



Revista Cubana de Ciencia Agrícola

ISSN: 0034-7485

rcca@ica.co.cu

Instituto de Ciencia Animal

Cuba

Torres, Verena; Cobo, R.
La Matemática Aplicada en las investigaciones del Instituto de Ciencia Animal, cincuenta años de experiencia
Revista Cubana de Ciencia Agrícola, vol. 49, núm. 2, 2015, pp. 117-125
Instituto de Ciencia Animal
La Habana, Cuba

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193039698001>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

La Matemática Aplicada en las investigaciones del Instituto de Ciencia Animal, cincuenta años de experiencia

Verena Torres y R. Cobo

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

Correo electrónico: vtorres@ica.co.cu, vtorcar@gmail.com

Se reseñan estudios de Matemática Aplicada, desarrollados entre 1973 y 2014, en el Instituto de Ciencia Animal y publicados en la Revista Cubana de Ciencia Agrícola. Las temáticas de estas contribuciones versan sobre la estimación y prueba de hipótesis, diseños experimentales, informática y sistemas automatizados, técnicas de muestreo y tamaño de muestra, modelación y simulación matemática, econometría y métodos multivariados. En el período citado, el porcentaje de artículos por temática fue 8.4, 11.6, 5.3, 16.8, 27.4, 13.7 y 16.8, respectivamente. Las más publicadas fueron modelación y simulación, técnicas de muestreo y tamaño de muestra y métodos multivariados.

Palabras clave: *Biometría, Economía e Informática*

INTRODUCCIÓN

Desde la fundación del Instituto de Ciencia Animal en 1965, se concibió y fundó el departamento de Biometría, con el objetivo fundamental de asesorar desde el punto de vista estadístico las investigaciones que en esta institución se desarrollaban. Desde los primeros artículos, publicados en la Revista Cubana de Ciencia Agrícola, los expertos de la estadística aparecen como coautores. Se pueden citar, entre otros, los estudios de Willis *et al.* (1971), Gómez

et al. (1971), Tomeu *et al.* (1973) y Willis *et al.* (1973), entre otros. Este acompañamiento se ha mantenido hasta la actualidad, lo que evidencia la importancia del trabajo de asesoría de los expertos en este ramo.

Se refieren a continuación los trabajos publicados en la Revista de Ciencia Agrícola, en la temática de Estadística Matemática, desglosados según las diferentes áreas del conocimiento.

PRUEBA DE HIPÓTESIS Y ESTIMACIÓN

La temática de Biometría se incorpora a la Revista Cubana de Ciencia Agrícola en 1973, año en que aparecen los primeros artículos acerca de las pruebas de hipótesis. Estos estudios comenzaron por tratar aspectos relacionados con las hipótesis de base (Menchaca 1973). A partir de 1980, se integran trabajos de investigaciones desarrolladas en temáticas específicas, entre ellas la producción de leche y cultivos agrícolas, enmarcados en el área de la estimación. Menchaca (1981) presentó un método de corrección por sesgo al método de Wood, y comparó diferentes procedimientos de estimación de la producción de leche. Con posterioridad, Fernández *et al.* (2001) estudiaron el comportamiento de la producción de leche de la raza Siboney de Cuba en su primera lactancia, durante las épocas lluviosa y poco lluviosa.

El estudio de las plagas de las especies y variedades de pastos se trató mediante métodos estadísticos, debido a los daños que se producen en estos cultivos. Martínez Machin *et al.* (2002) estudiaron la distribución espacial y temporal de la *Heteropsylla cubana* (Crawford) en el cultivo de la *Leucaena leucocephala* (Lam).

Torres (1980) presentó la estimación del índice de homogeneidad del suelo en experimentos agrícolas. Torres y Jordán (1989) estimaron la materia seca de la bermuda cruzada, en función de otros componentes del rendimiento. Estos autores utilizaron el método de regresión de Rigde.

La mayoría de los métodos estadísticos se basan en el proceso de pruebas de hipótesis, que están acompañadas de cuatro supuestos teóricos básicos, en los que se incluyen los errores experimentales que deben ser normalmente distribuidos, homogéneos e independientes, con un modelo que debe ser aditivo.

La literatura clásica acerca de este tema propuso aplicar las transformaciones de Box a las variables a analizar, cuando no se cumple alguno de estos supuestos. Aguila *et al.* (1998) propusieron una transformación basada en la integración de una función poligonal, que relaciona las varianzas de los tratamientos con sus correspondientes medias.

Guerra *et al.* (2000) compararon procedimientos paramétricos y no paramétricos mediante el índice de eficiencia asintótica relativa. Estos autores concluyeron que la dócima de Kruskal-Wallis y la F de Fisher mostraron índices de eficiencia similares, pero más bajos con respecto a la de Friedman. En la década del cuarenta del siglo pasado, se desarrollaron técnicas que no hacen suposiciones numerosas ni severas acerca de la población en estudio, por lo que se clasificaron como métodos de distribución libre, de uso muy amplio en el sector agropecuario.

Son conocidas las relaciones entre los errores de tipo I y II, al realizar una prueba de hipótesis. Sin embargo, generalmente, en la práctica no se considera la relación inversa entre estas dos probabilidades y se refieren,

exclusivamente, los niveles de significación obtenidos en el análisis de varianza, sin tener en cuenta que para bajos valores de α se pueden obtener altos valores de β que ponen en riesgo la toma de decisiones. Torres y Seguí (2001) discutieron estos temas y su relación con el tamaño de la

muestra y la función de potencia. Estos autores propusieron un criterio práctico para la determinación de la función de potencia *a posteriori*, que permitió analizar la confiabilidad de los resultados obtenidos en las investigaciones, y diseñar estrategias para estudios futuros.

DISEÑO EXPERIMENTAL

Uno de los temas más importantes en el diseño experimental corresponde a la definición de número de observaciones por tratamiento a comparar. Menchaca (1975) publicó procedimientos para la determinación del tamaño de la muestra en los diseños clásicos (clasificación simple, bloques al azar y cuadrados latinos). Venéreo (1976) y Caballero (1979) trabajaron el número de réplicas a utilizar en diseños cuadrados balanceados.

Las superficies de respuesta, como combinación del análisis de regresión y del diseño experimental, brindan los medios económicos para localizar un conjunto de condiciones que proporcionen la respuesta óptima. Martínez Machín y Marrero (2000) realizaron una comparación entre el diseño factorial con arreglo factorial y el diseño de superficie de respuesta, con arreglo factorial de tres niveles, para determinar la respuesta óptima de la concentración de los ácidos grasos de cadena corta (CGCC).

Torres y Chongo (1996) presentaron un modelo matemático para utilizarlo cuando se realizan mediciones sucesivas en la misma unidad experimental, con el propósito de evitar inferencias estadísticas erróneas. Posteriormente, Torres *et al.* (2003) proponen los métodos estadísticos de

análisis de varianza univariado, multivariado y análisis para un indicador suma o promedio de las áreas bajo la curva en el estudio de datos longitudinales.

Gómez *et al.* (2012a) realizaron la revisión de los procedimientos estadísticos más utilizados en el análisis de los diseños de medidas repetidas en el sector agropecuario y recomendaron el análisis de varianza de efectos fijos mediante el uso de modelos mixtos, en los que las unidades experimentales se consideraron un factor aleatorio, y el tiempo como fijo. Este último comprendió las correlaciones entre medidas repetidas y la presencia de varianzas heterogéneas. Estos autores señalaron posibles métodos para estimar los parámetros de estos modelos. No obstante, recomendaron el modelo de Máxima Verosimilitud Restringida (REML=Restricted Maximum Likelihood) y ofrecieron criterios de información necesarios para la selección de los mejores modelos.

Gómez *et al.* (2012b), en un estudio con cepas mutantes de hongos celulolíticos *Trichoderma viride*, compararon los resultados de los modelos de efectos fijos y mixto en experimentos con mediciones repetidas.

INFORMÁTICA

Roche *et al.* (1999) desarrollaron un programa que permite optimizar los recursos en la nutrición de los rumiantes, a partir de la utilización máxima del pasto en la ración y capacidad de ingestión balanceada. Ajete *et al.* (2000) presentaron un sistema informático para la gestión del ganado porcino y su control poblacional. Sotolongo *et al.* (2004) desarrollaron un programa que permite garantizar el control técnico individual del ganado vacuno.

La informática propició la elaboración de bases

de datos con información diversa, que facilita su divulgación y disseminación. Torres *et al.* (2001) crearon bases de datos con información científica publicada en Cuba acerca de la producción de leche y carne, basada en pastos, forrajes y caña de azúcar. Grenón *et al.* (2008) desarrollaron un sistema de información de la ganadería extensiva, con soporte en un portal de internet, como nueva herramienta que complementa el sistema de extensionismo del Instituto de Ciencia Animal (figura 1).

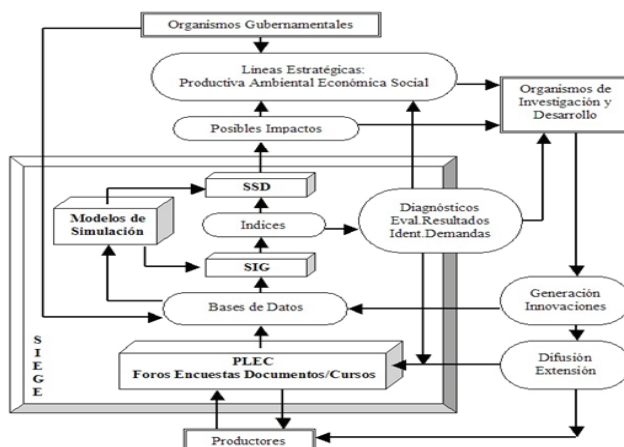


Figura 1. Modelo ambiental de la Plataforma de Extensión y Comunicación (PLEC).

TÉCNICAS DE MUESTREO Y TAMAÑO DE MUESTRA

La temática del muestreo de poblaciones ocupa un lugar fundamental en la estadística. Para el estudio de pastos y forrajes, es de gran importancia en los métodos de muestreo subjetivo, entre los que se destacan los visuales, desarrollados por Haydock y Shaw (1975), para determinar la disponibilidad y la composición botánica de los pastos, respectivamente. Torres y Jordán (1982) compararon variantes del método de muestreo visual para estimar la disponibilidad de pastos rastreros. Torres y Martínez (1986) y Torres (1987) realizaron estudios de precisión y determinación de tamaños de muestra. Torres *et al.* (1988) desarrollaron un método subjetivo, en el que incorporaron el concepto de volumen de pasto y diseñaron un equipo que denominaron MEDIDEN (figura 2). Jordán *et al.* (1989) y Torres *et al.* (1998) en

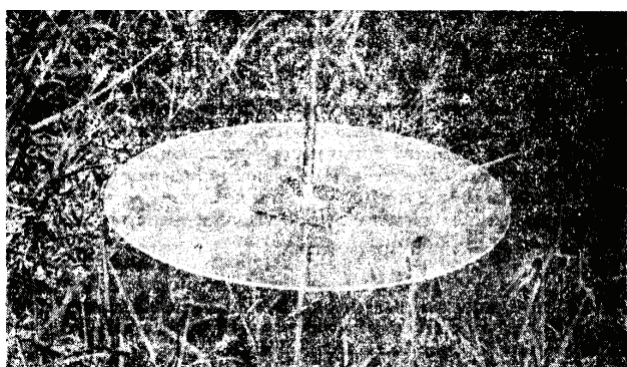


Figura 2. MEDIDEN, equipo para medir el volumen del pasto

investigaciones con pastos aplicaron métodos visuales para el estudio de diversos indicadores.

También para la investigación con animales monogástricos se elaboraron tablas que permiten calcular tamaños de muestra para experimentos, según diseños completamente aleatorizados en cerdos en preceba y ceba (Muñiz 1997).

La teledetección a través de fotos aéreas y satelitales permitieron los inventarios de grandes extensiones de áreas agrícolas. Ferrer *et al.* (1988) emplearon estas herramientas en la identificación de pastizales y Torres *et al.* (1991ab y 1992) estudiaron el grado de correlación entre el indicador fotométrico densidad óptica y los indicadores de pastizales, conjuntamente con la fotointerpretación de las fotografías sintetizadas, obtenidas con la cámara aérea multizona MKS-4. Estos autores aportaron criterios de productividad de los pastizales e índices espectrales de la vegetación. Sus trabajos formaron parte del experimento “Caribe Intercosmos 1988”, auspiciado por la Academia de Ciencias de Cuba.

Como resultado de estas investigaciones, Torres *et al.* (1994) presentaron la metodología para obtener una descripción físico-geográfica y realizar la fotointerpretación de regiones, con el propósito de realizar inventarios de diferentes usos de la tierra y diagnósticos de productividad (figura 3).

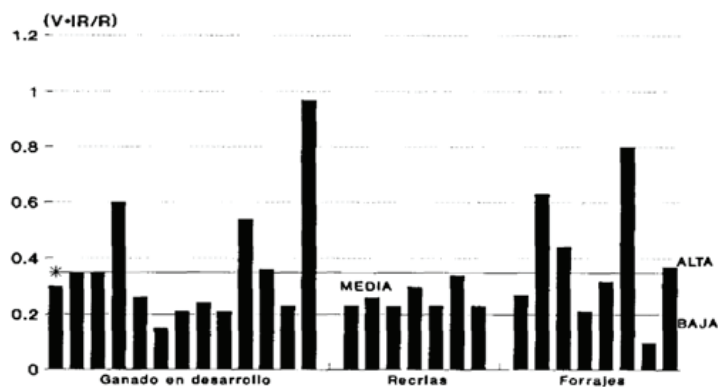


Figura 3. Evaluación de unidades, según índice vegetativo

MODELACIÓN Y SIMULACIÓN MATEMÁTICA

La modelación matemática es una herramienta para estimar los parámetros de los procesos biológicos. En el campo de la producción animal y agrícola, estas técnicas han sido ampliamente utilizadas y permiten el desarrollo de la simulación y el pronóstico de los resultados productivos. Los primeros trabajos de modelación que aparecen referenciados en la revista corresponden al desarrollo de un modelo multiplicativo y su aplicación en el control de los efectos de curvas de lactancia (Menchaca y Jerez 1986), la expresión del peso vivo y

el consumo en vacas lecheras (Menchaca y Ruiz 1987). López y Menchaca (1989) trataron la modelación del crecimiento de terneros y novillas, y su variabilidad en el tiempo.

Menchaca (1990) propuso modelos étapicos de crecimiento, que permitieron describir curvas de desarrollo del animal según las etapas de la vida, con diferencias en alimentación y manejo que influyen en la tasa de crecimiento. La creación de estos modelos obedeció a la posibilidad de que la curva de crecimiento

nacimiento-edad madura no se pudiera representar adecuadamente por los modelos clásicos. Luego, como continuación de este trabajo, este autor propuso el uso de transformación logarítmica para encontrar estimadores con propiedades óptimas y estabilizar las varianzas (Menchaca 1991ab). El autor citado estudió modelos multiplicativos para controlar los efectos perpendiculares (época) y sistemáticos que afectan el crecimiento animal. El autor citado formuló además en 1992, la unión del modelo etápico con el multiplicativo en el estudio del crecimiento en peso de terneros en un sistema de alimentación-manejo, aplicado a animales en crecimiento en condiciones de pastoreo (Menchaca *et al.* 1993).

La O *et al.* (2013) retomaron la modelación de las curvas de peso vivo en cabritos criollos cubanos, alimentados con pastos y arbustivas naturales en la provincia Granma. Este autor introduce el concepto de elasticidad de los modelos no lineales, logísticos y Gompertz, para lograr mejor interpretación del comportamiento animal.

Menchaca y Ruiz (1990) presentaron el diagrama de un modelo de simulación que describió la interfase entre un modelo de consumo de pastos (ingestiones de materia seca, fibra bruta y energía metabolizable en vacas lecheras) y el modelo animal que describe las características de esta categoría (estimación de requerimientos de EM y la estimación de la capacidad de ingestión de PB).

Para conocer el comportamiento de las pérdidas de amoníaco de las bostas (kg de N ha^{-1}) en el sistema de pastoreo racional Voisin (PRV), Torres *et al.* (1996) utilizaron modelos no lineales, en función de los días de excretadas las bostas.

El uso de dietas no convencionales en especies monogástricas es una vía para aprovechar subproductos y abaratar el costo de la alimentación. En porcinos en crecimiento, en la etapa de 30 a 90 d, Larduet y Savón (1995) desarrollaron un modelo para simular el crecimiento en esta categoría. Estos autores consideraron la partición del nitrógeno ingerido durante el mantenimiento, crecimiento y aprovisionamiento de energía.

Torres *et al.* (1999) describieron la dinámica de crecimiento del pasto *Cynodon nlenfuensis* (estrella jamaicano), mediante el ajuste de modelos lineales y no lineales, con la utilización de diferentes criterios estadísticos y la derivada del peso seco de la biomasa en función del tiempo.

Acerca de los diferentes criterios estadísticos a utilizar, cuando se seleccionan modelos de regresión, Guerra *et al.* (2003) presentaron catorce criterios para lograr aplicaciones adecuadas desde el punto de vista

teórico y práctico. Torres *et al.* (2012) argumentaron otros para la comparación y selección de modelos no lineales.

Fernández *et al.* (2004) retomaron los estudios de modelación con la caracterización de la curva de lactancia para el genotipo Siboney de Cuba (5/8 H 3/8 C). Estos autores, en el año 2005, determinaron los factores que afectan los pesajes mensuales y estimaron el modelo para la curva de lactancia corregida por estos factores. Torres *et al.* (2009) desarrollaron una aproximación estocástica del modelo logístico, para estimar el comportamiento productivo de búfalos de agua en Cuba durante la etapa de crecimiento-ceba.

Torres y Ortiz (2005) presentaron un trabajo resumen con las aplicaciones de la modelación y simulación en el proceso de producción y alimentación de animales de granjas. Propusieron que cada país o región debe diseñar y desarrollar sus propios modelos ajustados a sus condiciones, de modo que se puedan convertir en una herramienta útil para tomar decisiones, siempre que se utilicen los criterios estadísticos que garanticen la confiabilidad de los modelos propuestos.

En cuanto al crecimiento de las especies de pastos, Rodríguez *et al.* (2011 y 2013) modelaron el crecimiento del *Pennisetum purpureum* vc. Cuba CT-169 y del *Pennisetum purpureum* cv. king-grass, respectivamente. Estos autores utilizaron modelos lineales y no lineales en los períodos lluvioso y poco lluvioso en la zona occidental de Cuba. También Ruiz *et al.* (2012abc), en tres trabajos en serie, presentaron los resultados de la modelación del crecimiento de los materiales vegetales de *Thitonia diversipholia* en los períodos lluvioso y poco lluvioso. Estos autores lograron caracterizar los mejores comportamientos en las componentes del rendimiento de esta variedad.

La modelación también ha sido aplicada con frecuencia para caracterizar la dinámica de degradación ruminal de los rumiantes. Aunque en la producción de gas *in vitro* numerosos autores han presentado diversos modelos, el objetivo principal de estas investigaciones es la comparación de sistemas de alimentación o de diferentes materiales que componen estos sistemas. Jay *et al.* (2012ab) realizaron el censo de cuatro pruebas de homogeneidad de modelos de regresión no lineal y presentaron una evaluación de décimas de rango fijo (Mínima Distancia Significativa LSD, Distancia Significativa Honesta de Tukey HSD, Distancia Significativa de Sheffé, SSD y Distancia Corregida de Bonferroni BSD) para la comparación múltiple de grupos de tratamientos para curvas, a partir de la distancia media cuadrática.

MÉTODOS MULTIVARIADOS

En la mayoría de las investigaciones científicas, es necesario analizar relaciones simultáneas entre tres o más variables. El análisis estadístico de estas

variables probablemente sugiera, en primera instancia, la modificación de las hipótesis planteadas. En este proceso se añaden y eliminan continuamente variables

que tienen naturaleza multivariada o multivariante, por cuanto corresponden a las mediciones en los mismos individuos.

Torres *et al.* (1993ab) presentaron los dos primeros resultados en la aplicación de las técnicas multivariadas, con ejemplos del análisis de componentes principales (ACP) y el de varianza multivariado (MANOVA) en la selección de variables capaces de expresar las diferencias fenotípicas encontradas entre 16 somaclones de king grass, obtenidos por cultivo de tejidos, y en el estudio de las mediciones repetidas (años) en comparaciones de especies de pastos, respectivamente.

Varela y Torres (2005) hicieron una generalización del análisis de componentes principales, denominado ACP, para el análisis de varias matrices de datos, donde los tres modos se identificaron de acuerdo con el interés o las características del estudio realizado.

Para el análisis de las variables que mejor explican la composición química y los factores antinutricionales de los granos de 14 leguminosas temporales, Camelo *et al.* (2007 y 2008) utilizaron el ACP y lograron clasificar las variedades en cuatro grupos. Esto permitió su caracterización para utilizarlas en la alimentación de los animales monogástricos.

Torres *et al.* (2008 y 2013) presentaron el denominado Modelo Estadístico de Medición de Impacto (MEMI), que es una combinación coherente y armónica de métodos multivariados, para lograr el doble propósito de

identificar variables-indicadores, así como para tipificar el comportamiento de las unidades productivas. La aplicación de este modelo permite adoptar decisiones adecuadas para establecer modelos de gestión eficientes y apropiados a las características de los ecosistemas, donde se ubican los sistemas ganaderos, además de evaluar el impacto de los procesos de innovación tecnológica que se introducen en la práctica en las cadenas productivas.

A partir de estos artículos comienzan a aparecer trabajos referidos a la aplicación de este modelo. Autores como Benitez *et al.* (2008), lo utilizaron para establecer los factores que determinaron la eficiencia productiva de las fincas ganaderas de la zona montañosa de la provincia Granma. Febles *et al.* (2011ab) lo aplicaron para determinar la importancia de los factores edafoclimáticos e interpretar los índices de impacto que ofrecen en la producción de semillas de gramíneas pratenses tropicales. Martínez *et al.* (2012) se auxiliaron de este modelo para evaluar el efecto de las tecnologías de los bancos de biomasa de *Pennisetum purpureum* (Cuba CT-115) en la producción de leche en la provincia Villa Clara. En las figuras 4 y 5 se presenta el comportamiento del efecto de los bancos de biomasa en las unidades productoras de leche de la Empresa “Desembarco del Granma”.

Las aplicaciones del MEMI se han extendido además a diversos países, entre ellos México. Ruiz *et al.* (2012) lo utilizaron en esta región para caracterizar los sistemas

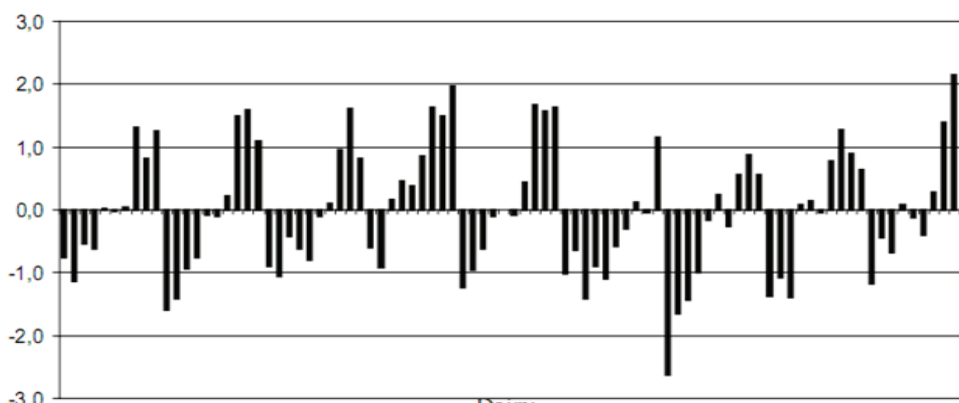


Figura 4. Factores de impacto por lechería, CP 1 para el primer semestre de los diez años de estudio.



Figura 5. Factores de impacto por lechería, CP 1 para el segundo semestre de los nueve años de estudio (Martínez *et al.* 2012)

de producción de bovinos de carne en el municipio Mixquiahuala de Juárez, Hidalgo, mediante los índices de impactos logrados con la aplicación de diferentes tecnologías. Vargas *et al.* (2011) informaron el uso de este modelo en la tipificación de fincas ganaderas en el pie de monte tropical, en las provincias Cotopaxi y Los Ríos, en Ecuador. Chivangulula *et al.* (2013) lo aplicaron para analizar la sustentabilidad del sistema de producción porcino familiar en Kaala, Angola, lo que les permitió conocer e identificar los problemas fundamentales que limitan la producción porcina en esta provincia.

Cobo y Borroto (2013) emplearon el MEMI para realizar el análisis de la eficiencia bioeconómica de la

producción de leche mediante el Análisis Envolvente de Datos (Envelopment Analysis Models, DEA por sus siglas en inglés).

Recientemente, Segura y Torres (2014ab) publicaron dos artículos con la incorporación de nuevos procedimientos al MEMI para el tratamiento de valores perdidos y atípicos de las bases de datos y validar la clasificación y tipificación de fincas de doble propósito en la amazonía ecuatoriana.

La tabla 1 resume de forma cuantitativa la frecuencia de trabajos descritos y los años en que han sido publicados.

Tabla 1. Frecuencia de artículos por temáticas y años de publicación

Temáticas	%	Años de publicación
Estimación y prueba de hipótesis	8.2	1973 - 2002
Diseños experimentales	11.3	1974 - 2012
Informática	5.2	1999- 2001
Técnicas de muestreo y tamaño de muestra	16.5	1982 - 1994
Modelación y simulación matemática	26.8	1986 - 2013
Econometría	13.4	1985 - 2011
Métodos multivariados	18.6	1993 - 2014

ECONOMÍA

Crespo (1976) insistió en el uso de la fertilización, y recomendó desde esta época la necesidad de evaluar los costos, debido al precio de los insumos. Esto condujo a trabajos acerca de la eficiencia económica en la utilización de la fertilización en pastos y forrajes. Cino *et al.* (1985) realizaron un estudio económico acerca de la respuesta al fertilizante nitrogenado en la especie *Digitaria decumbens* (pangola). Estos autores determinaron funciones de producción mediante regresiones cuadráticas, ajustadas por los mínimos cuadrados, para obtener las mayores ganancias en función de las dosis de nitrógeno.

Aguilar *et al.* (1994) aplicaron la programación lineal a la formulación de raciones para pollos de engorde, tomando en cuenta los requerimientos de aminoácidos. Cino *et al.* (1999) estudiaron desde el punto de vista económico algunas especies de leguminosas de granos, y consideraron desde el proceso de elaboración de las harinas hasta su inclusión en la dieta para pollos de ceba.

Para dar continuidad a las aplicaciones económico-matemáticas, Cino *et al.* (1994) evaluaron el intercalamiento de diferentes especies forrajeras en el momento de la siembra de un pastizal de brachiaria. Luego, Cino y Valdés (1995) compararon económicamente el sistema de pastoreo racional Voisin, con el sistema de ceba tradicional en pastoreo. Se evaluaron económicamente además, sistemas lecheros con bancos de proteína de *Neonotonia wightii* (Glycine)

y *Leucaena leucocephala* (Cino *et al.* 1996 y Cino y Castillo 1999).

La evaluación económica de tecnologías de ceba fue desarrollada por Cino *et al.* (2001), quienes demostraron que el costo por animal y por kilogramo de peso vivo resultó inferior para los sistemas de bajos insumos, y la relación beneficio costo mostró los mejores índices para las tecnologías de altos insumos, debido al mejor comportamiento animal y a la menor duración del período de ceba. Similares resultados encontraron Rey y Reyes (2003), cuando estudiaron el efecto económico de dos métodos de pastoreo rotacional. Estos autores plantearon que con bajos insumos no se logra una estabilidad desde el punto de vista bioeconómico, debido a la productividad de los animales. Posteriormente, Cino *et al.* (2011) encontraron que los sistemas de silvopastoreo con la *Leucaena leucocephala* pueden ser una opción económicamente factible para aumentar la producción de biomasa en unidades de producción de leche y carne, destinadas a la preceba y ceba vacuna.

Con respecto a la aplicación de los métodos econométricos en el análisis de los costos en la producción de leche, Cobo *et al.* (2011) propusieron el método de regresión, y estimaron por mínimos cuadrados los costos totales, en función de otros elementos de costos, de modo que se pudiera reducir y aumentar el volumen de ingresos.

CONSIDERACIONES GENERALES

Los resultados de este análisis descriptivo permiten concluir que, desde el año 1973 hasta la actualidad, la Revista Cubana de Ciencia Agrícola publicó de forma sistemática artículos sobre Matemática Aplicada a las ciencias agropecuarias. La mayoría de estos fueron de autores cubanos, lo que confirma la importancia de esta especialidad en las investigaciones agropecuarias en Cuba. Este análisis también demuestra la aplicación de esta especialidad en diversos ámbitos del saber científico.

La temática de modelación y simulación fue la más frecuente, y comenzó a publicarse a finales de la década del 80, y hasta hoy continúa siendo una metodología utilizada. A pesar de que las temáticas relacionadas con la estimación, la prueba de hipótesis y los diseños experimentales se encuentran con menor frecuencia, aparecieron en los años 70, y aún se presentan algunos

trabajos. La informática es una temática que ha sido poco publicada en esta revista. Esto obedece a que existen en Cuba revistas especializadas en este ramo, que son preferidas por los expertos para publicar los resultados de sus investigaciones.

Los trabajos relacionados con las técnicas de muestreo y tamaño de muestra resultaron importantes en la década del 80 y 90 del siglo pasado. Sin embargo, en la actualidad no se presentan trabajos acerca de estos temas. A pesar de su importancia, en muchas investigaciones no se trata este tema con la profundidad necesaria.

Las publicaciones sobre métodos multivariados y sus aplicaciones comenzaron a publicarse a principios de la década del 90. Su frecuencia se considera alta, debido al avance de la computación, que permite el desarrollo de potentes programas estadísticos que facilitan estas aplicaciones.

REFERENCES

- Aguila, B., Torres, V., Brito, M., Sarduy, L. & Noda, A. 1998. A transformation to homogenize the variances. Cuban J. Agric. Sci. 32:11
- Aguilar, I., Larduet, R. & Fraga, L. M. 1994. A note on the economic effect of the utilization of amino acids in broiler rations. Cuban J. Agric. Sci. 28:15
- Ajete, A., Díaz, C. P., & Moyongo, J. C. 2000. SCPorcino. Computer programme for the control of the swine herd. Cuban J. Agric. Sci. 34:101
- Benitez, D., Ramírez, A., Guevara, O., Pérez, B., Torres, V., Díaz, M., Pérez, D., Guerra, J., Miranda, M. & Ricardo O. 2008. Determinant factors in the biomass production of three pasture species in rational grazing systems in the Cauto Valley, Cuba. Cuban J. Agric. Sci. 41:221
- Caballero A. 1979. Sample size for completely randomized and randomized blocks designs where the experimental unit is a group of animals. Cuban J. Agric. Sci. 13:227
- Camelo, S., Torres, V. & Díaz M. F. 2007. Multivariate analysis of the chemical composition of seasonal legume grains. Cuban J. Agric. Sci. 41:101
- Camelo, S., Torres, V. & Díaz M. F. 2008. Multivariate analysis of the anti-nutritional factors of the seasonal legumes grains. Cuban J. Agric. Sci. 42:329
- Chivangulula, M., Torres, V., RMorais, J., Nalissimo Mário, J. & Gabriel, R. 2013. Multivariate evaluation of the family pig production System in Caála, Angola. Kaála, Angola. Cuban J. Agric. Sci. 47:279
- Cino, D. M. & Váldez, G. 1995. Simulation of the economical feasibility of the utilization of the Voisin grazing system in beef fattening. Cuban J. Agric. Sci. 29:145
- Cino, D. M., & Castillo, E. 1999. Note on costs and benefits of rotational cattle fattening systems with leucaena (*Leucaena leucocephala*) under non-irrigation conditions. Cuban J. Agric. Sci. 33:339
- Cino, D. M., Crespo, G & Sardiñas, O. 1985. A study on economical efficiency of N fertilization to pangola grass (*Digitaria decumbens*) during the rainy season. Cuban J. Agric. Sci. 19:323
- Cino, D. M., Díaz, M. F., Lon-Wo, E. & González A. 1999. Economical evaluation of raw legume grain meals and their potential use in poultry feeding. Cuban J. Agric. Sci. 33:121
- Cino, D. M., Larduet, R & Jordan, H. 1996. Economical results in a dairy system with a protein bank of Glycine (*Neonotonia wightii*) Cuban J. Agric. Sci. 30:235
- Cino, D. M., Sierra, D., Martín, P. C. & Valdés, F. 2001. An economic evaluation of beef production alternatives. Cuban J. Agric. Sci. 35:123
- Cino, D. M., Sistechs, M. & Melendez J. F. 1994. Economical evaluation of the use of intercropped cultures for the feeding of dairy cows in milk production systems. Cuban J. Agric. Sci. 28:149
- Cino, D., Díaz, A., Castillo, E. & Hernández J. L. 2011. Cattle fattening in *Leucaena leucocephala* grazing: some economic and financial indicators for making decisions. Cuban J. Agric. Sci. 45:7
- Cobo, R. & Borroto, O. 2013. Determination of the bio-economical efficiency of milk production throughout data envelopment analysis models Cuban J. Agric. Sci. 47:233
- Cobo, R., Torres, V., Machado, Y. & Fraga, M. 2011. Econometric methods in the analysis of dairy total production costs. Cuban J. Agric. Sci. 45:227
- Crespo, G. 1976. Differred nitrogen fertilization and annual production of pangola (*Digitaria decumbens* Stent) and guinea (*Panicum maximum* Jacq.) grass pastures. Cuban J. Agric. Sci. 10:223
- Febles, G., Torres, V., Baños, R., Ruiz, T. E., Yañez, S. & Echeverría, J. 2011. Multivariate analysis application to determine the preponderance of edaphoclimatic factors in the production of seeds from tropical prairie grasses. Cuban J. Agric. Sci. 45:45
- Febles, G., Torres, V., Baños, R., Ruiz, T. E., Yañez, S. & Echeverría, J. 2011. Utilization of the impact index to interpret the relative influence of edaphoclimatic factor on the production of tropical pasture seeds. Cuban J. Agric. Sci. 45:53
- Fernández, L., Menéndez Buxadera, A. & Guerra, C. W. 2004. Comparative study of different functions for the analysis of the location curve in the genotype Siboney de Cuba.

- Cuban J. Agric. Sci. 38:343
- Fernández, L., Menéndez Buxadera, A. & Guerra, C. W. 2005. Factors affecting milk yield in the siboney de Cuba genotype. Linear models with controlled lactation curve effect. Cuban J. Agric. Sci. 39:255
- Fernández, L., Menéndez, A., Guerra W. & Suárez, M. 2001. Estimation of the standard lactation curves of the Siboney de Cuba breed for their use in lactation extensions. Cuban J. Agric. Sci. 35:93
- Ferrer, E., Torres, V. & San Martín, E. 1988. Preliminary study on the application of remote sensing in grassland identification. Cuban J. Agric. Sci. 22:235.
- Gómez, J., López, D., Menchaca, M. & Rico, C. 1971. Estimation of optimum slaughter age in broilers. 1. Feed and protein efficiency related to live weight and carcass traits. Cuban J. Agric. Sci. 5: 313
- Gomez, S., Torres, V., García, Y. Fraga, L. M., Sarduy, L., & Savón, L. 2012. Comparison of models of fixed and mixed effects on the analysis of an experiment with mutant strains of cellulotic fungus *Trichoderma viride*. Cuban J. Agric. Sci. 46:127
- Gomez, S., Torres, V. & García, Y. & Navarro, J. A. 2012. Statistical procedures most used in the analysis of measures repeated in time in the agricultural sector. Cuban J. Agric. Sci. 46:1
- Grenón, D. A., Lizazo, D. & Torres, V. 2008. Proposal of the System of Information and Extension in Extensive Cattle Rearing (SIEGE). Cuban J. Agric. Sci. 42:339
- Guerra, C. W., Cabrera, A. & Fernández, L. 2003. Criteria for the selection of statistical models in scientific research. Cuban J. Agric. Sci. 37:3
- Guerra, C. W., De Calzadilla, J. & Torres, V. 2000. Efficiency indicators regarding non-parametric methods in statistics. Cuban J. Agric. Sci. 34:1
- Haydock, K. P. & Shaw, N.H. 1975. The comparative yield method for estimating dry matter yield of pastures. Tech Paper Div. trop. Pasture CSIRO, Australia.
- Jay, O., Torres, V., Marrero, Y. & Torres, P. 2012. Tests assessment for multiple comparisons of *in vitro* gas curves, from the root of the mean square distance. Cuban J. Agric. Sci. 46:133
- Jay, O., Torres, V., Marrero, Y. & Torres, J. P. 2012. Sensibility analysis of homogeneity tests of *in vitro* gas production curves by Monte carlo simulation. Cuban J. Agric. Sci. 46:15
- Jordan, H. Torres, V. & Pérez, I. 1989. Some considerations on visual samplings with 5 reference frames. 1. Relationship between reference frames and various indicators of Coast cross bermuda grass. Cuban J. Agric. Sci. 23:93
- La O, M. A., Guevara, F., Fonseca, L. Rodriguez, R., Pinto, R. Gómez, H. Medina, F. J. & Hernández, A. 2013. Application of the logistical and Gompertz models to the analysis of live weight curves in Cuban Creole kids. Cuban J. Agric. Sci. 47:1
- Larduet, R. & Savón, L. 1995. Prediction of protein quality from a model of N digestion and metabolism in pigs with non-conventional rations. Cuban J. Agric. Sci. 29:1
- López, V. & Menchaca, M. A. 1989. Statistical characterization of calf and heifer growth throughout liveweight performance. Cuban J. Agric. Sci. 23:131
- Martínez Machin L. & Marrero Y. 2000. Application of the response surface methodology on the study of the *in vitro* ruminal fermentation. Cuban J. Agric. Sci. 34:279
- Revista Cubana de Ciencia Agrícola, Tomo 49, Número 2, 2015.
- Martínez Machín, L., Valenciaga, N., Ruiz, T. E., Mora, C. & Noda, A. 2002. Localization in time and space of *Heteropsylla cubana* (Crawford) in a *Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit grassland. Cuban J. Agric. Sci. 36:3
- Martínez, R. O.; Torres, V. & Aguilar, P. I. 2012. Impact of biomass bank with *Pennisetum purpureum* (Cuba CT-115) on milk production. Cuban J. Agric. Sci. 46:253
- Menchaca, M. 1973. A short method for analysis of statistical transformations. Cuban J. Agric. Sci. 7:141
- Menchaca, M. A. 1975. Determination of sample size in Latin square designs. Cuban J. Agric. Sci. 9:1
- Menchaca, M. 1980. Bias correction in Wood's method for the estimation of milk yield in total lactation. Cuban J. Agric. Sci. 14:107
- Menchaca, M. 1981. Comparison of estimation methods and sampling intervals in the prediction of milk production. Cuban J. Agric. Sci. 15:1
- Menchaca, M. 1990. The use of the stage models for describing animal growth curves. Cuban J. Agric. Sci. 24:31
- Menchaca, M. 1991a. Modelling of bovine weight growth. 1. An intrinsically linear model for growth representation. Cuban J. Agric. Sci. 25:125
- Menchaca, M. 1991b. Modelling of bovine weight growth. 2. Multiplicative model controlling the growth curve and other effects. Cuban J. Agric. Sci. 25:231
- Menchaca, M. A. & Jérez, I. 1986. Evaluation of three tropical grasses I. Statistical treatment. Cuban J. Agric. Sci. 20:223
- Menchaca, M. A. & Ruiz, R. 1987. A note on the algebraic representation of liveweight and consumption during lactation of dairy cows. Cuban J. Agric. Sci. 21:1
- Menchaca, M. & Ruiz, R. 1990. Simulation of dry matter, crude fiber and metabolizable energy consumptions in an experiment with dairy cows grazing coast cross 1 bermuda grass (*Cynodon dactylon* Pers). Cuban J. Agric. Sci. 24:251
- Menchaca, M., Valdés, G. & Brito, M. 1993. A study on the performance of grazing animals through the use of a growth multiplicative model. Cuban J. Agric. Sci. 27:11
- Muñiz, M. 1997. Tables used to estimate sample size in performance experiments with pigs in the pre-fattening and fattening stages. Cuban J. Agric. Sci. 31:1
- Rey, S. & Reyes, J. J. 2003. Economical effect of two rotational grazing methods with dairy cows and two grazing intensities. Cuban J. Agric. Sci. 37:107
- Roche, A., Larduet, R., Torres, V. & Ajete A. 1999. CalRac: a microcomputer programme for the estimation of ruminant rations. Cuban J. Agric. Sci. 33:13
- Rodríguez, L., Larduet, R., Martínez, R. O., Torres, V. Herrera, M., Mesa, Y. & Noda, A. 2013. Modeling of the biomass accumulation dynamics in *Pennisetum purpureum* cv. King grass in the Western region of Cuba. Cuban J. Agric. Sci. 47:119
- Rodríguez, L., Torres, V., Martínez, R. O., Jay, O., Noda, A. & Herrera M. 2011. Models to estimate the growth dynamics of *Pennisetum purpureum* cv. Cuba CT - 169. Cuban J. Agric. Sci. 45:349
- Ruiz, M., Ruiz, J., Torres, V. & Cach, J. 2012. Study of beef meat production systems in a municipality of Hidalgo State, Mexico. Cuban J. Agric. Sci. 46:261
- Ruiz, T. E., Torres, V., Febles, G., Díaz, H. & González, J. 2012a. Use of modeling to study the growth of the plant material 23 of *Tithonia diversifolia*. Cuban J. Agric. Sci. 46:23

- Ruiz, T. E., Torres, V., Febles, G., Díaz, H. & González, J. 2012c. Use of modeling for studying the growth of *Tithonia diversifolia* collection 17. Cuban J. Agric. Sci. 46:243
- Ruiz, T. E., Torres, V., Febles, G., Díaz, H., Sarduy, L. & González, J. 2012b. use of modeling for studying the growth of *Tithonia diversifolia* collection 10. Cuban J. Agric. Sci. 46:237
- Segura, E. O. & Torres, V. 2013a. Comparison criteria strengthened in classification and type representation, according to the Statistical Model of Impact Measuring, in a case study in Pastaza, Ecuador. Cuban J. Agric. Sci. 48:4
- Segura, E. O. & Torres, V. 2013b. Treatment of missing and atypical values in the application of the Statistical Model of Impact Measuring in a study of 90 dairy farms in Pastaza province, Ecuador. Cuban J. Agric. Sci. 48:4
- Sotolongo, A., Mederos, R. E., Roche, A., Gutiérrez, M., & Artilles, M. 2004. Automated system for the individual technical control of cattle. Cuban J. Agric. Sci. 38:227
- Tomeu, A., Peña, J. A. & Menchaca, M. 1973. Diallel cross among the F3 of six sorghum crosses. Cuban J. Agric. Sci. 6:267
- Torres, V. 1980. Estimation of the homogeneity index of the soil through random block experiment. Cuban J. Agric. Sci. 14:213
- Torres, V. 1987. Visual method for estimating pasture availability. II Determination of sample size. Cuban J. Agric. Sci. 21:113
- Torres, V., Barbosa, I., Meyer, R., Noda, A. & Sarduy, L. 2012. Criteria of goodness of fit test in the selection of non-linear models for the description of biological performances. Cuban J. Agric. Sci. 46:345.
- Torres, V., Barch, H. Ytzerott & Weichett H. 1991a. Remote sensing in grassland studies. 2. Productivity criterium. Cuban J. Agric. Sci. 25:129
- Torres, V. & Chongo, B. 1996. A mathematical model for experiments with repeated measurements in the same experimental unit. Cuban J. Agric. Sci. 30:13
- Torres, V., Cobo, R., Sanchez, L. & Raez, N. 2013. Statistical tool for measuring the impact of milk production on the local development of a province in Cuba. Livestock Research for rural Development 25:9
- Torres, V., Crespo, G. & Cuesta, A. 1996. A note the modelling of the ammonia losses of cow dung under Voisin's rational grazing system. Cuban J. Agric. Sci. 30:131
- Torres, V., Crespo, G., Martínez, O. Martín, P. C., Roche, A., Vega, Y., Sarduy, L., Pérez, & Brito, M. 2001. A database for Cuban publications on beef and milk production using sugarcane, pastures and forages. Cuban J. Agric. Sci. 35:9
- Torres, V., Ferrer, E. & San Martín, E. 1991b. Remote sensing in grassland studies. 1. Photographic interpretation and optical processing. Cuban J. Agric. Sci. 25:1
- Torres, V., Ferrer, E. & San Martín, E. 1992. Remote sensing in grassland studies. 3. Plant indices from spectrometric measurements. Cuban J. Agric. Sci. 26:1
- Torres, V., Ferrer, E., San Martín, E., Cino, D. M. & Ramos, N. 1994. Remote sensing for the inventory and evaluation of grasslands. Cuban J. Agric. Sci. 28:263
- Torres, V., Jerez, I. & Valle, R. 1988. Method of subjective sampling for estimating creeping pasture availability. Cuban J. Agric. Sci. 22:1
- Torres, V. & Jordan, H. 1982. A comparison of variants of the visual sampling method in the estimation of the availability of Coast Cross 1 bermuda grass (*Cynodon dactylon* cv. Coast Cross 1) Cuban J. Agric. Sci. 16:233
- Torres, V. & Jordan, H. 1989. Estimation of dry matter in Coast cross 1 bermuda grass as a function of other yield components: Ridge regression and least squares. Cuban J. Agric. Sci. 23:1
- Torres, V., Lazo, J. A., Ruiz, T. E. & Noda A. 1998. The extension of the sampling method of Haydock and Shaw to estimate the morphological components of a *Cynodon nlemfuensis* cv. Jamaican sward. Cuban J. Agric. Sci. 32:235
- Torres, V., Lazo, T. E., Ruiz, T. E. & Noda, A. 1999. Mathematical modelling to estimate C. nlemfuensis pasture availability Cuban J. Agric. Sci. 33:343
- Torres, V., López, V. & Noda, A. 1993a. Example for application of multivariate techniques in different stages of the evaluation and screening of pasture species. 2. Multivariate analysis of variance. Cuban J. Agric. Sci. 27:243
- Torres, V. & Martínez, J. 1986. Visual method for estimating pasture availability. 1. Precision studies. Cuban J. Agric. Sci. 20:1
- Torres, V., Martínez, R. O. & Noda, A. 1993b. Example for application of multivariate techniques in different stages of the evaluation and screening of pasture species. 1. Principal components. Cuban J. Agric. Sci. 27:125
- Torres, V., Navarro, J. R. & Pérez, T. 2003. Statistical models for processing experiments with repeated measurements in the same experimental unit. Cuban J. Agric. Sci. 37:225
- Torres, V. & Ortiz, J. 2005. Application of modelling and simulation to the production and Feeding of farm animals. Cuban J. Agric. Sci. 39:385
- Torres, V., Ramos, N., Lizazo, D., Monteagudo, F. & Noda, A. 2008. Statistical model for measuring the impact of innovation or technology transfer in agriculture. Cuban J. Agric. Sci. 42:131
- Torres, V., Sampaio, I. and Fundora, O. 2009 Stochastic model of the productive performance in the growing stage of water buffaloes in Cuba. Cuban J. Agric. Sci. Volume 43:111
- Torres, V. & Seguí, Y. 2001 Practical procedure for the determination of the *a posteriori* power function. Cuban J. Agric. Sci. 35:297
- Varela, M. & Torres, V. 2005. Application of three-mode principal components analysis in the multivariate characterization of King grass somaclones. Cuban J. Agric. Sci. 39:527
- Vargas, J., Benitez, D., Torres, V., Velazquez, F. & Erazo, O. 2011. Typification of the cattle farms in the mountain feet of Los Ríos and Cotopaxi provinces of the Republic of Ecuador. Cuban J. Agric. Sci. 45:381
- Venero A. 1976 Number of replications in Latin square change-over designs for the estimation of residual effects. Cuban J. Agric. Sci. 10:231
- Willis, M. B., Menchaca, M. & Preston, T. R. 1973 The use of Brahman, Brown Swiss, Charolais, Criollo and Holstein bulls on Zebu cows: post weaning performance and carcass characteristics. Cuban J. Agric. Sci. 7:1
- Willis, M. B., Preston, T. R. & Menchaca, M. 1971. The use of Brahman, Brown Swiss, Charolais, Criollo and Holstein bulls on Zebu cows: performance to weaning. Cuban J. Agric. Sci. 5:247

Recibido: