

Contribuciones desde el Ministerio de Educación Superior a la modelación matemática y la informática para la toma de decisiones en el sector agrícola en Cuba



<https://cu-id.com/2247/v39e11>

Contribution from the Superior Ministry of Education to mathematical modeling and computing for decision making in agricultural sector in Cuba

Ileana Miranda Cabrera^{1*}, Rafael Ramírez Mirabal¹, Lucia Fernández Chuairey², Verena Torres Cárdenas³

¹Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria (CENSA). Aparatado 10. San José de las Lajas. Mayabeque, Cuba.

²Universidad Agraria de la Habana (UNAH). San José de las Lajas. Mayabeque, Cuba.

³Instituto de Ciencia Animal (ICA), Mayabeque, Cuba.

RESUMEN: Con el objetivo de divulgar el aporte de las universidades y los centros de investigación del Ministerio de Educación Superior (MES) de Cuba en el campo de las matemática e informática aplicadas a las ciencias agrícolas, se realizó un compendio de los principales trabajos publicados en estas ciencias y de las contribuciones realizadas, por parte de los matemáticos vinculados al sector agrícola, en la formación de profesionales dedicados a la sanidad vegetal. Se muestran trabajos de modelación algebraica y no algebraica, con contribuciones teóricas a la modelación y simulación de procesos. Además, se divulgan los sistemas informáticos registrados hasta el momento. Las aplicaciones prácticas incluyen estudios genotipo-ambiente en el contexto del cambio climático, ecología cuantitativa de poblaciones, modelación de cultivos y estudios geoespaciales, entre otros, conducentes a la elaboración de softwares con tecnología de primer nivel. Se ofrece, además, un listado de las tesis de maestría y doctorado en Biomatemática y biometría defendidas en los centros de investigaciones adscritos al MES, y los libros de estadística-matemática elaborados en instituciones de este ministerio, que constituyen un apoyo a las investigaciones del sector agrícola. El trabajo es una fuente de información para los estadísticos que investigan en este sector y es un complemento básico para la elaboración de nuevos proyectos multidisciplinarios.

Palabras clave: ecuaciones diferenciales, estadística, métodos multivariados, modelo lineal general, sanidad vegetal, software.

ABSTRACT: For the sake of divulging the contribution of the universities and the research centers of the Superior Ministry of Education (MES) of Cuba at the field of the mathematical and information-technology applied to the agricultural sciences, an abridgement of the principal works published in these sciences and of the contributions accomplished, by part of the mathematicians linked to the agricultural sector, in professionals' formation dedicated to the plant health. Works of algebraic and no algebraic modeling, with theoretic contributions to the models and simulation of processes were showed. Besides, the information-technology systems registered until now leak out. The practical applications include studies ambient genotype in the context of the climatic change, quantitative populations' ecology, crops modeling and geospatial studies, between other ones, conducive to the elaboration of softwares with technology of first level. A list of the theses of mastery and doctorate in Biomatemática and biometry defended in the centers of investigations ascribed a month are offered, besides, and the books of mathematical statistics elaborated at institutions of this ministry, that they constitute a support to the investigations of the agricultural sector. Work is a source of information for the statisticians that carry out an investigation at this sector and a basic complement for the elaboration of new multi-disciplinary projects.

Key words: Differential equations, statistics, multi-varied, model linear general methods, plant health, software.

INTRODUCCIÓN

La matemática es una herramienta en la toma de decisiones de cualquier esfera de investigación. En especial, la modelación ha cobrado auge en el estudio de las relaciones que se establecen en los agroecosistemas y, por consiguiente, ha contribuido a propiciar la elaboración de estrategias de manejo de los cultivos, incidiendo en la prevención y

disminución de los riesgos y pérdidas por plagas. También, se han realizado importantes aportes a los estudios de la mecanización agrícola, los sistemas de riego y otros aspectos destinados a la obtención de mayores rendimientos en los cultivos. Llevar a la práctica métodos y modelos matemáticos es más efectivo cuando estos son automatizados, por lo que la informática también es esencial en el desarrollo de las investigaciones de las ciencias agrícolas en Cuba.

*Correspondencia: Ileana Miranda Cabrera. E-mail: ileanam@censa.edu.cu

Recibido: 03/03/2020

Aceptado: 20/05/2020

En las universidades y los diferentes centros de investigación adscritos al Ministerio de Educación Superior (MES) se fomentó el trabajo multidisciplinario a través de proyectos de investigación y la interacción mancomunada de departamentos y facultades, lo que conllevó al desarrollo de modelos matemáticos y sistemas informáticos para la toma de decisiones en el sector agrícola. Lógicamente, existen investigaciones en esta esfera desarrolladas en instituciones del Ministerio de la Agricultura (MINAG), en esta ocasión se quiere reflejar el trabajo del MES en el campo de la matemática e informática aplicadas a la sanidad vegetal.

Los resultados son numerosos y no todos fueron difundidos entre los expertos dedicados a esta ciencia; el presente trabajo hace una selección de algunas de las investigaciones que, por su aporte, merecen estar recogidas en una publicación para facilitar el trabajo, tanto a matemáticos e informáticos que laboran en nuevos proyectos, como a especialistas de la sanidad vegetal. Dentro del gran campo de las matemáticas aplicadas solo se hace mención a los aportes en cuanto a modelación matemática por ser de relevante importancia para la toma de decisiones; se hace mención, además, a los sistemas informáticos con aplicación en la sanidad vegetal.

Con el objetivo de divulgar el aporte de las universidades y los centros de investigación del MES de Cuba en el campo de las matemática e informática aplicadas a las ciencias agrícolas, se realizó un compendio de los principales trabajos publicados en estas ciencias y del aporte realizado, por parte de matemáticos vinculados al sector agrícola, en la formación de profesionales dedicados a la sanidad vegetal. Sirva esta publicación para que, en el marco del año dedicado a la sanidad vegetal en Cuba, se haga un reconocimiento a las disciplinas no agrarias o biológicas que han respaldado las contribuciones cubanas en el sector agrícola.

PARTE ESPECIAL

Modelación matemática en la sanidad vegetal

Según la estructura de los modelos matemáticos, estos pueden dividirse en algebraicos y no algebraicos; en el primer grupo se encuentran las ecuaciones lineales y no lineales y en el segundo, los modelos de ecuaciones diferenciales, integrales y en diferencia (1).

Los modelos algébricos incluyen los modelos de análisis de varianza y análisis de regresión descritos según "modelo lineal general" (2). Señalando algunos modelos algebraicos elaborados por investigadores del MES-Cuba, se puede mencionar el estudio de la influencia de la temperatura ambiental y la fecha de siembra sobre la duración de las fases fenológicas en cuatro cultivares de arroz

(*Oryza sativa* L.) implementado por investigadores del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA) (3), indicando que igual proceder puede emplearse para el estudio de estas variables en otros cultivos.

Las investigaciones para desarrollar nuevos cultivares también incluyeron el desarrollo de modelos matemáticos, en especial las que contienen estudios de la interacción genotipo-ambiente, para evaluar el desarrollo y estabilidad de los cultivares en diferentes ambientes. Estos estudios se realizaron con diferentes cultivos y en diferentes regiones del país (4, 5, 6).

Las variables que intervienen en el estudio del desempeño de las maquinarias agrícolas también fueron modeladas (7), puesto que todos los procesos que inciden en el desarrollo de los cultivos son importantes para obtener mayores rendimientos, principal misión del sector agrícola.

Los modelos de regresión lineal y no lineal se emplearon para describir disímiles procesos del sector, una descripción detallada de estos modelos realizó Fernández *et al.* en un artículo reseña (2). Por la importancia que revisten, se describen algunas de las aplicaciones prácticas de estos modelos para que las experiencias puedan ser extrapoladas a otros cultivos. Así, por ejemplo, se realizó una comparación de dos modelos de respuesta a dosis de nitrógeno en maíz (*Zea mays* L.) y café (Coffea spp.) (8), se efectuó la modelación estadística experimental de deshidratación de la fruta bomba (*Carica papaya* L.) (9). Se emplearon modelos polinomiales como técnicas matemáticas para inferir cambios post-cosecha en las propiedades de productos agrícolas (10).

Aunque los modelos lineales son de amplia aplicación, algunos procesos no pueden ser descritos por ecuaciones tan simples, la mayoría de las interacciones entre las variables son descritas por modelos no lineales. Así, por ejemplo, se emplearon las ecuaciones de Chezy y Bazin para la estimación del caudal aplicado en el surco (11) y otros modelos no lineales para la simulación del caudal en vertederos utilizados en sistemas de riego (12). También, se modeló el proceso de secado solar de semillas, con el posterior estudio de equilibrio de las curvas de secado (13).

En el campo de los modelos algebraicos, también se hicieron aportes desde el punto de vista teórico, se puede señalar una descripción detallada de los métodos de comparación múltiple que permite a los especialistas decidir sobre cuál es más conveniente usar en cada investigación, es decir, con la lectura de este trabajo el investigador podrá discernir entre usar Duncan, Bonferroni, Tukey o cualquier otro método para comparar las medias, luego de haber realizado un análisis de varianza (14). Adicionalmente, Campos *et al.* hicieron un estudio detallado de las transformaciones de datos más empleadas para lograr que las variables cumplan los supuestos del modelo lineal general (15). También es importante destacar el

trabajo dirigido a describir el empleo correcto de los métodos estadísticos (16) o la adopción de métodos que, aunque ya fueron descritos, no son empleados por investigadores del sector agrícola como es el método de análisis de varianza con medidas repetidas, por solo mencionar uno (17, 18).

Aunque es referido por diferentes autores, vale destacar que el procedimiento para la búsqueda del modelo de mejor ajuste conlleva análisis del coeficiente de determinación, suma de cuadrado del error, significación del modelo y de los parámetros, distribución de los residuos y dócima de Durbin Watson (2).

La distribución probabilística de una variable es también un modelo algebraico que puede ser empleado en la predicción, ejemplo de ello es la predicción probabilística del escurrimiento superficial y la pérdida de sedimentos para eventos extremos (19, 20).

La combinación de modelos algebraicos dio lugar a resultados importantes en la optimización de procesos, es el caso de la metodología de superficie respuesta (21), cuyo procedimiento inicia con un análisis de varianza clásico, buscando el mejor de los tratamientos evaluados para, posteriormente, desarrollar un diseño de experimentos compuestos asociándole un modelo polinomial que describe una superficie. La derivada de este modelo ofrece un valor óptimo, procedimiento muy útil en la toma de decisiones. Ejemplo de ello fue la elaboración de superficie respuesta para optimizar las condiciones de almacenamiento y embalaje de un agente de control biológico (22).

Asimismo, se deben mencionar los modelos de simulación del comportamiento de los cultivos, que cobraron auge en los últimos años, con el uso del sistema DSSAT, actividad en la cual el INCA lleva la vanguardia, cuyos resultados se describieron en un artículo reseña, sobre los aportes de la modelación de cultivos en Cuba (23).

El estudio de la dinámica de las plagas en los ecosistemas ha sido una línea de modelación en la que el MES-Cuba, en particular el CENSA, es considerado líder de temática en el sector agrícola. Estos estudios iniciaron con trabajos sobre teoría de muestreo para la mejor toma de datos (24) y continuaron con la modelación y simulación de las interacciones que se establecen en el ecosistema, proceso descrito en un artículo reseña de Levins y Miranda (25). Se elaboraron modelos determinísticos para simular la dinámica de una plaga en interacción con uno o más enemigos naturales (26, 27, 28, 29).

En el campo de la estadística multivariada, también se hicieron aportes, proponiendo la modificación en métodos que llevan incluidos modelos matemáticos, como pueden ser las métricas empleadas en el análisis de conglomerados o los modelos de análisis discriminante. En este sentido, se elaboró una nueva

métrica para el análisis de conglomerados con variables mixtas (30), que tuvo aplicación práctica en la clasificación de genotipos de maíz (31). Otros ejemplos, son la elaboración de un sitio web para la clasificación taxonómica de ácaros depredadores que incluye el árbol taxonómico (32), la metodología propuesta para el cálculo de la función discriminante óptima (33), la generalización de los modelos AMMI para el análisis de componentes principales (34) y el modelo estadístico para la determinación de un índice de eficiencia de una variable (35).

En la actualidad se desarrollaron modelos más precisos como pueden ser los modelos estocásticos simples (36) o con cadena de Markov (37), los de fractales (38), los de lógica difusa (39), de procesamiento espacial de imágenes (40, 41), de vigilancia sindrómica (42) o los de redes neuronales (43).

Cada uno de los trabajos mencionados en este acápite, muestra un modelo matemático que resuelve una problemática de sector agrícola, este trabajo solo enumera los aportes para que los especialistas indaguen sobre la estructura de los modelos que mejor se ajustan a sus investigaciones.

Sistemas informáticos como herramientas de apoyo a la sanidad vegetal

Actualmente se emplean diversas y potentes herramientas informáticas para la simulación de los modelos, lo que facilita la toma de decisiones. Muchas de estas herramientas son privativas, por lo que para Cuba es necesario la creación de sus propios sistemas informáticos (44). Por ello, los centros de investigación y las universidades elaboraron software para automatizar diversos procesos, trabajo poco difundido en el sector. En la [Tabla 1](#) se muestran los que se publicaron, sirva esta recopilación para que los investigadores interesados se acerquen a los centros donde se elaboraron y puedan adquirirlos para sus investigaciones.

Accionar de la matemática en la formación profesional del sector agrícola

Los matemáticos vinculados a los centros de investigación participan, de forma activa, en la formación integral de todos los profesionales, ya que la mayoría de las investigaciones se fundamentan en la teoría de las estadísticas y las probabilidades, desde el diseño experimental hasta el análisis de los datos. En este trabajo, se hace mención a los libros de texto publicados y a los doctorados que, desde la matemática, dan solución a un problema agrícola. Aunque todas las tesis dan un lugar significativo a la estadística en la toma de decisiones, solo se hace mención a las que corresponden a especialistas matemáticos o informáticos que tributaron a doctorados en Ciencias Agrícolas.

Tabla 1. Sistemas informáticos para la investigación agrícola, elaborados por profesionales cubanos de las universidades o centros de investigación adscritos al MES/ Computer systems for agricultural research, created by Cuban professionals from the universities or research centers from MES.

| Sistema informático | Descripción | Centro de autoría | Año |
|-------------------------|--|-------------------------|------|
| Interlab | Realiza análisis estadísticos para los estudios inter-laboratorios, según metodología descrita en las normas ISO-9000 | CENSA | 1998 |
| Clatax | Sistema para la clasificación taxonómica. Realiza análisis de cluster con diferentes métricas y métodos, incluye el trabajo con matrices de variables mixtas. | CENSA | 1999 |
| ADE | Calcula índices ecológicos para el estudio de disposición espacial de poblaciones de artrópodos | CENSA | 2003 |
| | Sistema para la evaluación cuantitativa de los suelos | UCLV | 2004 |
| FitoVigia | Base de datos interactiva para la vigilancia de plagas en cuarentena | CENSA | 2009 |
| PhytoWeb | Sitio Web con características taxonómicas de ácaros de la familia Phytoseidae, muestra conglomerado de clasificación de los individuos. | UNAH-CENSA | 2009 |
| Semilla | Sitio web para la determinación de las necesidades de la semilla. El software permite calcular la cantidad de semillas necesarias para sembrar en el consejo popular de un municipio, garantizando los volúmenes de semilla certificada de granos, hortalizas, viandas y frutos. | INCA | 2010 |
| Smdlh | Software para el cálculo de indicadores energéticos, de explotación y económicos del sistema de distribución de humus de lombriz | UNAH - CEMA | 2010 |
| Termocal | Software para el cálculo de calentadores solares para su empleo en instalaciones agrícolas | UNAH | 2010 |
| Multimedia Tisanópteros | Guía electrónica para la identificación de los trips en la provincia de Guantánamo | CENSA | 2012 |
| TaviSoft | A partir de una base de datos, elabora la tabla de vida de una población de artrópodos. | CENSA | 2012 |
| SISCORFI | Aplicación web para el control de los recursos fitogenéticos | INCA | 2013 |
| CompaProWin | Sistema para realizar análisis de comparación múltiple de proporciones | CENSA | 2014 |
| SimulPop | Simula la dinámica de una plaga en interacción con un parasitoide, según modelo descrito por Anderson y May en 1981 | CENSA-UNAH | 2014 |
| SIDPP | Estimación bayesiana de la probabilidad de ocurrencia de un suceso, conociendo a priori los factores que lo condicionan. (Simulación de la distribución probabilística de poblaciones) | CENSA-UH | 2015 |
| ExploMaq | Software para la evaluación energética y económica de la maquinaria agrícola | UCLV | 2015 |
| SISDAM | Aplicación web para el procesamiento de datos según un diseño aumentado modificado | INCA | 2016 |
| DGT-PIAL | Sistema de información para el control de la Biodiversidad de cultivares y caracterización del cultivo de frijol en Cuba | INCA | 2018 |
| CurvePivot | Software para el diseño hidráulico de los sistemas de riego de pivote central | UNICA | 2018 |
| EntomoSoy | Sitio Web para el estudio de la entomofauna asociada a la soya (<i>Glycine max</i> (L.) Merrill) en Cuba. | Universidad de Matanzas | 2018 |
| ITSein | Software para estimar el límite de tolerancia en plantas de cultivo a nematodos agalleros, a partir de los Modelos de Seinhorst | CENSA | 2019 |

CENSA. Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria
 UNAH. Universidad Agraria de la Habana
 INCA. Instituto de Ciencias Agrícolas
 UNICA. Universidad de Ciego de Ávila
 UCLV. Universidad Central de las Villas
 CEMA. Centro de Mecanización Agropecuaria

La modelación matemática tiene sus fundamentos teóricos en la estadística, muchos son los autores cubanos que realizaron obras en este campo, no solo para ser utilizadas por especialistas matemáticos, sino también para fomentar los conocimientos de estadística entre los investigadores de otras especialidades. Por la finalidad de este artículo, haremos mención a aquellos libros que contienen ejemplos de aplicación y pueden servir de soporte a los proyectos de perfil agrícola. (Tabla 2)

En Cuba, luego del proceso de inscripción y auditoría de los programas doctorales y maestría, se identificaron como tributarios de modelos matemáticos para ser aplicados a la toma de decisiones en el sector agrícola: la maestría en Biomatemática, coordinada por la Universidad Agraria de la Habana; la maestría en Matemática aplicada, coordinada por la Universidad de la Habana; el doctorado en sanidad vegetal, que coordina el Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria y el doctorado en Biomatemática, que coordina el Instituto de Ciencia Animal.

Otros doctorados del sector agrícola que están categorizados y pudieran contener tesis con inclusión de modelos o sistemas informáticos son los programas: Ciencias técnicas agropecuarias de la UNAH, Ciencias Forestales de la Universidad de Pinar del Río, Ciencias Agrarias de la Universidad

de Granma, Producción agrícola sostenible de la UNAH, Ciencias agropecuarias de la Universidad de Matanzas, Ciencias Técnicas Agropecuarias y Ciencias Agrarias y Biotecnológicas, ambos de la Universidad de Ciego de Ávila. Se hace mención de estos programas para que los especialistas puedan buscar en los repositorios de tesis de las universidades las aplicaciones de modelación matemática que se ajusten a la temática que investigan. No obstante, ofrecemos un listado de las tesis con aporte al sector agrícola defendidas en la maestría de Biomatemática de la UNAH y el doctorado en Biomatemática del ICA, por contener contribuciones aplicadas específicamente a la toma de decisiones en el sector agrícola. (Tabla 3)

Los programas doctorales son de recién instauración en el país, por lo que es bueno señalar que los matemáticos e informáticos integrantes del comité doctoral de los programas mencionados con anterioridad, han realizado sus tesis como aporte al sector, además de impartir cursos de formación a especialistas del sector agrícola.

Los resultados de las investigaciones en áreas avanzadas de la Biomatemática y la informática permitieron saltos cualitativos en la Educación Superior, elevando la calidad de las investigaciones científicas y logrando especialistas competentes que dan respuesta a los retos de la Ciencia y la Técnica.

Tabla 2. Libros de estadística elaborados por profesionales cubanos de las universidades o centros de investigación adscritos al MES como apoyo a las investigaciones en ciencias agrícolas/ Statistical books prepared by Cuban professionals from universities or research centers from MES to support research in agricultural sciences.

| Título | Autor | Institución del MES | Año |
|---|---|---------------------------------|------|
| Ajuste de curvas experimentales | José Acosta Varela | Universidad de Santiago de Cuba | 1981 |
| Estadística | Juan Luis Cue | UH Facultad de Matemática | 1982 |
| Modelo Lineal y sus aplicaciones | Juan Luis Cue | UH. Facultad de Matemática | 1985 |
| Selección de Tablas Estadísticas | MES | UH. Facultad de Matemática | 1986 |
| Probabilidades y Estadística | Gladys Linares, Martínez Crespo, Nidia Hernández | UH. Facultad de Matemática | 1987 |
| Estadística Elemental | Efraín Yera Sánchez | UH Facultad de Economía | 1989 |
| Estadística | Caridad Wualkiria Guerra | UNAH | 1998 |
| Estadística | Caridad Wualkiria Guerra, Ernesto Méndez, Rolando Barrera, Esteban Egaña | UNAH - UH | 2004 |
| Análisis de Regresión y series cronológicas | Juana Pupo González | UH. Facultad de Economía | 2004 |
| Laboratorio de Estadística Matemática | Colectivo de autores | UH | 2006 |
| Probabilidades y Estadística para ciencias e ingenieros | Rosario Delgado Torres | UCLV | 2008 |
| Estadística Aplicada a la Sanidad Vegetal | Ileana Miranda Cabrera | CENSA | 2011 |

Tabla 3. Maestrías y doctorados en la temática de modelación matemática y/o informática aplicada a las ciencias agrícolas defendidas por profesionales cubanos de las universidades o centros de investigación adscritos al MES en el periodo 2000-2019/ Masters and PhD in the subject of mathematical modeling and / or computer science applied to agricultural sciences defended by Cuban professionals from the universities or research centers attached to MES in the period 2000-2019

| Maestrías | | | |
|--|-----------------------------|------|--|
| Título | Autor | Año | Centro donde se encuentra el documento |
| Estudio de estabilidad del modelo dinámico de interacción de una presa con dos depredadores. | Damiris Herrera | 2011 | UH |
| Etosoft Sistema de asistencia en etología de artrópodos benéficos | Miguel Enrique Acevedo Leal | 2016 | UNAH |
| Modelación y Simulación de la interacción planta- <i>Meloidogyne incognita</i> (Kofoid y White) Chitwood - <i>Trichoderma asperellum</i> Samuels, Lieckfeldt & Nirenberg | Hugo L Benítez García | 2019 | UNAH-CENSA |
| Doctorados | | | |
| Título | Autor | Año | Centro donde se encuentra el documento |
| Criterios estadísticos en la descripción del patrón espacial y diseño de muestreos para <i>Thrips palmi</i> Karny en papa. | Alcides Cabrera | 2002 | CENSA |
| Modelación de la dinámica poblacional de <i>Tetranychus urticae</i> en cítrico | Ileana Miranda | 2003 | CENSA |
| Algoritmo de clasificación jerárquica para la identificación taxonómica de especies cubanas de ácaros de la familia Phytoseiidae. | Dunia Chávez Esponda. | 2011 | UNAH |
| Aplicación del método Bootstrap en la simulación en parcelas permanentes de muestreo. | José Antonio Bravo Iglesia | 2011 | ICA |
| Métodos estadísticos alternativos de análisis con variables discretas y categóricas en investigaciones agropecuarias. | Magaly Herrera Villafranca | 2013 | ICA |

REFERENCIAS

1. Brito-Vallina M L, Alemán-Romero I, Fraga-Guerra E, Para-García J L, Arias-de Tapia RI. Papel de la modelación matemática en la formación de los ingenieros. Ingeniería Mecánica. 2011. 14(2):129-139.
2. Fernández-Chuairey L, Rangel-Montes de Oca L, Guerra-Bustillo C W, del Pozo-Fernández J. Modelación Estadístico-Matemática en Procesos Agrarios. Una aplicación en la Ingeniería Agrícola. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. 2019; 28(2):76-83. Cu-ID: <https://cu-id.com/2177/ojs1120>.
3. Maqueira L, Torres W, Pérez S A, Díaz D, Roján O. Influencia de la temperatura ambiental y la fecha de siembra sobre la duración de las fases fenológicas en cuatro cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.). Cultivos Tropicales. 2016; 37(1): 65-70. Cu-ID: <https://cu-id.com/2050/ojs1157>.
4. Salomón JL, Castillo JG, Arzuaga JA, Torres W, Caballero A, Varela M, et al. Análisis de la interacción progenie-ambiente con mini tubérculos a partir de semilla sexual de papa (*Solanum tuberosum*, L.) en Cuba. Cultivos Tropicales. 2015; 36(2):83-89. Cu-ID: <https://cu-id.com/2050/ojs969>
5. Gómez Y, Boicet T, Tornés N, Meriño Y. Interacción genotipo ambiente de cuatro variedades de tomate en la provincia Granma. Centro Agrícola. 2018;45(2):21-28.
6. Varela M, Castillo JG. Modelos con término multiplicativo. Aplicación en el análisis de interacción genotipo-ambiente. Cultivos Tropicales. 2005; 26(3):71-75. Cu-ID: <https://cu-id.com/2050/ojs459>.
7. González C, Rodríguez M, Herrera M. Predicción del desempeño de la tracción de la maquinaria agrícola en suelos húmedos. Centro Azúcar. 2006; 33(1):83-86.
8. Martín G, Pérez A, Rivera R, Bustamante C, Viñals R, Varela M. Comparación de dos modelos de respuesta a dosis de nitrógeno en maíz y café. Cultivos Tropicales. 2016;37(2):155-164. Cu-ID: <https://cu-id.com/2050/ojs1244>.
9. Díaz-Colomé Y, García-Pereira A, de Calzadilla-Pereira J, Chávez D, Jiménez YR, Fernández-Chuairey L. Modelación estadística experimental de la deshidratación de la fruta bomba (*Carica papaya* L.) variedad maradol roja. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. 2017;26(4):40-46. Cu-ID: <https://cu-id.com/2177/ojs800>.

10. Rangel-Montes de Oca L, Monzón-Monraba L, García-Coronado J, García-Pereira A. Técnicas matemáticas para inferir cambios pos cosecha en las propiedades de productos agrícolas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 2018; 27(4):33-45. Cu-ID: <https://cu-id.com/2177/ojs1013>.
11. Brown-Manrique O, Luis-Pelier D, Gallardo-Ballat Y. Metodología para la estimación del caudal aplicado en el surco a partir de las ecuaciones de Chezy y Bazin. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 2019;28(3):24-31. Cu-ID: <https://cu-id.com/2177/ojs1129>.
12. Sandoval-Mendoza LM, Miranda-Escobar JA, Brown-Manrique O, Mujica-Cervantes A, Bonilla-Rocha JD, Gallardo-Ballat Y. Modelos matemáticos para la simulación del caudal en vertedores Cipolleti utilizados en sistemas de riego. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 2017;26(1):57-65. Cu-ID: <https://cu-id.com/2177/ojs479>.
13. Collazo-Abreu PL, Morejón-Mesa Y, Fernández-Chuairey L, Vázquez-Alfonso Y. Modelos matemáticos experimentales para el análisis del secado solar de semillas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 2018; 27(1): 89-98. Cu-ID: <https://cu-id.com/2177/ojs863>.
14. Casas G, Novisel V. Aplicación de métodos de comparaciones múltiples en Biotecnología Vegetal. *Biotecnología Vegetal*. 2008;8(2):67-71.
15. Cabrera A, Guerra C, W Herrera, M Suris C. Non-parametric statistical methods and data transformations in agricultural pest population studies. *Agricultural Research*. 2012;72(3):441-443.
16. Calzadilla J, Guerra CW, Torres V. El uso y abuso de transformaciones matemáticas. Aplicaciones en modelos de análisis de varianza. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 2002;36(2):103-106.
17. Gómez S, Torres V, García YK, Herrera M, Medina Y, Rodríguez R. Statistical procedure for the analysis of experiments with repeated measures over time in the agricultural and livestock field. *Cuban Journal of Agricultural Science*. 2019; 53(4):1-8. Cu-ID: <https://cu-id.com/1996/ojs922>.
18. Gómez S, Torres V, Medina Y, Sardiñas Y. Application of the linear mixed and generalized mixed model as alternatives for analysis in experiments with repeated measures. *Cuban Journal of Agricultural Science*. 2019; 53(1):7-12. Cu-ID: <https://cu-id.com/1996/ojs853>
19. Alonso GR. Predicción probabilística del escurrimiento superficial y la pérdida de sedimento para eventos extremos. Parte I. Metodología. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 2016;25(3):31-42. Cu-ID: <https://cu-id.com/2177/ojs451>.
20. Alonso GR. Predicción probabilística del escurrimiento superficial y la pérdida de sedimento para eventos extremos. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 2016; 25(4):4-16. Cu-ID: <https://cu-id.com/2177/ojs457>.
21. Guerra-Bustillo CW, Ruiz-González A, Herrera-Villafranca M, Fernández-Chuairey L. La modelación matemático-estadística en la metodología de superficie respuesta. *Revista Ingeniería Agrícola*. 2018; 8(4):67-73. Cu-ID: <https://cu-id.com/2284/ojs1036>.
22. Miranda I, Arévalo J, Hidalgo-Díaz L. Metodología de superficie respuesta para evaluar estabilidad en almacén de un agente de control biológico. *Rev. Protección Veg*. 2013;28(3):224-228. Cu-ID: <https://cu-id.com/2247/ojs353>.
23. Rodríguez O, Florido R, Varela M. Aplicaciones de la modelación matemática y la simulación de cultivos agrícolas en Cuba. *Cultivos Tropicales*. 2018;39(1):121-126. Cu-ID: <https://cu-id.com/2050/ojs1436>.
24. Fortes D, Rafael H, Torres V. Determination of a sampling method for the morphophysiological grazing *Pennisetum purpureum* cv Cuba CT-115. *Cuban Journal of Agricultural Science*. 2007; 41(4):359-362.
25. Levins R, Miranda I. Mathematical models in crop protection. *Rev. Protección Veg*. 2007;22(1):1-17.
26. Miranda I, Herrera D, Valenciaga N, López M, Fernández M. Modelación de la interacción presa - dos depredadores para el sistema *Heteropsylla cubana* - *Chilocorus cacti* - *Chrysoperla* sp. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 2007;41(4):313-316.
27. Miranda I, Baños HL, Martínez M. Dynamical system and nonlinear regression for estimate host-parasitoid relationship. *Journal of Applied Mathematics*. 2010. ID 851037.
28. Baños HL, Miranda I, Martínez M. Modeling host-parasitoid interaction in the system *Diaphorina citri* - *Tamarixia radiata* on *Murraya paniculata*. *International J. of Math*. 2013;7(1): 1-14.
29. Miranda I, Hernández-Ochandia D, Hernández Y, Martínez B, Rodríguez MG. Modelación de la interacción *Meloidogyne incognita* (Kofoid y White) Chitwood - *Trichoderma asperellum* Samuels, Lieckfeldt & Nirenberg en garbanzo (*Cicer arietinum* L.). *Rev. Protección Veg*. 2016;31(3): 194-200. Cu-ID: <https://cu-id.com/2247/ojs850>.
30. Miranda I, Torres V. Coeficiente de similaridad para variables mixtas. I. Nueva propuesta. *Rev. Protección Veg*. 1998; 12(2): 127-131.

31. Chávez D, Miranda I, Varela M, Fernández L. Utilización del análisis de cluster con variables mixtas en la selección de genotipos de maíz (*Zea mays*). Revista Investigación Operacional. 2010; 30(3):209-216.
32. Chávez D, González C, Miranda I, Ramos M. PhytoseiidaeID: Clave Digital para la identificación taxonómica de ácaros depredadores (Acari: Phytoseiidae) de Cuba. Métodos en Ecología y Sistemática. 2014;9(3):30-40.
33. Chávez D, Burgos T, Hernández N. Metodología propuesta para el cálculo de la función discriminante óptima. Revista Investigación Operacional. 2000;21(3):210-215.
34. Varela M, Vicente JL, Galindo P, Blázquez A, Castillo JG, Estévez A. Una generalización de los modelos AMMI basada en el algoritmo de tuckals3 para el análisis de componentes principales de tres modos. Cultivos Tropicales. 2008; 29(1):69-72. Cu-ID: <https://cu-id.com/2050/ojs267>.
35. Navarro M, Febles G, Torres V. Utilization of the index of efficiency for estimating the influence of seed vigor on growth and seedling development. Cuban Journal Agricultural Science. 2016; 50(4):593-605. Cu-ID: <https://cu-id.com/1996/ojs664>.
36. Rivero-Villaverde A, Alonso-Brito GR, Lauquan A. Modelación lineal estocástica para el pronóstico de caudales en cuenca, región occidental de Cuba. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. 2018; 27(4):1-10. Cu-ID: <https://cu-id.com/2177/ojs1010>.
37. Rodríguez-López Y, Morejón-Mesa Y, Sosa-Guerra D, Blanco J M, Martínez-Bao O. Modelo de Markov para determinar la estructura racional del complejo cosecha-transporte en caña de azúcar. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. 2019; 28(1):1-6. Cu-ID: <https://cu-id.com/2177/ojs1081>.
38. Ernan A, Guerra R. Modelo fractal para la representación morfológica de la planta *Capsicum annuum* L. en 3D. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. 2017; 26(2):71-79. Cu-ID: <https://cu-id.com/2177/ojs493>.
39. Veitia E, Martínez-López Y. La toma de decisiones en la agricultura con empleo de modelos matemáticos difusos. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. 2019; 28(2):1-7. Cu-ID: <https://cu-id.com/2177/ojs1121>.
40. Díaz M, Rodríguez L, Casas G, Castellanos L, Cuador JJ. Análisis espacial de la intensidad del tizón temprano en tomate en tres municipios de Cienfuegos en la campaña 2012-2013. Centro Agrícola. 2014; 41(3):47-51.
41. Cruz M, Herrera M, Taboada A, García L. Determinación de la geometría del perfil del suelo mediante el método de tratamiento de imágenes. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. 2015; 24(4):31-35. Cu-ID: <https://cu-id.com/2177/ojs418>.
42. Fernández J, Fernández-Chuairey L, Alfonso P. El papel de las Series Temporales y los Modelos Autoregresivos (ARIMA) para la vigilancia sindrómica en la Sanidad Agropecuaria. Ciencia Universitaria. 2019; 17(1):1-36.
43. Lara D, Herrera M, García M M, Beltraniv R. Modelo computacional para la estimación de la densidad del suelo a través del sensoramiento continuo. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. 2018; 27(1): 46-53. Cu-ID: <https://cu-id.com/2177/ojs859>.
44. Benítez H, Miranda I. Desarrollo y aplicación de los modelos de simulación para el estudio de la dinámica de poblaciones. Rev. Protección Veg. 2018; 33(2):66-75. Cu-ID: <https://cu-id.com/2247/ojs963>.

Declaración de conflicto de intereses: Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

Contribución de los autores: Ileana Miranda Cabrera: **Conceptualización. Metodología. Escritura.** Rafael Ramírez Mirabal: **Curación de datos. Análisis Formal.** Lucia Fernández Chuairey: **Adquisición de Fondos. Investigación. Análisis formal.** Verena Torres Cárdenas: **Supervisión.**

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)