



MODELOS ESTADÍSTICOS-MATEMÁTICOS Y HERRAMIENTAS DE AGRICULTURA INTELIGENTE, SU APLICACIÓN EN LA DESCRIPCIÓN Y GESTIÓN DE PROCESOS AGRARIOS

STATISTICAL-MATHEMATICAL MODELS AND SMART AGRICULTURE TOOLS, THEIR APPLICATION IN THE DESCRIPTION AND MANAGEMENT OF AGRICULTURAL PROCESSES

¹LUCÍA FERNÁNDEZ CHUAIREY^{1*}, ²ELEIN TERRY ALFONSO², ³DUNIA PINEDA MEDINA³,
⁴NEYLI CHÁVEZ MILLARES¹, MARÍA VICTORIA GÓMEZ ÁGUILA⁴, ⁵NELSON ULISES LIM CHAMG¹

¹Universidad Agraria de La Habana (UNAH), Cuba

²Instituto Nacional de Ciencia Agrícola (INCA), Cuba

³Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria (CENSA), Cuba

⁴Universidad Autónoma de Chapingo (UACH), México

*Autor para correspondencia: Lucía Fernández Chuairoy, correo: lucia@unah.edu.cu

Resumen

Los profesionales de las Ciencias Básicas e Informáticas del Complejo Científico Docente (UNAH-CENSA-INCA-ICA), en su rol de investigación, capacitación y liderazgo social, asumen el desarrollo de investigaciones Agrarias asociadas a la Modelación Estadístico-Matemática, Simulación de Procesos y al empleo de herramientas de Agricultura Inteligente, encaminadas a la toma de decisiones óptimas. El presente trabajo tiene como objetivo mostrar los resultados alcanzados por el grupo Multidisciplinario en estas temáticas, así como las estrategias de investigación y de formación de Master en Biomatemática (Programa acreditado de excelencia). Se muestran antecedentes y el trabajo desarrollado por más de cuarenta años, en Metodologías Estadísticas y software especializados en estudios de procesos de crecimiento animal y vegetal, en comportamientos de plagas, curvas de lactancia, mejoramiento genético, así como, en la integración de distintas fuentes de datos y métodos para la realización de consultas inteligentes en un Sistema de Información Geográfica, entre otras. Se abordan retos actuales de investigación, asociados a la selección teórica de las redes neuronales como método de inteligencia artificial a emplear para el pronóstico de la incidencia de plagas en diferentes cultivos; el empleo de herramientas de Agricultura Inteligente aplicadas a la ganadería en la Universidad-Granja-Guayabal y Modelos de Simulación de cultivos (maíz) DSSAT, entre otros temas anclados a un Proyecto del Programa Nacional de Ciencias Básicas y Biológicas (PNCB 2024-2026). Se concluye que el trabajo multidisciplinario, desde la gestión de las Ciencias Básicas e Informáticas, permiten saltos cualitativos y hacen frente a los desafíos, retos y desarrollo de la sociedad.

Abstract

The professionals of Basic Sciences and Computer Science of the Scientific Teaching Complex (UNAH-CENSA-INCA-ICA), in their role of research, training and social leadership, assume the development of Agricultural research associated with Statistical-Mathematical Modeling, Process Simulation and the use of Smart Agriculture tools, aimed at making optimal decisions. The objective of this work is to show the results achieved by the Multidisciplinary group in these topics, as well as the research and training strategies of the Master in Biomathematics (Accredited Program of Excellence). Background and work developed for more than forty years is shown in Statistical Methodologies and software specialized in studies of animal and plant growth processes, pest behavior, lactation curves, genetic improvement, as well as in the integration of different sources of data and methods for carrying out intelligent queries in a Geographic Information System, among others. Current research challenges are addressed, associated with the theoretical selection of neural networks as an artificial intelligence method to be used to predict the incidence of pests in different crops; the use of Smart Agriculture tools applied to livestock at the University-Farm-Guayabal and DSSAT Crop Simulation Models (corn), among other topics anchored to a Project of the National Program of Basic and Biological Sciences (PNCB 2024-2026). It is concluded that multidisciplinary work, from the management of Basic and Computer Sciences, allows qualitative leaps and addresses the challenges and development of society.

Palabras claves: Modelación Matemática, Inteligencia Artificial, Simulación de Procesos

Keywords: Mathematical Modeling, Artificial intelligence, Process Simulation

Recibido: 18 de junio de 2024

Aceptado: 17 de julio de 2024

Conflicto de intereses: Los autores de este trabajo no declaran conflicto de intereses.

CONTRIBUCION DE AUTORES: Los autores participaron en el diseño y redacción del trabajo, además del análisis de los documentos.



Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0). <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



Introducción

Por lo general en el sector Agrario las Universidades, los centros productivos y de investigación solicitan la colaboración de matemáticos, físicos, informáticos y expertos afines para el desarrollo eficiente de sus proyectos de Investigación, así como para el procesamiento y análisis de datos y la búsqueda de soluciones y producciones óptimas.

Los profesionales que asumen estos retos, requieren del desarrollo de nuevos modelos, algoritmos y de una constante actualización en procedimientos estadístico - matemáticos de avanzada, metodologías de trabajo, software especializados y herramientas de agricultura inteligente, cuyo uso favorecen el análisis, la toma de decisiones y los resultados de los procesos productivos y de innovación que se lleven a cabo.

Por tal motivo desde 1994 hasta actualidad la Universidad Agraria de La Habana (UNAH), centra y desarrolla la línea de investigación "Matemática e Informática Aplicada" que incluye sublíneas como: Modelación y Simulación de Proceso, Agrofísica y Geoinformática Agrícola y la de Informática Aplicada a los Sistemas Agrarios, las que han estado vinculadas a Proyectos de Investigación Nacionales e Internacionales afines y contemplan diferentes Procesos Agrarios. El presente Trabajo tiene como objetivo divulgar algunas experiencias y resultados alcanzados por el grupo de Biomatemática del Complejo Científico Docente (UNAH-CENSA-INCA-ICA) en lo investigativo, en formación de Master en Biomatemática y la actividad científico - docente-investigativa.

Desarrollo

El grupo de investigación de biomatemática (UNAH-INCA-CENSA-ICA)

La Universidad Agraria de La Habana es centro rector de la mayoría de las carreras agropecuarias en Cuba y tiene como fortaleza, formar parte de un Complejo Científico-Docente-Productivo que da respuesta a diferentes Procesos Agrarios en las áreas de la Producción Animal, la Ciencia Agrícola y la Sanidad Agropecuaria entre otros fenómenos de la vida real.



El grupo investigación de Biomatemática de este complejo Científico- Docente por más de 40 años, asume retos y demandas crecientes en el área de la Matemática e Informática Aplicada, con resultados relevantes en lo investigativo, de capacitación, de formación de Master en Biomatemática y doctores en Ciencias en el sector Agrario.

Antecedentes e investigaciones asociadas

Las investigaciones desarrolladas y resultados alcanzados son parte de un cúmulo de Proyectos de Investigación Nacionales e Internacionales desarrollados y liderados por el grupo, se muestran en orden cronológico (fecha de inicio) algunos de estos tópicos de investigaciones desarrollados, como son:

Modelación Matemática de procesos agrarios y biológicos relacionados con los Modelos lineales y no lineales del crecimiento ponderal, de plantas y animales (relacionado con los modelos de tipo sigmoidales), (1996).

La Modelación Matemática mediante ecuaciones diferenciales y la Programación Lineal, vinculada a investigaciones sobre la optimización del parque de máquinas agrícolas, la rotación de cultivos entre otros procesos y la Modelación Probabilística para investigar el comportamiento de plagas y otros procesos (1996).

Modelos de simulación y análisis de la potencia en Modelos de Análisis de Varianza (1998; 2000). Así como las técnicas de la Estadística Multivariada en las Ciencias Agrícolas, (1996), entre otras temáticas.

Comportamiento de la plaga introducida en Cuba del Thrips palmi Karny (Thysanoptera: Thripidae) en el cultivo de papa y otros aspectos de Ecología cuantitativa (2002; 2003 y 2008).

Evaluaciones y mejoramientos genéticos en bovinos (con el empleo del BLUP Modelo animal y el uso del pesaje en el día de control), se incorporan Modelos de regresiones aleatorias para la estimación de parámetros genéticos, (2008; 2011, 2012).

Modelación Estadístico-Matemática variables categóricas y mixtas, la Regresión Categórica (CATREG) y el Análisis de Componentes Principales Categórico (CATPCA), donde se realizaron investigaciones conjuntas sobre el sistema de producción-comercialización del ganado caprino-ovino en La Guajira colombiana, así como también en la sostenibilidad de empresas pecuaria cubana del occidente del país. Se incluyó procedimientos alternativos de análisis con variables discretas y categóricas en investigaciones agropecuarias (2010, 2014, 2016).

Modelación lineal estocástica para el pronóstico de caudales en cuenca, región occidental de Cuba y en la prevención de inundaciones en la zona agrícola de Cuyaguateje. (2016, 2018).

Empleo de series temporales y modelos autoregresivos Integrado de Medias Móviles (ARIMA) para la vigilancia sindrómica en crías de cerdos. Incluyó Metodología de trabajo (2019).

MODELO DSSAT Uso del Sistema de Apoyo para toma de Decisiones de Transferencia Agrotecnológica (DSSAT) para estimar la dosis óptima de fertilizante nitrogenado para la variedad de arroz J-104 y modelo DSSAT-CROPGRO en estrategias de manejos para la soya (2018, 2019).

Metodología de Superficie de Respuesta (MSR) en los cultivos de la caña de azúcar, cítricos, pastos y forrajes (para determinar condiciones óptimas de fertilización), y en las Ciencias Técnicas Agropecuarias (en la evaluación del funcionamiento óptimo del motor de combustión interna al emplear mezclas diésel-etanol). (2019).

Modelación matemática de la fluctuación poblacional de Trips (Insecta: Thysanoptera) en *Solanum tuberosum* L. (2022).

Integración de distintas fuentes de datos y Método para la realización de consultas inteligentes en un Sistema de Información Geográfica (2022).

Algunos de estos resultados han sido reportados por: Fernández, L y col (2011, 2019); Jiménez, Y y col (2012); Vázquez, Y (2014); Miranda, I y col (2016); Rivero, A y col (2018); Guerra, W. (2019); Fernández Liansy y col (2020); Herrera, M y col (2020); Rodríguez, O y col (2020); Del pozo y col (2021), González, J y col (2022); entre otros.

Introducción y generalización de resultados (transferencia de conocimientos)

Los resultados alcanzados en estos tópicos, unido a una alta demanda de profesionales del sector agrario que requieren de sólidos conocimientos en Métodos Estadísticos de avanzada y metodologías de trabajo, llevaron al grupo de Biomatemática a trazar un grupo de acciones para la introducción de resultados, que incluyó:

- Actualizar programas de cursos de postgrado, especialidad, Maestrías y doctorados que se desarrollan en el complejo, que incluyan los conocimientos, modelos y metodología de trabajo alcanzados.
- Diseñar de cursos teóricos-prácticos, que incluyen problemáticas actuales asociadas a cada especialidad.
- Lograr en cada curso correspondencia entre el lenguaje matemático-biológico.
- Brindar asesoría a tesis de grado, maestrías y/o doctorado que requieran del empleo de las nuevas herramientas y procedimientos estadísticos alcanzados
- Entre otros aspectos

Las metodologías que forman parte de estas y otras investigaciones se introducen y generalizan en la docencia de pregrado y postgrado, lo que ha contribuido al desarrollo docente y científico - investigativo en las Ciencias básicas. De igual forma logra la transferencia de conocimientos en la red universidades nacionales y centros de investigación fundamentalmente del sector Agrario y en Universidades extranjeras como: ARGENTINA (Universidad Nacional de Lomas de Zamora. (UNLZ), Universidad de Buenos Aires (UBA), BRASIL (Universidad Estadual Paulista (UNESP), COLOMBIA (Universidad de la Guajira), ESPAÑA (Universidad de Granada, Universidad de Zaragoza, Universidad de Alicante), ECUADOR (Universidad Estatal Amazónica (UEA), Universidad Agraria del Ecuador (UAE), Universidad de Loja, Universidad Estatal Península Santa Elena(UPSE)). MÉXICO (Universidad Veracruzana, Universidad Autónoma de Chapingo, VENEZUELA (Instituto Universitario de Tecnología del Estado de Trujillo, Instituto Universitario de Tecnología José Antonio Anzoátegui (IUTJAA).

Formación de master en biomatemática.

Las diferentes estrategias de Investigación y capacitación en el área de la Matemática e Informática Aplicada, se centran fundamentalmente en la MAESTRÍA EN BIOMATEMÁTICA hoy en su cuarta edición y acreditada por la Junta de Acreditación Nacional (JAN, 2021) como PROGRAMA DE EXCELENCIA. Esta maestría responde Proyectos de investigación de los diferentes centros y en la actualidad coordina dos de ellos.

1. Proyecto de integración Universidad-Granja Guayabal, titulado " Las Ciencias Básicas e informáticas frente a los retos tecnológicos y científicos en la UNAH " (2021-2024), es un proyecto encaminado al desarrollo del escenario tecnológico-científico-docente-productivo de la agricultura cubana en la Granja Universitaria Guayabal", enfocado en la integración Universidad-empresa y dirigido al logro de espacios de investigación, producción sostenible y la obtención de mayor cantidad de alimentos saludables con beneficios a estudiantes, la comunidad científica y su entorno.
2. Proyecto del Programa Nacional de Ciencias Básicas y Naturales, titulado " Desarrollo de Modelos Estadísticos-Matemáticos y herramientas de la Agricultura Inteligente, para su aplicación en la descripción y gestión de Procesos Agrarios". (PN223LH010-066., período 2024-2026), cuyo objetivo general está dirigido a desarrollar nuevos conocimientos necesarios para la aplicación de Modelos Estadísticos-Matemáticos, la Simulación de Procesos Agrarios y herramientas de la Agricultura Inteligente a la descripción y gestión de Procesos Agrarios para la toma de decisiones óptimas.

Parte de los resultados de estos proyectos se centran en el desarrollo de nuevos tópicos de investigación, como son:

1. Obtención de modelos de pronósticos que emplean la inteligencia artificial para crear herramientas informáticas que faciliten la toma de decisiones en cuanto al manejo de plagas agrícolas
2. Obtener los Modelo Matemático que mejor describen Procesos Agrarios bajo las nuevas condiciones experimentales, así como modelos de optimización que permitan la toma de decisiones óptimas.
3. Aplicar herramientas de la Agricultura inteligente (modelos de simulación DSSAT en el cultivo de granos básicos y en control de los indicadores ganaderos) para el manejo eficiente de la información agrícola en el Complejo Científico, Incluyendo el escenario tecnológico-científico-docente-productivo Universidad Agraria- empresa Guayabal

Se destaca la elevada correspondencia de las investigaciones que se abordan con las necesidades sociales actuales y perspectivas del territorio, el país y otros países, lo que constituye un reto permanente en el área de la Matemática Aplicada, para este grupo de especialistas y que mantiene como perspectiva constante:

- Desarrollar nuevas estrategias de investigación con vistas a incrementar los resultados alcanzados
- Generar nuevos conceptos, modelos y metodología de trabajos que den respuesta a las nuevas problemáticas en el sector agrario y afines.
- Fortalecer la cooperación y transferencia de conocimientos
- Continuar con la Generalización de resultados en los programas de Maestrías y doctorados que se desarrollan en el ámbito nacional e internacionalmente
- Contribuir a una mayor visibilidad y prestigio de las Ciencias básicas, mediante el incremento del número de publicaciones científicas en revistas nacionales e internacionales
- Fortificar la formación de jóvenes profesiones como master en Biomatemática (desarrollada en la Universidad Agraria de La Habana), y lograr especialistas competentes que den respuesta a los retos docentes y científico-investigativo de la nueva Universidad

La garantía de la calidad en el desarrollo, introducción y generalización de cada resultado, radica en el trabajo multidisciplinario, que reúne a expertos biomatemáticos del Complejo Científico Docente (UNAH-ICA-CENSA-INCA) que unidos a otros especialistas realizaran actividades conjuntas y estrategias de investigación que permitan dar respuesta a proyectos de investigación y la formación posgraduada, que cumplan con su roll en el desarrollo del país.

Conclusiones

La integración de las Ciencias Básica e Informáticas a Proyectos de Investigación, la impartición de cursos de Estadística (con enfoque teóricos-prácticos y software especializados) y la transferencia de conocimientos de metodologías Estadístico-Matemática, permite saltos cualitativos en la Educación Superior, eleva la calidad de las Investigaciones Científicas y logra especialistas competentes que dan respuesta a los retos de la Nueva Sociedad.

Referencias

- Del Pozo J, Fernández, L, Abreu Y; Cabrera J; Alfonso, P: "Potencial de vigilancia sindrómica a partir de modelos ARIMA de nacimientos y mortalidad de crías porcinas". Revista de Salud Animal. Vol. 43 (1). 2021.
- Fernández Chuairoy. 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 de Ciencias Técnicas Agropecuaria, vol.28 (2), 2019.
- Fernández L; Tonhati, H; Albuquerque, L.G, Aspilueta-Borquis, R. R; Menéndez Buxadera, A: " Empleo de Regresiones Aleatorias para estimación de parámetros genéticos y estudios de curvas de lactancia en animales de la raza Holstein en Cuba. Revista Cubana de Ciencia Agrícola", 45(1), 2011.
- Fernández L, del Pozo P P, Fernández L y Herrera R: "Utilización de la metodología de superficie de respuesta para modelar los cambios en la productividad de *Cynodon nlemfuensis* Vandyerst. Revista de Pastos y Forrajes 43(4), 284-292, 2020.
- González, J, Elisondo A.I: Miranda, I. Modelacion de fluctuación poblacional de insectos en un ecosistema.Revista de Proteccion Vegetal, 37 (2), 2022.
- Guerra,W; Herrera, M; Fernandez, L and Rodríguez N: " Categorical regression model for the analysis and interpretation of statistical power", Cuban Journal of Agricultural Science. 53(1) 2019.
- Herrera M; Galindo J; Padilla C; Guerra, C.W, Medina Y; Sarduy L : "Propuesta del modelo lineal mixto y generalizado mixto para el análisis de un experimento de la microbiología del rumen. Cuban Journal of Agricultural Science, 54(2), 2020.
- Jiménez Y.R; Fernández L; Capó J.R.: "Modelos Matemáticos para el pronóstico de indicadores cuantitativos que miden la calidad de la Educación Superior en la carrera de Agronomía de la Universidad Agraria de la Habana", Revista Investigación Operacional, 32(2): 173-179, 2012.
- Miranda, I; Cabrera,D; Hernández, Y; Hernández del Amo,B; Martínez,M. Rodríguez G: "Modelación de la

- interacción *Meloidogyne incognita* (Kofoid y White) Chitwood *Trichoderma asperellum* Samuels, Lieckfeldt & Nirenberg en garbanzo (*Cicer arietinum* L.)". Rev Protección Vegetal, 31(3). 2016.
- Rivero, A; Alonso, G; Lau, A: "Modelación lineal estocástica para el pronóstico de caudales en cuenca, región occidental de Cuba" Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias", 27(4), 2018.
- Rodríguez; O; Florido, R; Varela, M: "Aplicación de la herramienta de modelación DSSAT para estimar la dosis óptima de fertilizante nitrogenado para la variedad de arroz J-104", Revista de cultivos tropicales, 41(2), 2020.
- Vázquez, Y; Guerra, C.W; Sánchez, O.E: "Modelación estadístico-computacional para el estudio de la sostenibilidad socioeconómica de la empresa pecuaria valle del Perú", Revista investigación operacional, 35(2): 121-129, 2014.