y no paramérico.*

Bono y Arnau (1995), al revisar el desarrollo del concepto de potencia de una dócima, señalan que en la teoría desarrollada por Neyman y Pearson, de 1928 al 1933, la potencia de una dócima estadística es la probabilidad de resultados significativos. Su estimación, según indican estos autores, queda determinada por tres componentes básicos: tamaño de muestra, nivel de significación (α) y tamaño del efecto a detectar.

Existen dos formas de estimar la potencia: la prefijada (a priori) y *a posteriori*. La primera le indica al investigador sobre el tamaño de muestra necesario para una potencia adecuada y, con este fin, se han construido tablas de potencia. La potencia a posteriori, es importante en la interpretación de los resultados de estudios terminados, como es el caso de este trabajo, cuyo propósito es alertar sobre la conducta a seguir en investigaciones futuras.

Scheffé (1959) aborda la potencia de la dócima F de Fisher en modelos de análisis de varianza (ANAVA), con

effects. It refers to the power tables, calculated for the values of $\alpha = 0.01$ and 0.05 , and reproduces power graphs for the F Fisher test.

Siegel and Castellan (1995), in the area of non-parametric statistics, introduce the concept of power - efficiency or Asymptotic Relative Efficiency (ARE) or efficiency of Pitman. Several authors (De Calzadilla 1999, Guerra *et al.* 2000, Christ 2001, De Calzadilla *et al.* 2002, Vásquez 2011 and Cabrera *et al.* 2012) performed empirical evaluations to assess the appropriateness of the application of analysis of variance models, parametric and non-parametric, with univariate and bivariate approaches.

Menchaca (1974, 1975), Venereo (1976), Caballero (1979) and Menchaca and Torres (1985) contributed tables of sample sizes and number of replications in analysis of variance models, associated with designs completely randomized, random blocks, Latin square and turnover design. They include the maximum standardized difference between two means (Δ), the number of treatments (t), the level of significance (α) and the power of the test ($1-\beta$). These tables represent valuable work tools for researchers from different branches. Currently, with the advance of computer science, there are statistical packages that include the calculation of power, such as InfoStat, G Power and SPSS, among others.

With the established background, it was decided to use another way of analyzing and interpreting the statistical power through an integral analysis of variables (numerical and categorical) that may affect it, associated with statistical indicators and experimental design. For this, it was considered convenient to apply a categorical regression analysis (CATREG).

It is proposed to establish criteria of theoretical - practical value, from an integral analysis of variables associated with statistical power, in analysis of variance models of fixed effects (parametric and non - parametric).

Materials and Methods

The information analyzed was selected from the databases with numerical variables (counts and proportions), processed by the Biomathematics department from the Instituto de Ciencia Animal, from 2003 - 2011, located in San José de las Lajas, Mayabeque province. The processed data correspond to independent researches, developed in areas of birds, pigs, grasses and ruminants, associated to the completely randomized (CRD) balanced and random blocks (RBD) designs.

The experimental results were analyzed according to the corresponding models of parametric variance analysis (single and double) and the non-parametric equivalent tests Kruskal-Wallis and Friedman, respectively. In each case, the probability of type I error of the parametric and non- parametric tests, distribution

efectos fijos. Hace referencia a las tablas de potencia, calculadas para los valores de $\alpha = 0.01$ y 0.05 , y reproduce gráficos de potencia para la dócima F de Fisher.

Siegel y Castellan (1995), en el área de la estadística no paramétrica, introducen el concepto de potencia - eficiencia o eficiencia asintótica relativa, usualmente conocida como ARE (del inglés, Asymptotic Relative Efficiency) o eficiencia de Pitman. Diversos autores (De Calzadilla 1999, Guerra *et al.* 2000, Cristo 2001, De Calzadilla *et al.* 2002, Vásquez 2011 y Cabrera *et al.* 2012) realizaron evaluaciones empíricas para valorar la conveniencia de la aplicación de los modelos de análisis de varianza, paramétrico y no paramétrico, con enfoques univariados y bivariados.

Menchaca (1974, 1975), Venereo (1976), Caballero (1979) y Menchaca y Torres (1985) aportaron tablas de tamaños de muestra y número de réplicas en modelos de análisis de varianza, asociados a los diseños completamente aleatorizados, bloques al azar, cuadrado latino y de cambio. En ellos incluyen la máxima diferencia estandarizada entre dos medias (Δ), la cantidad de tratamientos (t), el nivel de significación (α) y la potencia de la dócima ($1-\beta$). Estas tablas representan valiosas herramientas de trabajo para investigadores de diferentes ramas. En la actualidad, con el avance de la informática, existen paquetes estadísticos que incluyen el cálculo de la potencia, como el InfoStat, G Power y el SPSS, entre otros.

Con los antecedentes establecidos, se decidió utilizar otra vía de análisis e interpretación de la potencia estadística mediante un análisis integral de variables (numéricas y categóricas) que pueden incidir en ella, asociadas con indicadores estadísticos y del diseño experimental. Para ello, se consideró conveniente aplicar un análisis de regresión categórica (CATREG, siglas en inglés de categorical regression).

Se propone establecer criterios de valor teórico - práctico, a partir de un análisis integral de variables asociadas con la potencia estadística, en modelos de análisis de varianza de efectos fijos (paramétricos y no paramétricos).

Materiales y Métodos

La información analizada se seleccionó de las bases de datos con variables numéricas (conteos y proporciones), procesadas por el departamento de Biomatemática del Instituto de Ciencia Animal, de 2003 - 2011, ubicado en San José de las Lajas, provincia Mayabeque. Los datos procesados corresponden a investigaciones independientes, desarrolladas en áreas de aves, cerdos, pastos y ruminantes, asociados a los diseños completamente aleatorizados (DCA) balanceados y de bloques al azar (DBA).

Los resultados experimentales se analizaron según los correspondientes modelos de análisis de varianza paramétricos (simple y doble) y las docimas homólogas no paramétricas Kruskal-Wallis y Friedman, respectivamente. En cada caso, se recogió como variables asociadas con indicadores estadísticos, la

of the response variable (in general was Normal, Binomial and Poisson), power of the F Fisher test, sample size in the experimental design and fulfilment of the basic assumptions of the ANAVA. The rest of the variables correspond to the experimental design.

The number of experiments and variables by experimental design are:

CRD: 16 experiments and 66 variables

RBD: 5 experiments and 34 variables

A data matrix was formed with the following variables:

1. Type of experiment
2. Type of experimental design
3. Number of treatments
4. Fulfilment of the theoretical assumptions
5. Probability of type I error of the F Fisher test
6. Probability of type I error of the non-parametric equivalent tests
7. Power of F Fisher test
8. Sample size in the experimental design
9. Variable distribution

To establish the relation of the power of the Fisher test with the rest of the variables, the categorical regression analysis was applied, due to the presence of numerical variables (3 and 5 to 8) and categorical variables (1, 2, 4 and 9).

In accordance with the criteria of Meulman and Heiser (2010) and the applications made by Navarro *et al.* (2010), Vázquez (2012) and Guerra *et al.* (2014), in the Agricultural Sciences and others, the general characteristics of the CATREG are summarized in the following aspects:

- They are based on the Optimal Scaling Methodology, proposed by the Dutch school of data scalation, with numerous contributions from the Data Scaling System Theory Group at the University of Leiden, in Holland, implemented with the credits of this group by IBM SPSS Statistics, in different versions.

- It is suitable for data that are difficult or impossible to analyze using the classical statistics methods.

- The optimal quantifications of each variable are obtained by the alternating least squares method (minimizes the loss of information function).

- The quantifications of each variable are improved by iterative procedures.

- The quantified variables have metric properties.

- It extends the classical method of regression analysis, through the optimal scaling of nominal, ordinal and numerical variables, simultaneously.

- A linear regression equation optimal for the transformed variables is obtained.

- The estimated regression coefficients reflect the changes produced by the predictor variables in the response variable.

- The optimal quantifications reflect the characteristics of the original variables.

probabilidad de error tipo I de las dícimas paramétricas y no paramétricas, distribución de la variable respuesta (en general fue Normal, Binomial y Poisson), potencia de la dícima F de Fisher, tamaño de muestra en el diseño experimental y cumplimiento de los supuestos básicos del ANAVA. El resto de las variables se corresponde con el diseño experimental.

La cantidad de experimentos y variables por diseño experimental son:

DCA: 16 experimentos y 66 variables

DBA: 5 experimentos y 34 variables

Se conformó una matriz de datos con las siguientes variables:

1. Tipo de experimento
2. Tipo de diseño experimental
3. Número de tratamientos
4. Cumplimiento de los supuestos teóricos
5. Probabilidad de error tipo I de la dícima F de Fisher
6. Probabilidad de error tipo I de las dícimas homólogas no paramétrica
7. Potencia de la dícima F de Fisher
8. Tamaño de muestra en el diseño experimental
9. Distribución de la variable

Para establecer la relación de la potencia de la dícima F de Fisher con el resto de las variables, se aplicó el análisis de regresión categórica, por la presencia de variables numéricas (3 y 5 al 8) y categóricas (1; 2; 4 y 9).

De acuerdo con los criterios de Meulman y Heiser (2010) y las aplicaciones realizadas por Navarro *et al.* (2010), Vázquez (2012) y Guerra *et al.* (2014), en las Ciencias Agropecuarias y otras, las características generales del CATREG se resumen en los siguientes aspectos:

- Se basan en la Metodología de Escalamiento Óptimo, propuesta por la escuela holandesa de escalamiento de datos, con numerosos aportes del Grupo de Teoría de Sistema de Escalamiento de Datos en la Universidad de Leiden, en Holanda, implementados con los créditos de dicho grupo por IBM SPSS Statistics, en diferentes versiones.

- Resulta adecuado para datos que son difíciles o imposibles de analizar mediante los métodos de la estadística clásica.

- Las cuantificaciones óptimas de cada variable, se obtienen por el método de los mínimos cuadrados alternantes (minimiza la función de pérdida de información).

- Las cuantificaciones de cada variable se mejoran por procedimientos iterativos.

- Las variables cuantificadas tienen propiedades métricas.

- Amplía el método clásico de análisis de regresión, mediante el escalamiento óptimo de variables nominales, ordinales y numéricas, simultáneamente.

- Se obtiene una ecuación de regresión lineal, óptima para las variables transformadas.

- Los coeficientes de regresión estimados reflejan los cambios que producen las variables predictoras en

- The indicators of the categorical variables must be positive integers.

- Only allows one response variable and a maximum of 200 predictor variables.

The CATREG analysis includes characteristic aspects of classical regression analysis: coefficient of determination (R^2), analysis of variance in the regression and significance of the model parameters. As complementary elements of this analysis, other indicators are included for the analysis:

- Importance: measure of the relative importance of the predictor variables, given by Pratt (1987).

- Tolerance: represents the proportion of the variation of each predictor variable, which is not explained by the others. It represents a protection against multicollinearity (Hair *et al.* 1999).

For the processing of the information, the optimal scaling option (CATREG) of the statistical software SPSS version 22.0 (2013) was selected from the regression analysis.

Results and Discussion

In the application of the categorical regression analysis, the power was considered as a dependent variable, to analyze its relation with the rest of variables. Table 1 reflects the high value of the coefficient of determination (R^2), accompanied by the significance of the model, which indicates that the power has a good explanation by the analyzed variables.

Table 1 includes the partial regression coefficients, standardized with their statistical significance, when considering the results of the parametric ANOVA, except for the probability of type I error (p-value). The rest of the indicators do not show significant statistical contributions for the explanation of the power (value $p > 0.05$). It is considered that it is necessary to take into account in future researches, the sample size, because of its known incidence in the potency and the significance shown (value $p = 0.065$).

la variable respuesta.

- Las cuantificaciones óptimas reflejan las características de las variables originales.

- Los indicadores de las variables categóricas deben ser enteros positivos.

- Solo permite una variable respuesta y un máximo de 200 variables predictoras.

En el análisis de CATREG se incluyen aspectos característicos del análisis de regresión clásico: coeficiente de determinación (R^2), análisis de varianza en la regresión y significación de los parámetros del modelo. Como elementos complementarios de este análisis, se incluyen para el análisis otros indicadores:

- Importancia: medida de la importancia relativa de las variables predictoras, dada por Pratt (1987).

- Tolerancia: representa la proporción de la variación de cada variable predictora, que no es explicada por las otras. Representa una protección ante la multicolinealidad (Hair *et al.* 1999).

Para el procesamiento de la información, se seleccionó del análisis de regresión la opción escalamiento óptimo (CATREG), del software estadístico SPSS versión 22.0 (2013).

Resultados y Discusión

En la aplicación del análisis de regresión categórica, se consideró la potencia como variable dependiente, para analizar su relación con el resto de las variables. En la tabla 1, se refleja el alto valor del coeficiente de determinación (R^2), acompañado por la significación del modelo, que indica que la potencia presenta una buena explicación por parte de las variables analizadas.

La tabla 1 incluye los coeficientes de regresión parcial, estandarizados con su significación estadística, al considerar los resultados del ANOVA paramétrico, excepto la probabilidad de error tipo I (valor p). El resto de los indicadores no muestra aportes estadísticos significativos para la explicación de la potencia (valor $p > 0,05$). Se considera que es necesario tener en cuenta en próximas investigaciones, el tamaño de muestra,

Table1. Fit of the CATREG model and significance of the regression coefficients with the parametric ANOVA

Results of the Regression Model fit					
R^2	F Fisher		P value		
0.827	21.420		0.000		
Regression coefficients and their significance					
Variable	Coefficient		LG	F	P value
	Estimated	SE			
Type of experiment	-0.039	0.079	2	0.235	0.791
Fulfilment of assumptions	-0.051	0.081	2	0.235	0.791
Probability of type I error	-0.808	0.078	3	106.939	0.000
Sample size	-0.190	0.112	2	2.849	0.065
Number of treatments	-0.127	0.127	2	0.992	0.376
Type of design	-0.009	0.095	2	0.008	0.992
Variable distribution	-0.020	0.081	2	0.058	0.944

The significant and negative incidence of the probability of type I error in the power, when the rest of the variables remain constant, is corroborated by the high negative correlations of zero and partial order, which are observed in table 2, between the probability of type I error and power.

It is considered that there is correspondence of the

por su conocida incidencia en la potencia y por la significación mostrada (valor $p = 0.065$).

La incidencia significativa y negativa de la probabilidad de error tipo I en la potencia, al considerar el resto de las variables constantes, se corrobora con las altas correlaciones negativas de orden cero y parcial, que se observan en la tabla 2, entre la probabilidad de error tipo I y la potencia.

Table 2. Correlations and other indicators of the CATREG with the parametric ANAVA.

Variable	Correlations		Other indicators	
	Zero order	Partial	Importance	Final tolerance
Type of experiment	0.136	-0.078	-0.006	0.718
Fulfilment of assumptions	-0.009	-0.120	0.001	0.957
Probability of type I error	-0.885	-0.862	0.864	0.766
Simple size	-0.476	-0.361	0.109	0.719
Number of treatments	-0.204	-0.208	0.031	0.485
Type of design	-0.392	-0.012	0.004	0.354
Variable distribution	0.108	-0.045	-0.003	0.922

previous results with that reported in the specialized literature, specifically by Mood and Graybill (1972) and Rodríguez (2008), who denote the power function as:

$$\eta(\theta) = \begin{cases} \alpha = P(I), \text{ si } \theta = \theta_0 \in H_0 \text{ (null hypothesis), } P(I) \text{ Probability of type I error} \\ 1 - P(II), \text{ si } \theta = \theta_1 \in H_1 \text{ (alternative hypothesis), } P(II) \text{ Probability of type II error} \end{cases}$$

From this analysis it is concluded that a powerful test must show a low probability of type I error (reject the null hypothesis being true) and high power (reject the null hypothesis being false), situation that must be in correspondence with the characteristics of the test, in this case F Fisher test.

These high negative correlations are corroborated with the results of a simulation study conducted by Vázquez (2011), which includes the analysis of the power and the probability of type I error, under the assumption of binomial distribution. In addition to the study of Herrera (2014), in animal science researches.

Table 2 highlights, for its importance, the probability of type I error, which is able to explain 76.6 % of its variability (given by tolerance), being low in the case of the number of treatments and type of design, and very high for the fulfilment of the assumptions and the distribution of the variable.

The distribution of the analyzed variables that, to a large extent, correspond to the normal, binomial and Poisson distribution, although it does not present an appreciable incidence in the power, should be a reason for analysis in future researches, as well as the sample size.

Due to the high level of coincidences presented by

Se considera que existe correspondencia de los resultados antes mencionados con lo informado en la literatura especializada, específicamente por Mood y Graybill (1972) y Rodríguez (2008), quienes denotan la función de potencia como:

De este análisis se concluye que una dócima potente debe mostrar una baja probabilidad de error tipo I (rechazar la hipótesis nula siendo cierta) y alta potencia (rechazar la hipótesis nula siendo falsa), situación que debe estar en correspondencia con las características de la dócima en cuestión, en este caso la dócima F de Fisher.

Estas altas correlaciones negativas son corroboradas con los resultados de un estudio de simulación realizado por Vázquez (2011), donde se incluye el análisis de la potencia y la probabilidad de error tipo I, bajo el supuesto de distribución binomial. A ello se adiciona el trabajo de Herrera (2014), en investigaciones de ciencia animal.

En la tabla 2 se destaca, por su importancia, la probabilidad de error tipo I, que es capaz de explicar 76.6 % de su variabilidad (dada por la tolerancia), siendo baja en el caso del número de tratamientos y tipo de diseño, y muy alta para el cumplimiento de los supuestos y la distribución de la variable.

La distribución de las variables analizadas que, en gran medida, corresponden a la distribución normal, binomial y Poisson, aunque no presenta una incidencia apreciable en la potencia, debe ser motivo de análisis en próximas investigaciones, al igual que el tamaño de muestra.

the decision making based on the probability of type I error, F Fisher test of the ANAVA, with its non-parametric equivalents (Kruskal-Wallis and Friedman tests), a comparative analysis of the probabilities of type I error, using the t Student test for paired samples (table 3).

As can be seen in the table, there are no significant

Por el alto nivel de coincidencias que presenta la toma de decisiones basadas en la probabilidad de error tipo I, de la docima F de Fisher del ANAVA, con sus homólogas no paramétricas (docimas Kruskal-Wallis y Friedman), se realizó un análisis comparativo de las probabilidades de error tipo I, mediante la dócima t de Student para muestras pareadas (tabla 3).

Table 3. Comparison of probabilities of type I error for both designs.

t Student test	CRD		RBD	
	Statistical	P value	Statistical	P value
Paired samples	-0.3248	0.3732	-1.25123	0.113019

statistical differences ($P < 0.05$) between the probabilities of type I error in each design.

In this result it is decided to evaluate the performance of the CATREG model, when substituting the values of the probability of type I error of the F Fisher test, for those corresponding to the Kruskal-Wallis and Friedman tests (according to the design). This variable is identified in this analysis by probability of type I error (NP). The obtained results are reflected in tables 4 and 5. It is observed that a very significant and negative incidence of the probability of type I error (NP) in the power is maintained, when considering the rest of the variables or constant indicators, very similar to that reported in table 1.

The results of table 4 are corroborated with the zero and partial order correlation indicators, which appear in table 5. Regarding the importance and tolerance (table 5), it is reiterated that the probability of type I error (NP), is highlighted by its importance with respect to the rest of the indicators, lower to explain its variability (69.7 %). In the same way, the high tolerance of variables is considered, fulfilment with assumptions and distribution of the variable.

From the analyzes carried out, it can be seen that the indicator with a strong negative relation with the

Como se puede observar en la tabla, no existen diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$) entre las probabilidades de error tipo I en cada diseño.

En este resultado se decide valorar el comportamiento del modelo CATREG, al sustituir los valores de la probabilidad de error tipo I de la dócima F de Fisher, por los correspondientes a las dócimas Kruskal-Wallis y Friedman (según el diseño). Se identifica esta variable en este análisis por probabilidad de error tipo I (NP). Los resultados obtenidos se reflejan en las tablas 4 y 5. Se observa que se mantiene incidencia muy significativa y negativa de la probabilidad de error tipo I (NP) en la potencia, al considerar el resto de las variables o indicadores constantes, muy similar a lo informado en la tabla 1.

Los resultados de la tabla 4 se corroboran con los indicadores de correlación de orden cero y parcial, que aparecen en la tabla 5. En cuanto a la importancia y la tolerancia (tabla 5), se reitera que la probabilidad de error tipo I (NP), se destaca por su importancia con respecto al resto de los indicadores, algo más baja para explicar su variabilidad (69.7 %). De igual forma, se considera la alta tolerancia de las variables cumplimiento de supuestos y distribución de la variable.

De los análisis realizados, se puede constatar que

Table 4. Fit of the CATREG model and significance of the regression coefficients with the non-parametric ANAVA.

Results of the Regression Model fit					
R ²	F Fisher	P value			
0.804	18.270	0.000			
Regression coefficients and their significance					
Variable	Coefficient		LG	F	P value
	Estimated	SE			
Type of experiment	-0.076	0.053	3	2.032	0.118
Fulfilment of assumptions	-0.027	0.082	2	0.108	0.898
Probability of type I error (NP)	-0.814	0.075	4	116.712	0.000
Simple size	-0.148	0.103	1	2.066	0.155
Number of treatments	0.046	0.147	1	0.098	0.756
Type of design	-0.111	0.117	2	0.903	0.410
Distribution	-0.067	0.076	2	0.779	0.463

Table 5. Correlations and other indicators of the CATREG with the non-parametric ANAVA

Variable	Correlations		Other indicators	
	Zero order	Partial	Importance	Final tolerance
Type of experiment	0.232	-0.132	-0.022	0.602
Fulfillment of assumptions	-0.011	-0.056	0.000	0.865
Probability of type I error (NP)	-0.879	-0.838	0.891	0.697
Simple size	-0.462	-0.280	0.085	0.763
Number of treatments	0.007	0.083	0.000	0.645
Type of design	-0.395	-0.162	0.055	0.429
Distribution	0.110	-0.140	-0.009	0.874

power is the probability of type I error in the ANAVA models (parametric and non-parametric). That is, at low values of the probability of type I error, high values of power.

It is concluded that the use of the categorical regression model is an alternative analysis tool to assess the incidence of each of the selected variables of statistical indicators and experimental design, in the statistical power and in analysis of variance models of fixed effects through Fisher test with its non-parametric equivalents (Kruskal-Wallis and Friedman tests). The probability of type I error is identified as the most important indicator that contributes to explain the power, and the strong negative relation between the power and the probability of type I error is shown in the analysis of variance models (parametric and non-parametric).

It is recommended to deepen in the aspects of sample size, distribution of the analyzed variable and the power-efficiency criterion, in relation to the probability of type I error and power, as well as to incorporate the results of the generalized linear model into the analysis as another alternative to be evaluated.

el indicador que presenta una fuerte relación negativa con la potencia, es la probabilidad de error tipo I en los modelos de ANAVA (paramétrico y no paramétrico). Esto es, a bajos valores de la probabilidad de error tipo I, altos valores de la potencia.

Se concluye que el uso del modelo de regresión categórica resulta una herramienta alternativa de análisis para valorar la incidencia de cada una de las variables seleccionadas de indicadores estadísticos y del diseño experimental, en la potencia estadística y en modelos de análisis de varianza de efectos fijos mediante la dística F de Fisher con sus homólogas no paramétricas (dísticas de Kruskal-Wallis y Friedman). Se identifica la probabilidad de error tipo I como el indicador más importante que contribuye a explicar la potencia, y se evidencia la fuerte relación negativa entre la potencia y la probabilidad de error tipo I en los modelos de análisis de varianza (paramétrico y no paramétrico).

Se recomienda profundizar en los aspectos de tamaño de muestra, distribución de la variable analizada y el criterio de potencia- eficiencia, en relación con la probabilidad de error tipo I y la potencia, así como incorporar a los análisis resultados del modelo lineal generalizado, como otra alternativa a valorar.

References

- Bono, R. y Arnau, J. 1995. Consideraciones generales en torno a los estudios de potencia. *Revista Anales de Psicología*. 11(1): 193-202.
- Caballero, A. 1979. Tamaños de muestras en diseños completamente aleatorizados y bloques al azar donde la unidad experimental esté formada por grupos de animales. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 13 (3): 225-235.
- Cabrera, A., Guerra, C. W., Herrera, M. & Suris, M. 2012. Non-parametric statistical methods and data transformations in agricultural pest population studies. *Chilean Journal of Agricultural Research*. 72(3): 440-443.
- Cristo, M. 2001. Comportamiento de las dísticas no paramétricas respecto a las paramétricas en distribuciones no normales. Tesis presentada en opción al título de Master en Matemática. Universidad Central de Las Villas. Cuba.
- De Calzadilla, J. 1999. Procedimientos de la Estadística no paramétrica. Aplicaciones en las Ciencias Agropecuarias. Master Thesis. Cuba.
- De Calzadilla J., Guerra, W. & Torres, V. 2002. El uso y abuso de transformaciones matemáticas. Aplicaciones en modelos de análisis de varianza. *Rev. Cubana Ciencia Agrícola*. 36(1): 103-106.
- Guerra, C. W., De Calzadilla, J. & Torres, V. 2000. Índice de eficiencia en relación con procedimientos de la estadística no paramétrica. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 34 (1): 1-4.
- Guerra, C. W., Herrera, M., Vázquez, Y. & Quintero, A. B. 2014. Contribución de la Estadística al análisis de variables categóricas: Aplicación del Análisis de Regresión Categórica en las Ciencias Agropecuarias. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuaria*. 23(1): 68 – 73.
- Hair, J. F., Anderson, R. E., Tatham, R. L. & Lack, W. C. 1999. *Analisis Multivariate. Practice*. Hall Iberia. Madrid. España. 799p.
- Herrera, M. 2014. Métodos Estadísticos alternativos de análisis con variables discretas y categóricas en investigaciones agropecuarias. PhD Thesis. ICA. Mayabeque. Cuba. 100p.

- Menchaca, M. A. 1974. Tablas útiles para determinar tamaños de muestras en diseño de Clasificación Simple y de Bloques al Azar. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 8 (1) 111-116.
- Menchaca, M. A. 1975. Determinación de tamaños de muestra en diseños Cuadrados Latinos. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 9 (1): 1-3.
- Menchaca, M. A. & Torres V. 1985. Tablas de uso frecuente en la Bioestadística. Instituto de Ciencia Animal. Cuba.
- Meulman, J.J. & Heiser, W.J. 2010. SPSS versión 19.0 for Windows. Categories. Statistical Package for the Social Sciences.
- Mood, A. M. & Graybill, F. A. 1972. Introducción a la teoría de la Estadística. Ediciones Aguilar S. A. Madrid. España. 536 p.
- Navarro, J.M., Casa, G. & González, E. 2010. Análisis de Componentes Principales y Análisis de Regresión para datos categóricos. Aplicación en la Hipertensión Arterial. *Revista de Matemática. Teorías y Aplicaciones*. 17(2):199-230.
- Pratt, J. W. 1987. Dividing the indivisible: Using simple symmetry to partition variance explained. In: *Proceedings of the Second International Conference in Statistics*, T. Pukkila, and S. Puntanen, eds. Tampere, Finland: University of Tampere.
- Rodríguez, F. 2008. Estudio de métodos no paramétricos. Informe de pasantías presentado como requisito para optar al título de Licenciado en Matemática Mención Probabilidad y Estadística. Universidad Nacional Abierta, Centro Local Metropolitano. Caracas Venezuela.
- Scheffé, H. 1959. *The Analysis of Variance*. John Wiley & Sons, Inc, New York. 477p.
- Siegel, S. y Castellan, N. J. 1995. *Estadística no paramétrica aplicada a las Ciencias de la Conducta*. Cuarta edición. Editorial Trillas, México. p 57.
- SPSS 2013. Version 22.0 for Windows. Statistical Package for the Social Sciences. IBM.
- Vásquez, R. E. 2011. Contribución al tratamiento estadístico de datos con distribución Binomial en el Modelo de Análisis de Varianza. PhD Thesis. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. Cuba.
- Vázquez, Y. 2012. Modelación Estadístico - Matemática con variables mixtas para el estudio de la sostenibilidad social en una Empresa ganadera bovina. PhD Thesis. ICA. Mayabeque. Cuba. 100p.
- Venereo, A. 1976. Número de réplicas en diseños cuadrados latinos balanceados para la estimación de efectos residuales. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 10(3): 237-246.

Received: June 19, 2018