

# Metodología para la aplicación de Ciencia e Innovación Tecnológica en apoyo a seguridad alimentaria sostenible



## Methodology for application of Science and Technological Innovation in sustainable food security

<https://cu-id.com/2284/v14n1e08>

<sup>id</sup>Luis B. Rivero-Ramos\*, <sup>id</sup>Silvio López-Sardiñas, <sup>id</sup>Manuel Farradás-Campos, <sup>id</sup>Emma Fuentes-Alfonso, <sup>id</sup>Juan M. Pérez-Jiménez, <sup>id</sup>Mileydis Demedio-Revilla, <sup>id</sup>Teresa Fraser-Gálvez, <sup>id</sup>Amaury Beltrán-Méndez, <sup>id</sup>Roberto Morales-Morales, <sup>id</sup>Mario La O-Quiala

Instituto de Suelos, Boyeros, La Habana, Cuba.

**RESUMEN:** Se presenta la metodología *MetodCGEI* para aplicar Ciencia e Innovación Tecnológica en áreas dedicadas a procesos productivos claves en seguridad alimentaria sostenible y adaptación al cambio climático, dependientes de recursos naturales y creados por el hombre: geología, suelos, fuentes de agua, cubierta vegetal, relieve, clima, infraestructura hidráulica, tenencia y uso de la tierra, infraestructura vial y población. El análisis de recursos bajo un enfoque sistémico es clave y se facilita por el desarrollo alcanzado en tecnologías de la información: Sistema de Posicionamiento Global (*GPS*); Teledetección (*TD*); Cartografía Automatizada (*CAD*) y Sistema de Información Geográfica (*SIG*), asociadas a programas para análisis estadístico avanzado (*R*) y programas auxiliares. Estas tecnologías se han aplicado, pero con criterios muy diversos, resultados dispersos y muy bajo nivel de integración, lo que supera este trabajo con una concepción geoespacial integral (*CGEI*), la que requiere de metodología basada en modelo integrador. De aquí deriva el resultado principal expresado en indicaciones metodológicas (*Metod*) para aplicar *CGEI* en enfrentamiento a los problemas mencionados y se expresa como *MetodCGEI*, la que se ejecuta a través de un modelo integrador(*ModInteg*).

**Palabras clave:** MetodCGEI, procesos productivos clave, enfoque sistémico.

**ABSTRACT:** A methodology (hereinafter MetodCGEI) is presented for application of Science and Technological Innovation in areas dedicated to key production processes in sustainable food security and adaptation to change climatic, dependent on the behavior of natural and man-made resources: geology, soils, water resources, vegetation cover, relief, climate, hydraulic infrastructure, land tenure, land use, road infrastructure and population. The analysis of these resources under a systemic approach is key today and is facilitated by the development achieved advanced information technologies, such as: Global Positioning System (GPS); Remote Sensing (TD); Automated Cartography (CAD) and Geographical Information System (GIS), associated with programs for advanced statically analysis (R) and auxiliary programs. Are technologies have been applied, but with very diverse criteria, disperse results and e very low integration, which aims to overcome this work with a comprehensive geospatial conception (CGEI), which requires a methodology based on an integrative model. From this it follows that thee main result is specified in methodology indications (*Metod*) to apply comprehensive geospatial conception (*CGEI*) in the confrontation with the mentioned problems and is expressed as *MetodCGEI*, which is executed through a integrate model (*ModInteg*).

**Keywords:** MetodCGEI, Key Productive Processes, Systemic Approach.

\*Autor para correspondencia: Luis B. Rivero-Ramos, e-mail: [luisrrg235@gmail.com](mailto:luisrrg235@gmail.com)

Recibido: 14/06/2023

Aceptado: 08/12/2023

## INTRODUCCIÓN

Bajo las condiciones edafoclimáticas e histórico-naturales de Cuba, la seguridad alimentaria sostenible y adaptación al cambio climático dependen, en lo fundamental, de la producción agropecuaria y forestal desarrollada en áreas de diferentes dimensiones, cuyas características se asocian al comportamiento de una serie de factores de origen natural que podemos definir como **componentes claves de ecosistemas terrestres (ET)**: geología, suelos, fuentes de agua, cobertura vegetal, relieve y clima. La mayor parte de los **ET** han sido intervenidos por el hombre en la referida producción y la creación de otros bienes necesarios para las comunidades, con lo que se han conformado agroecosistemas (**AES**) en los cuales, además de los componentes de origen natural, están los creados por el hombre: infraestructura hidráulica, tenencia de la tierra, uso de la tierra, infraestructura vial y población. En lo adelante utilizaremos la frase **componentes claves de ET y AES** y se hace énfasis en la necesaria integración de información, conocimientos y experiencia sobre los mismos, bajo una concepción geoespacial integral (**CGEI**).

Con el agravamiento de la crisis económica mundial y el acelerado deterioro de los **componentes claves de ET y AES**, crece la necesidad del mejor uso y manejo posible de esos recursos, dentro de los cuales el suelo juega un papel fundamental. Bajo esta premisa, se creó el documento “*Instrumentación jurídica que implementa la Política de Conservación, Mejoramiento y Manejo Sostenible de los Suelos y el uso de los Fertilizantes*”, publicado en la [Gaceta Oficial de la República de Cuba \(2021\)](#). También se emitió la “*Ley de Soberanía y Seguridad Alimentaria y Nutricional (SSAN)*”, la que aparece en la [Gaceta Oficial de la República de Cuba \(2022\)](#). Para todos estos campos de acciones, resulta imprescindible una rigurosa organización, análisis e integración de la información existente y la nueva que se obtenga, en cuya dirección se enfoca el resultado principal de este trabajo, identificado como **MetodCGEI**.

La falta de integración aparece como una de las barreras que dificultan el manejo sostenible de tierra (**MST**), señalado por [CITMA-Cuba \(2009\)](#); [Rivero et al. \(2018\)](#) y [Urquiza \(2011\)](#). Aunque se ha avanzado en la integración, aún quedan problemas claves por resolver, sobre todo en lo que se refiere a la concepción acerca de cómo utilizar, en este campo, los avances de las **TAInf**, dirección en la cual se enfocan los trabajos de [Rivero et al. \(2013, 2018, 2022\)](#).

McBratney et al. (citado por [FAO \(2022\)](#)) desarrollaron la ecuación conceptual  $S = f(s, c, o, r, p, a, n)$  para modelar clases o atributos del suelo (S) en función de otras propiedades de este componente (s), propiedades del clima (c), organismos

vivos y actividad humana (o), atributos de la tierra (r), material de origen (p), edad del suelo y posición geográfica (n). En la aplicación de la referida ecuación a un territorio determinado, se usan tecnologías modernas de la información (**TAInf**) de conjunto con análisis estadístico avanzado ([Malone et al., 2017](#)). Lo planteado por estos autores es una base para establecer la interrelación de los suelos con los demás componentes claves de ET y AES. En consecuencia, se plantea el objetivo general del presente trabajo: crear la metodología **MetodCGEI** en respuesta a la necesaria integración de información, conocimientos y experiencia práctica sobre los **componentes claves de ET y AES**, de modo que se faciliten las decisiones dirigidas a seguridad alimentaria sostenible y adaptación al cambio climático. De aquí derivan cuatro objetivos específicos: (1) identificar **componentes claves de ET y AES** como parte del **ModInteg**; (2) desarrollar el **ModInteg**; (3) definir las bases científico-técnicas y materiales en que se apoya el desarrollo y aplicación de la **MetodCGEI**; (4) desarrollar un ejemplo de aplicación de la **MetodCGEI** que sirva de referencia para las diversas formas en que se presente la realidad del terreno.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Síntesis del procedimiento para crear **MetodCGEI**

En correspondencia con los objetivos específicos, el camino seguido para la creación de **MetodCGEI** contempló cuatro pasos principales: (1) definición de los componentes de **ET y AES** que son claves en la producción agropecuaria y forestal y adaptación al cambio climático en cada territorio en que se ejecuten los proyectos de desarrollo. Para estos componentes se definen los atributos que los caracterizan, expresados como variables, indicadores y clases; (2) creación de un modelo de interrelación (**ModInteg**) para integrar información, conocimientos y experiencia práctica sobre de los componentes claves. Es un elemento auxiliar de **MetodCGEI** para guiar la forma en que deben realizarse las interrelaciones en el proceso de integración y sintetizar los resultados a que se llega a través de la misma; (3) definir la base científico-técnica y material en que se apoya la aplicación de **MetodCGEI**. Aquí se tuvieron en cuenta tecnologías, equipamiento de cómputo, programas, instalaciones y otros aspectos de la logística para la adquisición, organización, procesamiento, integración y análisis de información; (4) se aplicó la **MetodCGEI** en la parte superior de la cuenca hidrográfica del Río Chambas, la que se definió como patrón a seguir en cualquier territorio de interés.

## Síntesis de cada paso

### Definición de componentes claves de *ET* y *AES*

Se tuvo en cuenta que, en las condiciones histórico-naturales de Cuba, la mayor parte de los *ET* se han transformado en *AES* por la acción del hombre, encaminada a la producción de alimentos y la formación de la base necesaria para ello. Además de alimentos, las comunidades necesitan fuentes de agua e infraestructura para su aprovechamiento, infraestructura habitacional, infraestructura vial y otros bienes. Esto implica que, en los territorios, se va conformando una estructura muy compleja en la que se interrelacionan componentes de origen natural y componentes creados por el hombre, por lo que una frase clave utilizada en este trabajo es *componentes claves de ET y AES*. La definición de esos componentes, ordenamiento, caracterización e integración, forman parte de *MetodCGEI* que es un resultado de este trabajo.

### Creación del modelo de interrelación *ModInteg*

En el epígrafe anterior se hizo referencia a que *ModInteg* es un elemento auxiliar de *MetodCGEI*, creado para establecer interrelaciones entre *componentes claves de ET y AES* en el territorio en que se realicen las aplicaciones, lo que implica establecer la lógica de dichas interrelaciones en cada contexto en que se trabaje y expresarla en un modelo coherente, el que también forma parte del resultado *MetodCGEI*. Se contemplan observaciones de campo, muestreos y análisis de laboratorio para comprobar las interrelaciones derivadas del análisis en el *ModInteg*.

### Base científico-técnica y material en que se apoya *MetodCGEI*

Se aplican tecnologías avanzadas de la información (*TAInf*), que han sido desarrolladas para la obtención, organización, procesamiento, análisis e integración de grandes volúmenes de datos. Entre las principales figuras: Sistema de Posicionamiento Global (GPS); Teledetección (TD); Cartografía Automatizada (CAD) y Sistema de Información Geográfica (SIG), asociadas a programas para análisis estadístico avanzado (*R*) y otros programas auxiliares. Esas tecnologías son de uso muy amplio, por lo que su aplicación en la problemática específica a que se refiere este trabajo, requiere de indicaciones metodológicas, las que forman parte del resultado *MetodCGEI*. Se realizaron análisis de laboratorio y pruebas de campo, a cuya logística y métodos específicos se hace referencia más adelante.

## Desarrollo de *MetodCGEI* en un área patrón

A los efectos de este trabajo, el área patrón constituye el ejemplo de aplicación de *MetodCGEI*, al mismo tiempo que los resultados obtenidos en la misma han sido y pueden ser utilizados en proyectos a ejecutar en ese territorio. La misma comprende la parte superior de la cuenca hidrográfica del Río Chambas, en el noroeste de la provincia de Ciego de Ávila (en lo adelante *AR2906Flor*). Los límites son los siguientes:

Este - Oeste: -78.876199° hasta -79.059774°; Sur - Norte: 22.040318° hasta 22.168289°

Longitud/Latitud (WGS 84) (EPSG: 4326)

Se tuvo en cuenta que el tamaño del área y sus características generales permitieran desarrollar los pasos y procedimientos necesarios para completar la metodología propuesta. Por esta razón es un área relativamente pequeña propicia para crear las distribuciones geoespaciales que caracterizan a los componentes a una escala cartográfica de 1: 10 000; no obstante, la metodología puede aplicarse a cualquier tamaño de área, con la correspondiente adecuación de la escala de trabajo y todas las consideraciones que la misma lleva implícito. Esta área forma parte del resultado *MetodCGEI*.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Análisis del resultado *MetodCGEI*

Este resultado consta de cuatro partes principales, los que se describen a continuación.

### Ordenamiento y caracterización de *componentes claves de ET y AES*

Se considera la existencia de once componentes claves, con las variables, indicadores y clases más importantes que los caracterizan (*Tabla 1*). Se aclara que la *Tabla 1* es parte de una relación mucho más amplia de variables, indicadores y clases que puede consultarse siempre que sea necesario. El orden establecido en la primera columna de la *Tabla 1* es parte de la organización de la información. La letra *a* se deja para la parte de los datos que corresponden a identificación del territorio, su ubicación geográfica, sistemas de coordenadas y otros datos accesorios. En las bases de datos de cada componente se incluyen tres grupos principales de datos: espaciales, alfanuméricos y descriptivos (columnas 3, 4 y 5, respectivamente).

En la *Tabla 1* se utilizan nombres genéricos para los datos alfanuméricos (*Datos alfa\_num*), lo que significa que cada fila de la tabla puede desglosarse en dos o más variables específicas. Por ejemplo, la composición mecánica abarca los contenidos de arcilla, limo y arena; contenido de nutrientes se refiere a varios de estos en el suelo y así sucesivamente.

TABLA 1. Componentes claves y ejemplos de tipos de datos para su caracterización

Orden	Componente	Datos espaciales	Datos alfa-núm.	Datos descriptivos	Clases
b	Geología	Polilíneas divisorias de tipos de formación geológica. Píxeles-clases	Profundidad Espesor Profundidad del perfil Profundidad efectiva Composición mecánica Agregados estructurales Densidad Porosidad	Composición mineralógica de la formación. Posición en el relieve	Tipos de formación geológica.
c	Suelos	Polilíneas divisorias de clases de suelo. Polilíneas divisorias de subtipos de suelo. Puntos con las coordenadas y datos de suelo. Píxeles-clases	Consistencia Conductividad térmica Retención de agua Permeabilidad Intercambio catiónico pH Contenido de MO Contenido de nutrientes Sales solubles Respiración basal Contenido de carbonatos Contenido de nitratos	Cubierta vegetal Presencia de obstáculos Grado de erosión Grado de salinización	1. Muy productivo 2. Productivo 3. Med. productivo 4. Poco productivo
d	Fuentes de agua	Polilíneas límites Píxeles-clases	Sales solubles Impurezas suspensión Gasto posible	Calidad para población Calidad para agricultura	Por disponibilidad y calidad
e	Cubierta vegetal	Polilíneas límites Píxeles-clases	Grado de cubrimiento	Tipo de cubierta vegetal	

NOTA: esta tabla se extiende hacia abajo con los demás componentes.

Por lo general, los datos descriptivos se determinan por *TD* y observaciones de campo. En este caso se encuentran datos descriptivos de suelos, como posición en el relieve, cubierta vegetal, presencia de obstáculos, grado de erosión, grado de salinización y otros. Los datos alfa-numéricos derivan, en lo esencial, del trabajo de laboratorio y determinaciones realizadas directamente en el campo, en cuyo caso tenemos a la profundidad del perfil, profundidad efectiva, proporción arcilla-limo-arena, contenido de materia orgánica y otros. Las variables que caracterizan a los suelos son las que se encuentran en la literatura con más frecuencia, sobre todo en trabajos dirigidos a la calidad de este recurso. En esta dirección tenemos los trabajos de [Acevedo et al. \(2021\)](#); [Álvarez-Arteaga et al. \(2020\)](#); [Cid-Lazo et al. \(2021\)](#) y otros. La determinación de los datos espaciales, alfa-numéricos y descriptivos se rigen por normas nacionales e internacionales, las cuales se especifican para cada aplicación de *MetodCGEI* que se realice. Estas normas se encuentran archivadas y ordenadas, de modo que se puede acceder a ellas siempre que sea necesario.

Un aspecto de mucha importancia que tiene en cuenta la *MetodCGEI* es la definición de clases para cada *componente clave de ET y AES*, lo que resulta

de gran utilidad en la integración de información, conocimientos y experiencia práctica. Las clases son la síntesis del comportamiento de variables e indicadores, lo que se traduce en una condición determinada del componente de que se trate. Por ejemplo, para el componente suelos las clases pueden estar definidas por su calidad, pero en Cuba se determinan a partir del criterio de la aptitud para soportar los cultivos y se definen como categorías agroproductivas de los suelos ([E. Fuentes et al., 2018](#)).

### Modelo para integrar información, conocimientos y experiencia práctica (*ModInteg*)

El modelo *ModInteg* ([Figura 1](#)) parte del análisis de la interrelación entre todos los componentes claves, lo que implica la existencia de un planteamiento general y de formas específicas de abordar los problemas de seguridad alimentaria sostenible y adaptación al cambio climático, de acuerdo con la *realidad del terreno* en cada territorio. Es una secuencia de pasos, a cada uno de los cuales corresponde una serie de procedimientos, los que se ejecutan con el auxilio de *TAInf*. Consta de cuatro partes principales: (1) en la superior izquierda están los *componentes claves de ET y AES* derivados directamente de la incidencia del

factor humano (**FHUM**), el cual se subdivide en usuarios directos de la tierra y población en general. Estos componentes están estrechamente interrelacionados con los de origen natural más usados, ubicados en la parte superior derecha del esquema (parte 2) y estos últimos están bajo la incidencia de componentes, también de origen natural, identificados como **factores naturales incidentes**. La parte inferior derecha (parte 3) sintetiza los efectos de la interrelación entre la actividad antrópica y los componentes de origen natural, mientras que la parte inferior izquierda (parte 4) es una guía para identificar tipos de interrelaciones.

### Base científico-técnica y material de *MetodCGEI*

Ya se hizo referencia a que la *MetodCGEI* se lleva a la práctica con la aplicación de las *TAINf*, las que, acompañadas de la concepción sistémica que se plantea, constituyen la base científico-técnica de este resultado. Con respecto a la base material, se cuenta con el equipamiento de cómputo y programas para la organización, procesamiento, análisis e integración de información, así como instalaciones de laboratorio y equipamiento mínimo necesario para análisis de muestras, observaciones y pruebas de campo.

### Aplicaciones de *MetodCGEI* en el área patrón

Se realizan ocho tipos de aplicaciones específicas, que son las de mayor utilidad en *ET* y *AES* donde se realiza la producción agropecuaria y forestal. Solo podemos hacer una síntesis de las aplicaciones en el territorio de referencia, pero la información más detallada al respecto se encuentra en [Rivero et al. \(2018\)](#). Las aplicaciones son: (1) caracterización

integral del territorio; (2) organización del territorio para adecuar uso, manejo, conservación y mejoramiento; (3) cálculo del potencial del recurso suelos y los demás que derivan de componentes claves de *ET* y *AES*; (4) selección de áreas para usos específicos; (5) georreferenciación de áreas con características edafoclimáticas especiales; (6) diseño de sistemas de medidas integrales (*SistMedInt*) para condiciones específicas; (7) elaboración de esquemas de muestreos dirigidos; (8) análisis de impactos por aplicación del *SistMedInt*.

A partir de a la caracterización integral del territorio (aplicación 1) se realizan las demás aplicaciones, para lo cual el **SIG** contiene capas de información con bases de datos de los **componentes claves de ET y AES**. La [Figura 2](#) es una representación geoespacial de la caracterización integral, a través de la superposición de capas de información, con bases de datos que contienen atributos de gran incidencia en la producción agropecuaria y forestal: aptitud agroproductiva de los suelos, disponibilidad de agua, cubierta vegetal, pendiente del terreno y altura snm. Estos, al mismo tiempo, dependen de otros atributos que también están contenidos en el **SIG**. La línea negra discontinua ([Figura 2](#)) delimita cinco secciones principales de áreas (A, B, C, D y E) que definen la organización del territorio a partir de la combinación de atributos (aplicación2). La [Tabla 2](#) muestre ejemplos de combinaciones de atributos en A, B y E (comb 1, 2, 5).

Sobre el potencial de recursos claves derivados de *ET* y *AES* (aplicación 3), se pone el ejemplo para el recurso suelos. En la sección *A* la distribución porcentual de las categorías agroproductivas de los suelos I, II, III y IV es: 9.63, 46.41, 24.66 y 19.30 respectivamente.

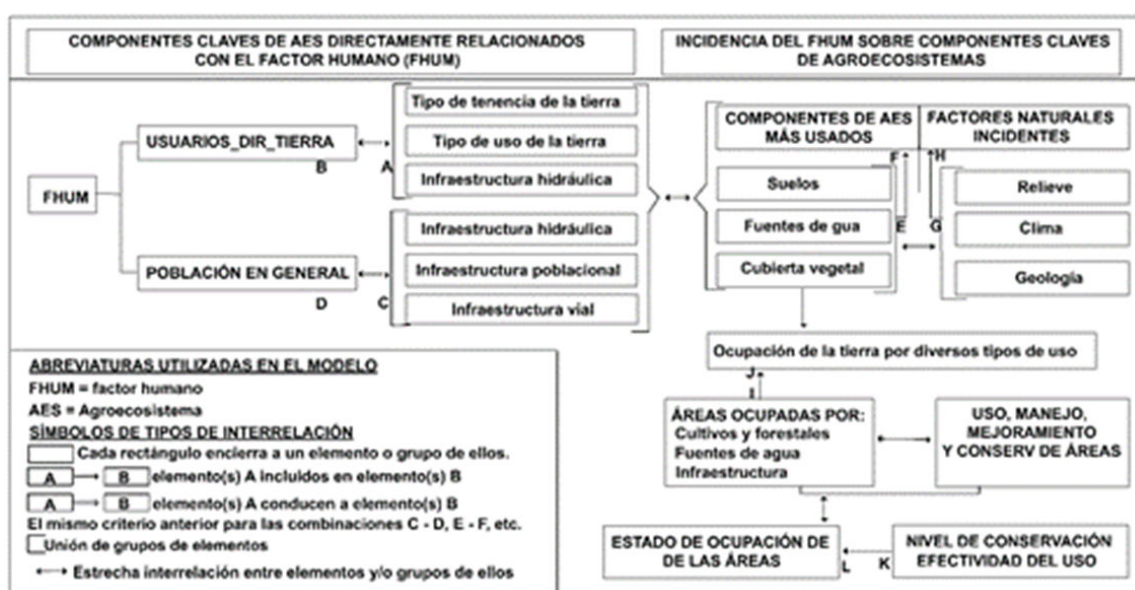


FIGURA 1. Estructura del *ModInteg*.

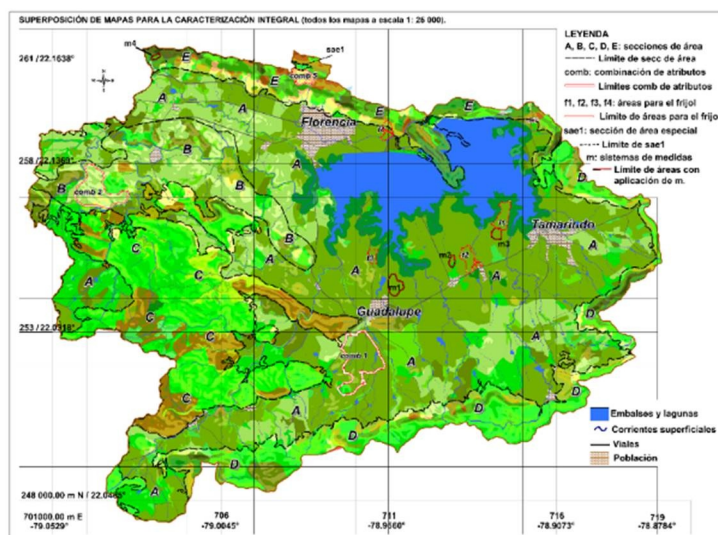


FIGURA 2. Representación geoespacial de la caracterización integral del territorio.

TABLA 2. Ejemplos de combinaciones de atributos y clases

Sección	Comb_ atributos	Categoría agroprod. predominante	Pendiente (%)		Disponibilidad de agua	Cub_vegetal
			mínima	máxima		
A	comb 1	Muy productivo	1.50	4.00	Media	Cultivos de ciclo corto
B	comb 2	Poco productivo	4.00	8.00	Baja	Pastos naturales (origen espontáneo)
E	comb 5	Poco productivo	25.00	45.00	Baja	Forestal con mucha despoblación

(Minag-Cuba, 2017)

En la sección C es 0.00, 0.16, 34.47 y 65.37%. De la misma forma podríamos referirnos a la disponibilidad de agua, cubierta vegetal y otros.

El análisis de coincidencias en el comportamiento de dos o varios atributos, se puede utilizar en el cumplimiento de múltiples tareas que surgen en el proceso de la producción agropecuaria y forestal, como es el caso de la selección de áreas (aplicación 4). Por ejemplo, para producir 185 toneladas de frijol común en un período determinado se puede tomar como referencia un rendimiento de 2.92 t·ha<sup>-1</sup>, que es el obtenido por los 117 mejores productores del País, de acuerdo con las Directivas del Frijol Común (Minag-Cuba, 2017). Con este valor de referencia la decisión podría ser: ***elegir áreas con suelos categoría 1 para el frijol, de media a alta disponibilidad de agua y pendiente de 1.5 a 4.0% y con la premisa de obtener el 85% del rendimiento tomado como referencia (2.48 t·ha<sup>-1</sup>)***. Entonces se necesitaría una superficie de 74.6 ha de tierra, donde coincidan los atributos de los ***componentes claves de ET y AES*** correspondientes: aptitud agroproductiva del suelo para el frijol (1), disponibilidad de agua (2) y pendiente (1.5 - 4.0%). Esto es solo un ejemplo, porque se pueden poner más condiciones de acuerdo con el criterio de especialistas, directivos

y productores. El resultado es la delimitación de las áreas más adecuadas (Figura 2).

En territorios con valores altos de la ***elevación***, predominan valores altos de ***pendiente***; sin embargo, con frecuencia encontramos áreas llanas en zonas elevadas, en forma de mesetas, valles intramontanos y similares, donde se pueden georreferenciar parcelas con características edafoclimáticas especiales (aplicación 5). A modo de ejemplo, en la Figura 2 se identifica ***sae1***, con ***elevación*** de 170 a 395 msnm y ***pendiente*** de 35 y 45%; sin embargo, dentro de ella existen mesetas y pequeños valles con relieve entre llano y ligeramente ondulado (***pendiente*** 1.5 a 4.0%). La importancia práctica está en las características edafoclimáticas especiales para un conjunto de cultivos, incluyendo varios de poca tradición en el País.

Los sistemas de medidas en general están diseñados y aplicados en diferentes territorios del País (Fuentes et al., 2019). La ***MetodCGEI*** añade la georreferenciación de las medidas (aplicación 6) y contempla la multiplicidad de factores que inciden sobre el suelo. En la Figura 2 se identifican secciones de áreas (m1, m2, m3, m4) en las cuales se aplican medidas para proteger al suelo de la erosión hídrica, al mismo tiempo que se protege a los embalses ubicados

en cotas inferiores, así como a cualquier otro elemento del terreno que pueda ser dañado por los arrastres.

Para observaciones de campo, muestreos y actividades similares (aplicación 7) se elabora un grid con tamaños de cuadrículas (celdas) que dependen de la escala de trabajo. En cada celda existe una combinación de los indicadores que están en las bases de datos de los mapas que caracterizan a los **componentes claves de ET y AES**, de modo que se puede acceder, de forma automatizada, al conjunto de combinaciones y elegir aquellas que son las más representativas del territorio o secciones de áreas dentro del mismo. Se realizan comprobaciones del estado de cada componente clave en las celdas seleccionadas y se crea el mapa de combinación de factores, al cual le damos el nombre de **modelo virtual integrado de la realidad del terreno (MVIRT)**. Las variaciones del **MVIRT** en el tiempo, es la base del monitoreo de los impactos causados sobre los **componentes claves de ET y AES** (aplicación 8),

### CONCLUSIONES

- La metodología **MetodCGEI** es una respuesta a la necesaria integración de información, conocimientos y experiencia práctica sobre los **componentes claves de ET y AES**, de modo que facilita las decisiones dirigidas a seguridad alimentaria sostenible y adaptación al cambio climático.
- Se identifican once **componentes claves de ET y AES**, los que forman parte del modelo **ModInteg**, dirigido a la integración de información, conocimientos y experiencia práctica sobre los referidos componentes.
- Los ocho tipos de aplicaciones específicas de **MetodCGEI** en el área patrón, mostraron el recorrido completo, desde la caracterización integral del territorio, hasta el monitoreo del impacto del **SistMedInt**, pasando por la organización de los recursos de origen natural y creados por el hombre y su potencial, selección de áreas para uso y manejo específicos, georreferenciación de áreas con características edafoclimáticas especiales, esquema de muestreo y observaciones de campo y esquema para monitoreo.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acevedo, I., Sánchez, A., & Mendoza, B. (2021). Evaluación del nivel de degradación del suelo en dos sistemas productivos en la depresión de Quíbor. II. Calidad del suelo. *Bioagro*, 33(2), 127-134, ISSN: 2521-9693, DOI: <http://www.doi.org/10.51372/bioagro332.6>

Álvarez-Arteaga, G., Ibáñez-Huerta, A., Orozco-Hernández, M. E., & García-Fajardo, B. (2020). Regionalización de indicadores de calidad para suelos degradados por actividades agrícolas y pecuarias en el altiplano central de México. *Quivera. Revista de Estudios Territoriales*, 22(2), 5-19, ISSN: 1405-8626.

Cid-Lazo, G., López-Seijas, T., Herrera-Puebla, J., & González-Robaina, F. (2021). Variación de la Densidad Aparente para diferentes contenidos de agua en suelos cubanos. *Revista Ingeniería Agrícola*, 11(2), 3-9, ISSN: 2306-1545.

CITMA-Cuba. (2009). *Programa de Asociación de País. Proyecto 1 "Fortalecimiento de Capacidades para el Planeamiento, Toma de Decisiones y Sistemas Regulatorios; Sensibilización // Manejo Sostenible de Tierra en Ecosistemas Severamente Degradados"* (pp. 201, ISBN: 978-959-287-021-025). Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, CITMA, CPP PROYECTO 1, FAO, GAIA, GEF, PNUD, MANEJO SOSTENIBLE DE TIERRA, La Habana, Cuba.

FAO. (2022). *Country guidelines and technical specifications for global soil nutrient and nutrient budget maps - GSNmap: Phase 1*. FAO, Rome, Italy, DOI: <https://doi.org/10.4060/cc1717en>

Fuentes, A., Rosales, U., Rodríguez, D., & Castellanos, N. (2019). *Polígono Nacional de Conservación de Suelos, Aguas y Bosques*. PALCOGRAF, Instituto de Suelos, La Habana, Cuba.

Fuentes, E., Marcheco, R., Boch, D., Pérez, J., Marrero, A., Castro, N., Obrero, A., La O, M., & Peña, O. (2018). *Aptitud de las tierras en Cuba para los frutales y cítricos*. ISBN: 978-959-296-053-4.

Gaceta Oficial de la República de Cuba. (2021). Instrumentación jurídica que implementa la Política de Conservación, Mejoramiento y Manejo Sostenible de los Suelos y el uso de los Fertilizantes. *Gaceta Oficial de la República de Cuba, Ministerio de Justicia*, 120, ISSN: 0864-0793, e-ISSN: 1862-7511.

Gaceta Oficial de la República de Cuba. (2022). Ley de Soberanía y Seguridad Alimentaria y Nutricional (SSAN). *Gaceta Oficial de la República de Cuba, Ministerio de Justicia*, 77, ISSN: 0864-0793, e-ISSN: 1862-7511.

Malone, B. P., Minasny, B., & McBratney, A. E. (2017). *Using R for digital soil mapping* (Vol. 35). Springer International Publishing, Switzerland.

Minag-Cuba. (2017). *Directivas del frijol común. Campaña 2017 - 2018* (p. 30). Ministerio de la Agricultura, La Habana, Cuba.

- Rivero, I., Fuentes, E., Morales, R., & Pérez, J. M. (2022). *Informe Final del Proyecto: "Sistema informatizado de gestión integrada de suelos de Cuba y planificación de la Agricultura (SIGISPLAN)"* (p. 64) [Informe de proyecto]. Instituto de Suelos, La Habana, Cuba.
- Rivero, I., López, S., Fraser, T., & Verania, H. (2018). *Informe Final del proyecto Prácticas de manejo sostenible de tierra en una sección de la cuenca hidrográfica del río Chambas, a partir de la integración y actualización de la base cognitiva* (p. 57) &#091;Informe de proyecto&#093;. Instituto de Suelos, La Habana, Cuba.
- Rivero, I., Ruiz, J., Riverol, M., & Tamariz, V. (2013). Los suelos, la cobertura vegetal y el relieve en el municipio Tzicatlacoyan, Estado de Puebla, Mexico. *Geominas*, 41(61), 95-105, ISSN: 0016-7975.
- Urquiza, M. N. (2011). *Manual de Procedimiento "MANEJO SOSTENIBLE DE TIERRA"* (primera). CIGEA, La Habana, Cuba.

Luis B. Rivero-Ramos; Inv. Titular, Instituto de Suelos del Minag, Capdevila, La Habana.

Silvio López-Sardiñas; Especialista en Suelos, Dirección de Suelos y Fertilizantes provincia Ciego de Ávila, e-mail: [silviolop57@gmail.com](mailto:silviolop57@gmail.com).

Manuel Farradás-Campos; Ing. Informático, Instituto de Suelos del Minag, Capdevila, La Habana, e-mail: [farradas91@gmail.com](mailto:farradas91@gmail.com).

Emma Fuentes-Alfonso; Especialista en Suelos, Instituto de Suelos del Minag, Capdevila, La Habana, [emma.fuentes@isuelos.cu](mailto:emma.fuentes@isuelos.cu).

Juan M. Pérez-Jiménez; Inv. Titular, Instituto Suelos Minag, Capdevila, La Habana, a través de: e-mail: [emma.fuentes@isuelos.cu](mailto:emma.fuentes@isuelos.cu).

Mileydis Demedio-Revilla; Especialista en Geografía, Instituto de Suelos del Minag, Capdevila, La Habana, e-mail: [misledidr@isuelos.cu](mailto:misledidr@isuelos.cu).

Teresa Fraser-Gálvez; Inv. Auxiliar, Instituto de Suelos del Minag, Capdevila, La Habana, e-mail: [tfrasergalvez@gmail.com](mailto:tfrasergalvez@gmail.com).

Amaury Beltrán-Méndez; Técnico en Informática, Instituto de Suelos del Minag, Capdevila, La Habana, e-mail: [amaury.beltran@isuelos.cu](mailto:amaury.beltran@isuelos.cu).

Roberto Morales-Morales; Especialista en Suelos, Instituto de Suelos del Minag, Capdevila, La Habana, e-mail: [morales.morales.m52@gmail.com](mailto:morales.morales.m52@gmail.com).

Mario La O-Quiala; Especialista en Suelos, Instituto de Suelos del Minag, Capdevila, La Habana, e-mail: [mario.quiala@isuelos.cu](mailto:mario.quiala@isuelos.cu).

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

**CONTRIBUCIONES DE AUTOR: Conceptualización:** Dr.C. Luis B. Rivero. **Curación de datos:** Dr.C. Luis B. Rivero, MSc. Silvio López, Ing. Manuel Farradás, **Análisis formal:** Dr.C. Luis B. Rivero, Emma Fuentes, Juan M. Pérez, Teresa Fraser, Roberto Morales, Mario La O. **Investigación:** Dr.C. Luis B. Rivero, Emma Fuentes, Juan M. Pérez, Teresa Fraser, Roberto Morales, Mario La O. **Metodología:** Dr.C. Luis B. Rivero. **Validación:** Dr.C. Luis B. Rivero, Emma, Mileydis Demedio, Roberto Morales. **Redacción-borrador original:** Dr.C. Luis B. Rivero Ramos, MSc. Silvio López Sardiñas, Ing. Manuel Farradás, *Juan M. Pérez*. **Redacción-revisión y edición:** Dr.C. Luis B. Rivero, MSc. Silvio López, Ing. Manuel Farradás.

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/)

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.