

Application of the linear mixed and generalized mixed model as alternatives for analysis in experiments with repeated measures

Aplicación del Modelo Lineal Mixto y Lineal Generalizado Mixto, como alternativas de análisis en experimentos con medidas repetidas

Sarai Gómez, Verena Torres, Yolaine Medina, Yusleiby Rodríguez, Y. Sardiñas, Magaly Herrera and R. Rodríguez

Instituto de Ciencia Animal, Apartado Postal 24, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba
Email: sgomez@ica.co.cu

Linear mixed and generalized linear mixed models were applied to an experiment with scarified seeds through the process of endozoochory, as tools for processing and analysis with measures repeated over time. Variables analyzed were plant height and stem thickness. Pearson correlation matrix was calculated to determine the existence of association among sampling days. In the analyzed variables, sphericity criterion was used by Bartlett statistic. For both variables, the assumption of normality was verified by Shapiro-Wilk and Kolmogorov-Smirnov tests. In the variable that fulfilled the assumption of normality, a linear mixed model was used. For the variable that was not fulfilled, the generalized linear mixed model was applied. The Poisson, Gamma, Log Normal, Normal and Binomial variants were analyzed to determine data distribution. Several variance-covariance structures were tested to select the best fit and the information criteria that obtained the smallest values were considered. The use of these statistical models allows to adequately control the probability of occurrence of type I error, since it provides greater flexibility and information when selecting the best fit model, in addition to allowing to analyze unbalanced data.

Key words: *longitudinal data, covariance structures, information criteria*

One of the most used research methods is to measure the response variable in the same experimental unit at different moments in time. These are more efficient than using a different experimental unit for each measurement, since they require fewer units, which reduces sample size, minimizes costs, improves test power, and estimates over time is more accurate (Kuehl 2000).

In the agricultural branch, experiments with these characteristics are often carried out. In these studies, it is not appropriate to use the classical linear models of analysis of variance (ANAVA), because when performing repeated measurements over time in the same experimental units, these are correlated. Therefore, it is not met with the traditional assumptions of independence and normality that are required for its use (Jerez *et al.* 2011)

Given the specific characteristics of these experiments with repeated measures, it is necessary to determine which analytical strategy is the most appropriate. Some authors have recently used linear mixed models and

Se aplicaron los modelos Lineal Mixto y Lineal Generalizado Mixto a un experimento con semillas escarificadas mediante el proceso de endozoochoria, como herramientas para el procesamiento y análisis con medidas repetidas en el tiempo. Se analizaron las variables altura de la planta y grosor del tallo. Se calculó la matriz de correlación de Pearson para determinar la existencia de asociación entre los días de muestreo. En las variables analizadas, se utilizó el criterio de esfericidad mediante el estadístico de Bartlett. Para ambas variables, se comprobó el cumplimiento del supuesto de la normalidad por las dójimas de Shapiro-Wilk y Kolmogorov-Smirnov. En la variable que cumplió con el supuesto de la normalidad, se empleó un Modelo Lineal Mixto. Para la que no lo cumplió, se aplicó el Modelo Lineal Generalizado Mixto. Se analizaron las variantes de Poisson, Gamma, Log Normal, Normal y Binomial para determinar la distribución de los datos. Se probaron varias estructuras de varianza-covarianza para seleccionar la de mejor ajuste y se consideraron los criterios de información que obtuvieron los valores más pequeños. La utilización de estos modelos estadísticos permite controlar adecuadamente la probabilidad de ocurrencia del error de tipo I, pues brinda mayor flexibilidad e información al seleccionar el modelo de mejor ajuste, además de que permite analizar datos desbalanceados.

Palabras clave: *datos longitudinales, estructuras de covarianzas, criterios de información.*

Uno de los métodos de investigación más utilizados es medir la variable respuesta en la misma unidad experimental en diferentes momentos en el tiempo. Estas son más eficientes que el uso de una unidad experimental diferente para cada medición, ya que requieren menos unidades, lo que reduce el tamaño de la muestra, minimiza los costos, mejora la potencia de prueba, y la estimación en el tiempo es más precisa (Kuehl 2000).

En la esfera agropecuaria se realizan, con frecuencia, experimentos con estas características. En estos estudios, no es adecuado utilizar los modelos lineales clásicos de análisis de varianza (ANAVA), pues al realizar mediciones repetidas en el tiempo en las mismas unidades experimentales, estas se hallan correlacionada. Por tanto, se incumple con los supuestos tradicionales de independencia y normalidad que se requieren para su utilización (Jerez *et al.* 2011)

Dadas las características específicas que presentan estos experimentos con medidas repetidas, se trata de determinar qué estrategia analítica resulta más apropiada. Algunos autores han utilizado más recientemente los Modelos Lineales Mixtos y los Modelos Lineales Generalizados

generalized linear mixed models, implemented in some statistical programs because of the advantages they have over traditional ones (Balzarini and Machiavelli 2005 and Vallejo *et al.* 2010).

The objective of this study was the application of the linear mixed model and the generalized linear mixed model, as a tool for processing and analyzing an experiment, with repeated measures to compare different varieties of trees subjected to the endozoochory process.

Materials and Methods

Experimental procedure. The study was developed in the ranch "El Peregrino", belonging to the Campus of the Faculty of Veterinary Medicine of the University of Colima, Mexico. In all cases, basic seed was used, except in moringa, from which seeds of trees belonging to the agricultural campus of the university were collected. Eight treatments were tested, which were *Leucaena* endozoochory (*Leucaena leucocephala*), coral endozoochory (*Caesalpinia platyloba*), scarified leucaena and Coral with water at 80 °C (Toral and González 1999), leucaena without scarification, coral without scarification, gliricidia without scarification, and moringa without scarification (*Moringa oleifera*).

Endozoochory process was developed with 12 Brahman breed calves, with mean weights of 225 kg and 18 months of age, housed in independent pens, which received a silage base diet of CT-115, as well as 1 kg of supplement of waste banana.

Each animal was supplied with 1,000 seeds of each tree, mixed in the supplement. The total intake of seeds was determined by offer-rejection. Total collection of feces was carried out during 96 h at intervals of 24 h. Seeds collected from feces were dried at room temperature and placed in polyethylene bags. From the fifth day of collection, sowing was carried out under nursery conditions under a 50 % shade screen. The variables plant height and stem thickness (cm) were measured at 14, 21 and 28 d.

Statistical analysis. For the analyzed variables, Pearson correlation matrix was calculated, with the purpose of determining the existence of association between the sampling days. Sphericity criterion was used by Bartlett (1937) statistics and the measure of sample adequacy of Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) (Pérez and Medrano 2010 and Acosta *et al.* 2015).

For both variables, the fulfillment of the assumption of normality was verified by the tests of Shapiro and Wilk (1965) and Kolmogorov -Smirnov modified by Lilliefors (1967). To determine the distribution that followed the data, Proc Severity was used and the following were analyzed with their corresponding functions Poisson (Logarithmic), Gamma (Reciprocal), Log Normal (Log), Normal (Identity) and Binomial (Logit). In both variables, the plant was used as the

Mixtos, implementados en algunos programas estadísticos por las ventajas que presentan con respecto a los tradicionales (Balzarini and Machiavelli 2005 y Vallejo *et al.* 2010).

El objetivo de este trabajo fue la aplicación del Modelo Lineal Mixto y del Modelo Lineal Generalizado Mixto, como herramienta para el procesamiento y análisis de un experimento, con medidas repetidas para comparar diferentes variedades de arbóreas sometidas al proceso de endozoocoria.

Materiales y Métodos

Procedimiento experimental. El trabajo se desarrolló en el rancho "El Peregrino", perteneciente al Campus de la Facultad de Medicina Veterinaria de la Universidad de Colima, México. En todos los casos, se utilizó semilla básica, excepto en moringa, de la que se recolectaron semillas de árboles pertenecientes al campus agropecuario de la universidad. Se probaron ocho tratamientos, que fueron *Leucaena* endozoocoria (*Leucaena leucocephala*), Coral endozoocoria (*Caesalpinia platyloba*), leucaena escarificada, y Coral con agua a 80 °C (Toral y González 1999) y leucaena sin escarificar, coral sin escarificar, gliricidia sin escarificar, moringa sin escarificar (*Moringa oleifera*).

El proceso de endozoocoria se desarrolló con 12 becerros de la raza Brahaman, con pesos promedio de 225 kg y 18 meses de edad, estabulados en corrales independientes, que recibieron una dieta base de ensilaje de CT-115, así como 1 kg de suplemento de plátano de desecho.

A cada animal se le suministraron 1000 semillas de cada arbórea, mezcladas en el suplemento. Se determinó el consumo total de las semillas mediante oferta-rechazo. La colecta total de las heces se realizó durante 96 h a intervalos de 24 h. Las semillas recolectadas de las heces se secaron a temperatura ambiente y se depositaron en bolsas de polietileno. A partir del quinto día de recolección, se efectuó la siembra en condiciones de vivero bajo malla sombra de 50 %. Se midieron las variables altura de la planta y grosor del tallo (cm), a los 14, 21 y 28 d.

Análisis estadístico. Para las variables analizadas, se calculó la matriz de correlación de Pearson, con el propósito de determinar la existencia de asociación entre los días de muestreo. Se utilizó el criterio de esfericidad mediante el estadístico de Bartlett (1937) y la medida de adecuación muestral de Káiser-Meyer-Olkin (KMO) (Pérez y Medrano 2010 y Acosta *et al.* 2015).

Para ambas variables, se comprobó el cumplimiento del supuesto de la normalidad mediante las dójimas de Shapiro y Wilk (1965) y Kolmogorov -Smirnov y modificada por Lilliefors (1967). Para determinar la distribución que siguieron los datos, se empleó el Proc Severity y se analizaron las siguientes con sus correspondientes funciones de enlace Poisson (Logaritmica), Gamma (Recíproca), Log Normal (Log), Normal (Identidad) y Binomial (Logit). En ambas variables, la unidad experimental que se utilizó

experimental unit. Treatments and sampling days were considered as fixed effects. The interaction of both effects and the error were the random effects, respectively. For the estimation of the model, the Laplace method was used, which is adequate for the analysis of designs with measures repeated over time.

The general expression of the model for both cases is:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + b_j + (\alpha b)_{ij} + e_{ijk}$$

Where:

y_{ijk} = variable expected response of the study

μ = mean common to all observations

α_i = fixed effect of the i -th treatment ($i=1, \dots, 8$)

b_j = random effect of the j -th time ($j= 14,21$ and 28)

$(\alpha b)_{ij}$ = fixed effect of the i -th treatment in interaction with the random effect of the j -th time ($ij=1, \dots,24$)

e_{ijk} = random error associated to all observations

For the variable that did not fulfill the normality assumption, the generalized linear mixed model was used, which coincides with the model previously described, where $Y_{ijk} = f(\mu)$, response variable, according to the specific bond function $\mu =$ mean or intercept.

Several variance-covariance structures were examined. The Unstructured (UN), Toeplitz (toep), Autoregressive of Order 1 (Ar (1)), Composite Symmetry (CS) and Components of Variance (CV) were used for obtaining the best fit. To make this selection, the Akaike (AIC), Akaike corrected (AICC) and Bayesian (BIC) information criteria were used, which would show the least value. Parameters were estimated by the methods of maximum likelihood (ML) or restricted maximum likelihood (REML) (Gualdrón 2009 and Vallejo *et al.* 2014).

For the comparison of means, Kramer (1956) test was used for $P < 0.05$. Data processing was carried out with the SAS (2013) statistical package, version 9.3.

Results and Discussion

Tables 1 and 2 show correlation coefficients for the sampling days in the variables plant height and stem thickness. In both, values are higher than 0.70, which evidences high correlation for each variable among sampling days. Therefore, the assumption of independence of errors was not fulfilled.

Tables 3 and 4 show the results of Bartlett (1937) sphericity test and the KMO measure (Kaiser 1960, 1974) for both variables. Bartlett sphericity presented significant value ($P < 0.001$), so the null hypothesis that the variance-covariance matrix is an identity matrix is

fulfilling the plant. Se consideraron, como efectos fijos, los tratamientos y los días de muestreo. La interacción de ambos efectos y el error fueron los efectos aleatorios, respectivamente. Para la estimación del modelo se utilizó el método de Laplace que es el adecuado para el análisis de diseños con medidas repetidas en el tiempo.

La expresión general del modelo para ambos casos es:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + b_j + (\alpha b)_{ij} + e_{ijk}$$

Donde:

y_{ijk} = variable respuesta esperada en estudio

μ = media común a todas las observaciones

α_i = efecto fijo del i -ésimo tratamiento ($i=1, \dots, 8$)

b_j = efecto aleatorio del j -ésimo tiempo ($j= 14,21$ y 28)

$(\alpha b)_{ij}$ = efecto fijo del i -ésimo tratamiento en interacción con el efecto aleatorio del j -ésimo tiempo ($ij=1, \dots,24$)

e_{ijk} = error aleatorio asociado a todas las observaciones

Para la variable que no cumplió con el supuesto de la normalidad, se empleó el Modelo Lineal Generalizado Mixto, que coincide con el modelo descrito con anterioridad, donde $Y_{ijk} = f(\mu)$, variable respuesta, según la función de enlace específica $\mu =$ media o intercepto.

Se examinaron varias estructuras de varianza-covarianza.

Entre ellas, la No estructurada (UN), Toeplitz (toep), Autoregresiva de Orden 1 (Ar (1)), Simetría Compuesta (CS) y Componentes de la Varianza (CV), para obtener la de mejor ajuste. Para realizar esta selección, se acudió a los criterios de información del modelo Akaike (AIC), Akaike corregido (AICC) y Bayesiano (BIC), los que arrojaran el menor valor. Los parámetros se estimaron por los métodos de máxima verosimilitud (ML) o máxima verosimilitud restringida (REML) (Gualdrón 2009 y Vallejo *et al.* 2014).

Para la comparación de medias, se utilizó la dócima Kramer (1956) para $P < 0.05$. El procesamiento de los datos se realizó con el paquete estadístico SAS (2013), versión 9.3.

Resultados y Discusión

En las tablas 1 y 2 se muestran los coeficientes de correlación para los días de muestreo en las variables altura de la planta y grosor del tallo. En ambas se obtienen valores superiores a 0.70, lo que evidencia alta correlación para cada variable entre los días de muestreo. Por tanto, no se cumplió con el supuesto de independencia de los errores.

En las tablas 3 y 4 se muestran los resultados de la prueba de esfericidad de Bartlett (1937) y la medida KMO (Káiser 1960, 1974) para ambas variables. La esfericidad de Bartlett presentó valor significativo ($P < 0.001$), por lo que se rechaza la hipótesis nula de

Table 1. Correlation coefficients for 14, 21 and 28 d in plant height

	14	21	28
14	1.00	0.00	0.00
21	0.90	1.00	0.00
28	0.89	0.95	1.00

Table 2. Correlation coefficients for 14, 21 28 d in stem thickness variable

	14	21	28
14	1.00	0.00	0.00
21	0.81	1.00	0.00
28	0.70	0.74	1.00

rejected. The measure of sample adequacy of KMO was 0.76 and 0.74 respectively, both between the values established as acceptable by the literature (Salinas *et al.* 2014). This shows that the model used was adequate and the analysis could be continued.

que la matriz de varianza-covarianza es una matriz de identidad. La medida de adecuación muestral de KMO fue de 0.76 y 0.74 respectivamente, ambos entre los valores establecidos como aceptables por la literatura (Salinas *et al.* 2014). Esto evidencia que el modelo utilizado fue el

Tabla 3. Sphericity test for plant height

KMO and Bartlett test		
Kaiser-Meyer-Olkin measure for sampling adequacy		0.76
Bartlett sphericity test	Around χ^2	151.22
	Fd	3.0
	Sig.	0.001

Table 4. Sphericity test for stem thickness

KMO and Bartlett test		
Kaiser-Meyer-Olkin measure for sampling adequacy		0.74
Bartlett sphericity test	Around χ^2	71.12
	Fd	3.0
	Sig.	0.001

Table 5 shows the results of normality test, carried out using Shapiro Wilk and Kolmogorov Smirnov tests. The residuals of plant height variable were near a normal distribution, and a linear mixed model could be used. This was not the case for the variable stem thickness, so it was analyzed by means of a Generalized Linear Mixed Model, and adjusted to a Gamma distribution with Log link function.

adecuado y se pudo continuar con el análisis.

En la tabla 5 se exponen los resultados de la prueba de normalidad, efectuados mediante los test de Shapiro Wilk y Kolmogorov Smirnov. Los residuos de la variable altura de la planta se aproximaron a una distribución normal, y se pudo emplear el Modelo Lineal Mixto. No fue así para la variable grosor del tallo, por lo que esta se analizó mediante el Modelo Lineal Generalizado Mixto, y se ajustó a una

Table 5. Normality test for plant height and stem thickness variables

Statistic test	p-value	
	Plant height	Stem thickness
Shapiro-Wilk	0.58	0.00
Kolmogorov-Smirnov	0.07	0.00

Table 6 shows covariance structures and information criteria studied. For the variables plant height and stem thickness, from all the analyzed structures, only CV and Ar (1) showed better performance. In both cases, the CV was selected, with a value of 445.8 and -490.7, respectively. Selection was based on the information criterion and on the covariance structure that showed the lowest value, since the model was

distribución Gamma con función de enlace Log.

En la tabla 6 se muestran las estructuras de covarianza y los criterios de información estudiados. Para las variables altura de la planta y grosor del tallo, de todas las analizadas, solo las estructuras VC y la Ar (1) mostraron mejor comportamiento. En ambos casos, se seleccionó la VC, con valor de 445.8 y -490.7, respectivamente. La selección se basó en el criterio de información y en la

Table 6. Covariance structures and information criteria for plant height

Information criteria	Variance-covariance structures	
	AR(1)	CV
	Plant height	
AIC	447.7	445.8
AICC	462.8	459.6
BIC	466.2	463.5
Residual	1.5843	1.5842
	Stem thickness	
AIC	-488.8	-490.7
AICC	-473.7	-476.9
BIC	-470.4	-473.0
Residual	0.000647	0.000647

better fitted.

Table 7 shows the results of the analysis of variance according to the Linear Mixed Model, in which the interaction days x treatment significantly influenced ($P < 0.001$) on the variable plant height. For moringa without scarification, there was greater plant height at 28 d, without deferring from the measurement at 14 and 21 d. The lowest was obtained with gliricidia without scarification, at 14 d, which did not differ from that obtained at 21 d, but at 28 d.

estructura de covarianza que arrojó menor valor, ya que se logró mejor ajuste del modelo.

La tabla 7 muestra los resultados del análisis de varianza según el Modelo Lineal Mixto, en el cual la interacción días x tratamiento influyó significativamente ($P < 0.001$) en la variable altura de la planta. Para la moringa sin escarificar, hubo mayor altura de la planta a los 28 d, sin diferir de la medición a los 14 y 21 d. La menor se obtuvo con la gliricidia sin escarificar, a los 14 d, que no difirió de lo obtenido a los 21 d, pero sí a los 28 d.

Table 7. Means of treatment per day interaction for plant height

Treatment	Days			SE and Significance
	14	21	28	
Leucaena endozoochory	5.82 ^{ij}	7.40 ^{ghij}	8.70 ^{efghi}	
Coral endozoochory	9.18 ^{defgh}	9.76 ^{defgh}	10.04 ^{defg}	
Leucaena scarified with hot water	9.22 ^{defgh}	9.34 ^{defgh}	10.98 ^{cdef}	
Coral scarified with hot water	5.20 ^j	6.12 ^{ij}	7.00 ^{hij}	±0.5629
Leucaena without scarification	10.14 ^{defg}	10.98 ^{cdef}	11.82 ^{cd}	$P < 0.0001$
Coral without scarification	10.96 ^{cdef}	11.78 ^{cde}	13.36 ^c	
Gliricidia without scarification	4.76 ^j	7.60 ^{ghij}	8.48 ^{fghi}	
Moringa without scarification	17.72 ^a	27.76 ^a	29.56 ^a	

^{a,b,c,d,e}Different letters indicate significant differences for $P < 0.05$

Table 8 shows the results of the analysis of variance according to the Generalized Linear Mixed Model for the variable stem thickness, where the interaction days x treatments was significant ($P = 0.0031$).

In the evaluation of stem thickness, moringa without scarification showed the highest values at 14, 21 and 28 d of sampling, although they did not show differences among them. Coral without scarification maintained a similar performance, although sampling days did not differ among them. The lowest value was obtained

En la tabla 8 se exponen los resultados del análisis de varianza según el Modelo Lineal Generalizado Mixto para la variable grosor del tallo, donde la interacción días x tratamientos fue significativa ($P = 0.0031$).

En la evaluación del grosor del tallo, la moringa sin escarificar mostró los mayores valores a los 14, 21 y 28 d de muestreo, aunque no mostraron diferencias entre ellos. El coral sin escarificar mantuvo un comportamiento similar, aunque tampoco difirieron los días de muestreo entre ellos. El menor valor se obtuvo con la gliricidia en

Table 8. Means of treatment per day interaction for stem thickness

Treatment	Days			SE and Significance
	14	21	28	
Leucaena endozoochory	0.14 ^{de} (1.1540)	0.14 ^e (1.1520)	0.15 ^{de} (1.1579)	
Coral endozoochory	0.18 ^{cde} (1.1920)	0.18 ^{cd} (1.2160)	0.20 ^{cde} (1.1979)	
Leucaena scarified with hot water	0.18 ^{cde} (1.1920)	0.18 ^{cde} (1.1979)	0.19 ^{cde} (1.1920)	
Coral scarified with hot water	0.13 ^{de} (1.1580)	0.15 ^e (1.1400)	0.15 ^{de} (1.1620)	
Leucaena without scarification	0.18 ^{cde} (1.1920)	0.18 ^{cd} (1.2179)	0.20 ^{cde} (1.1981)	
Coral without scarification	0.22 ^{bc} (1.2459)	0.22 ^{ab} (1.3159)	0.27 ^{bc} (1.2479)	
Gliricidia without scarification	0.13 ^e (1.1420)	0.14 ^e (1.1460)	0.15 ^{de} (1.1600)	
Moringa without scarification	0.25 ^a (1.3560)	0.28 ^a (1.3220)	0.30 ^{ab} (1.2878)	

^{a,b,c,d,e}Different letters indicate significant differences for $P < 0.05$. () Estimated means for link function

with gliricidia in its two variants. In both, there were no differences among sampling days.

When applying this procedure, the adequate use of statistical alternatives before the non-fulfillment of the assumptions of the analysis of variance was confirmed, specifically in the treatment of experiments with repeated measures.

Conclusions

Linear Mixed Models and Generalized Linear Mixed Models constitute an alternative of analysis before the non-fulfillment of the assumptions of the analysis of variance and before disadvantages that classic models presented in designs with repeated measures.

AIC, AICC and BIC information criteria allow the selection of the optimal structure of covariance, which permits a better fit of the model.

Cuban Journal of Agricultural Science, Volume 53, Number 1, 2019.

sus dos variantes. En ambas no hubo diferencias entre los días de muestreo.

Al aplicar este procedimiento, se pudo constatar el uso adecuado de alternativas estadísticas ante el incumplimiento de los supuestos del análisis de varianza, específicamente en el tratamiento de los experimentos con medidas repetidas.

Conclusiones

Los Modelos Lineales Mixtos y los Modelos Lineales Generalizados Mixtos constituyen una alternativa de análisis ante el incumplimiento de los supuestos del análisis de varianza y ante inconvenientes que presentaron los modelos clásicos en diseños con medidas repetidas.

Los criterios de información AIC, AICC y BIC permiten la selección de la estructura óptima de covarianza, lo que permite mejor ajuste del modelo.

References

- Acosta, A., Mónica, M. & Sánchez, JP. 2015. Desempeño psicométrico de dos escalas de autoeficacia e intereses profesionales en una muestra de estudiantes de secundaria CES Psicología, 8(2): 156-170.
- Balzarini, M. & Macchiavelli, R. 2005. Aplicaciones de Modelo Lineal Mixto en agricultura y forestería, Notas de Clase, Curso Internacional Aplicaciones de Modelo Lineal Mixto en Agricultura y Forestería, p.189.
- Bartlett, M. S. 1937. Properties of sufficiency and statistical tests. In: Proceedings of the Royal Statistical Society, Series A 160 (901): 268–282.
- Gualdrón, J. C. 2009. Influencia de los criterios de selección AIC Y BIC para la selección del modelo de evolución y la reconstrucción del análisis bayesiano. <http://tux.uis.edu. Co/labsist/docencia/finales/final2009-I/2050158-20070. pdf>.
- Jerez, M., Moret, A.Y., Carrero, O.E., Macchiavelli, R.E & Quevedo, A.M. 2011. Curvas de índice de sitio basadas en Modelo Lineal Mixto para plantaciones de teca (*Tectona grandis* L, F.) en los llanos de Venezuela, *Agrociencia*, 45 (1): 135-141.
- Kaiser, H.F. 1974. An index of factorial simplicity. *Psychometrika*, 39 (1): 31-36.
- Kaiser, H. F. 1960. The application of electronic computers to factors analysis. *Educational and Psychological Measurement*, 40 (20): 141-151.
- Kramer, C.Y. 1956. Extension of multiple range tests to group means with unequal numbers of replications. *Biometrics*, 12(3): 307-310.
- Kuehl, R.O. 2000. Diseño de experimentos. Principios estadísticos de diseño y análisis de investigación. Ed. Universidad de Arizona. Arizona. USA. p. 6
- Lilliefors, H. 1967. On the Kolmogorov-Smirnov test for normality with mean and variance unknown, *Journal of the American Statistical Association*, 62(318): 399-402.
- Pérez, E.R. & Medrano, L. 2010. Análisis Factorial Exploratorio: Bases Conceptuales y Metodológicas. *Revista Argentina de Ciencias del Comportamiento*, 2 (1): 58-66.
- Salinas, JL., Espinosa, V., & González, HE. 2014. Características psicométricas de una escala de adherencia al tratamiento de diabetes mellitus II e hipertensión en una muestra de pacientes. *Revista Electrónica de Psicología Iztacala*, 17 (3): 905-929.
- SAS. 2013. Sistema de análisis estadístico. Universidad de Nebraska. Versión 9.3.
- Shapiro, S. & Wilk, B. 1965. An análisis of variante test for normality (complete simples) *Biométrica*, 52 (3): 591-611.
- Toral, O & González, Y. 1999. Efecto del agua caliente en la germinación de diez especies arbóreas. *Pastos y Forrajes*, 22 (1): 47-53.
- Vallejo, G., Arnau, J., Bono, R., Fernández, P, & Tuero, E. 2010. Selección de modelos anidados para datos longitudinales usando criterios de información y la estrategia de ajuste condicional, *Psicothema*, 22 (2): 323-333.
- Vallejo, G., Arnau, J., Bono, R., Fernández, P. & Tuero, E. 2014. Selección de modelos anidados para datos longitudinales usando criterios de información y la estrategia de ajuste condicional. *Psicothema*, 22(2):323-333.

Received: April 20, 2018