

Tecnologías Avanzadas de la Información (*TAInf*) en estudios de ecosistemas terrestres (*ET*) y agroecosistemas (*AES*)

*Advanced Information Technologies (*TAInf*) in the Study of Terrestrial Ecosystems (*ET*) and Agroecosystems (*AES*)*

 Luis Rivero-Ramos^{1*},  Manuel Farradás-Campos¹,  Clara García-Ramos¹,
 Silvio López-Sardiñas²,  Amaury Beltrán-Méndez¹ and  Roberto Morales-Morales¹

¹Instituto de Suelos, Capdevila, Boyeros, La Habana, Cuba. E-mail: luisrrg235@gmail.com, farradas91@gmail.com, claragarciar74@gmail.com, amaurybascos@gmail.com, morales.morales.m52@gmail.com
²Dirección de Suelos y Fertilizantes provincia Ciego de Ávila, Ciego de Ávila, Cuba. E-mail: silviolop57@gmail.com

*Autor para correspondencia: luisrrg235@gmail.com

RESUMEN: Se presenta y analiza un esquema para la aplicación de *TAInf* (en lo adelante *EsqTaInf*) dirigido a la aplicación de Ciencia e Innovación Tecnológica en áreas dedicadas a procesos productivos, relacionados con la seguridad alimentaria sostenible y adaptación al cambio climático. A través de la descripción de cada una de las partes que conforman el referido esquema, se hace énfasis en aspectos técnicos y se desarrolla un ejemplo de su aplicación en uno de los territorios donde se ubican áreas de intervención y sitios de muestreo, en el marco del proyecto **ECOVALOR**. En el desarrollo del ejemplo se fundamenta la importancia de conocer las características de los territorios en los cuales se ejecuten proyectos dirigidos a la conservación y mejoramiento de suelo, en interrelación con los demás componentes clave de ecosistemas terrestre (*ET*) y agroecosistemas (*AES*). Esto requiere de la mayor calidad posible en la adquisición, organización, procesamiento, análisis e integración de información, tratada bajo un enfoque sistémico, aspecto en el cual se centra el presente trabajo.

Palabras clave: territorios, áreas de intervención, sitios de muestreo.

ABSTRACT: A scheme for the application of *TAInf* (hereinafter *EsqTaInf*) is presented and analyzed aimed at the application of Science and Technological Innovation in areas dedicated to productive processes, related to sustainable food security and adaptation to climate change. Through the description of each of the parts that make up the aforementioned scheme, emphasis is placed on technical aspects and an example of its application is developed in one of the territories where intervention areas and sampling sites are located, within the framework of the **ECOVALOR** project. The development of the example is based on the importance of knowing the characteristics of the territories in which projects aimed at soil conservation and improvement are executed, in interrelation with the other key components of terrestrial ecosystems (*ET*) and agroecosystems (*AES*). All of which requires the highest possible quality in the acquisition, organization, processing, analysis and integration of information, treated under a systemic approach, aspect on which the present work is focused.

Keywords: Territories, Intervention Areas, Sampling Sites.

INTRODUCCIÓN

En un artículo anterior de Rivero et al. (2024) se analizó la forma que los autores consideran más conveniente para aplicar tecnologías avanzadas de la información (*TAInf*) en apoyo a la seguridad alimentaria sostenible y adaptación al cambio climático en Cuba. En el referido artículo se hace énfasis en la organización de la información sobre componentes claves de ecosistemas terrestres (*ET*) y agroecosistemas (*AES*), con el fin de facilitar su aplicación práctica. Para esto se presentó la denominada *MetodCGEI*,

que da respuesta a una concepción geoespacial integral (*CGEI*), a través de una serie de pasos y procedimientos (*Metod*). Para la aplicación correcta de *MetodCGEI*, es necesario conocer una serie de aspectos técnicos, en los cuales no se podía profundizar en el artículo anterior, por lo que este lo asumimos como una continuación necesaria de la amplia temática que abarca este campo del conocimiento y la aplicación práctica. En este caso, la atención se centra en los que denominamos *EsqTaInf*, aspectos técnicos del mismo y su aplicación.

Recibido: 12/01/2025

Aceptado: 27/05/2025

Conflictos de intereses: 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, Dra.C. Clara García. **Análisis formal:** Dr.C. Luis B. Rivero, Roberto Morales. **Investigación:** Dr.C. Luis B. Rivero, Roberto Morales, **Metodología:** Dr.C. Luis B. Rivero, Ing. Manuel Farradás, Téc. Amaury Beltrán. **Validación:** Dr.C. Luis B. Rivero, Roberto Morales, Manuel Farradás. **Redacción-borrador original:** Dr.C. Luis B. Rivero Ramos, MSc. Ing. Manuel Farradás, **Redacción, revisión y edición:** Dr.C. Luis B. Rivero, MSc. Silvio López, Ing. Manuel Farradás.

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.



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/>



Se presenta la misma situación que en el primer artículo de Rivero et al. (2024), referida a que no se puede establecer una línea divisoria entre métodos y resultados, puesto que un método o parte de él puede tener amplia contribución de los autores del propio trabajo. Por ejemplo, en el primer artículo se hace una adecuación en la organización de la información que se introduce en el Sistema de Información Geográfica (SIG), para lo cual se definen y ordenan once componentes claves de **ET** y **AES**, con sus características y propiedades y un sistema de clases, a través de las cuales se realiza la integración. Aquí se aprecia la interrelación entre lo que se define como método para el trabajo específico (aplicación de **SIG**) y lo que constituye un resultado de los autores (definición de componentes claves de **ET** y **AES** y sistema de clases para esos componentes, todo relacionado con la integración). En el análisis de **AES** realizado por Sánchez San Martín (2021), hay coincidencia en los aspectos esenciales sobre ese tema, tratados por los autores del primer artículo Rivero et al. (2024) y de este como continuidad del anterior.

De los once componentes claves se define al suelo como el de mayor relevancia, por ser el sostén principal de la biodiversidad, lo que implica que reciba el mayor impacto negativo de la actividad del hombre y esté más expuesto a la degradación (Fuentes & Martínez, 2014). Pero esto no excluye que deban tenerse en cuenta a los demás componentes al estudiar los suelos y diseñar los sistemas de medidas para su conservación y mejoramiento (Sánchez & Camacho, 1981). Esta compleja actividad debe realizarse bajo un enfoque sistémico, para lo cual se han desarrollado **TAInf**, de las cuales es necesario conocer sus aspectos fundamentales, de modo que se haga el uso más adecuado posible de las mismas (Fuentes et al., 2019). En esa dirección se enfoca el presente trabajo, con tres objetivos principales: (1) diseñar un esquema base que contiene los aspectos técnicos principales para aplicar **TAInf** en estudios, mejoramiento y conservación de los suelos y su interrelación con los demás componentes claves de **ET** y **AES**; (2) explicar el papel que juega cada parte del esquema base; (3) poner un ejemplo de aplicación del esquema.

MATERIALES Y MÉTODOS

Síntesis de la Concepción metodológica aplicada

La esencia del problema radica en que **TAInf** es un sistema muy avanzado de métodos, procedimientos y pasos, que involucra a varios programas para aplicar, en cada territorio estudiado, el Sistema de Posicionamiento Global por Satélite (GPS), la Teledetección (TD) con énfasis en la adquisición, procesamiento y análisis de imágenes satelitales, Cartografía Asistida por Computadoras (CAD) y Sistema de Información Geográfica (SIG) (Ramos et al., 2013). Este último cumple la función de organizar, analizar e integrar el gran volumen de información que puede derivar de los tres primeros. En los tres resultados que derivan de los objetivos planteados, se pone de manifiesto esta concepción (Minasny & McBratney, 2016).

Planteamiento de un esquema lógico

Se recomienda que no se comience la aplicación de medidas de conservación y mejoramiento de suelo y/o de otros componentes de **ET** y **AES**, sin haber realizado una caracterización integral del territorio donde está ubicada el área específica (área de intervención). En la actualidad, esa caracterización se facilita en gran medida con el uso de las **TAInf**, aspecto que también es analizado por Sánchez San Martín (2021), el que hace referencia al momento en que comenzó a aplicarse esta concepción y plantea lo que denomina “Flujo conceptual del proceso del mapeo digital de suelos”. Tanto este planteamiento, como los referidos por Malone et al. (2017) y Rivero et al. (2013) coinciden con uno de los trabajos iniciales y de mayor relevancia en esta dirección (McBratney et al., 2003).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Esquema de **TAInf**

ATPG = áreas tecnológicas primarias de la Geomática

En la Figura 1 se representa el esquema general de **TAInf** para que las aplicaciones tengan la mayor integralidad posible en aquellos territorios donde se ejecutan proyectos



Figura 1. Esquema general que describe aspectos técnicos básicos en la aplicación de **TAInf**.

dirigidos a la conservación y mejoramiento de suelos y de los componentes clave de *ET* y *AES*. Las aplicaciones en cada territorio específico se realizan a través de una serie de pasos y procedimientos, que fueron expuestos por Rivero et al. (2024), con ejemplos de aplicaciones y resultados de las mismas en la parte superior de la cuenca hidrográfica del Río Chambas, en el noroeste de la provincia de Ciego de Ávila, Cuba (Rivero et al., 2018).

Partes y herramientas del esquema *TAInf*

La combinación GPS - TD se utiliza para obtener imágenes georreferenciadas de alta resolución, con lo cual se sustituyen procedimientos tradicionales muy engorrosos y que aportan resultados con menor calidad y valor de uso durante la ubicación geográfica y caracterización de territorios. Un ejemplo al respecto es el tratamiento del sistema de coordenadas de la República de Cuba en la proyección Lambert Conformal Conic (Cuba Norte y Cuba Sur), utilizado en las hojas cartográficas tradicionales.

En la actualidad, con la combinación de partes y herramientas de *TAInf*, como GPS - TD - QGIS se obtienen imágenes que superan ampliamente a las hojas cartográficas tradicionales. Las imágenes se obtienen ya georreferenciadas y en los tres sistemas de coordenadas principales que se utilizan en nuestro campo del conocimiento y la aplicación práctica en los territorios. Principales sistemas de coordenadas:

- Longitude/Latitude (WGS 84) (EPSG: 4326)
- Lambert Conformal Conic (Cuba Sur)
- Lambert Conformal Conic (Cuba Norte)

Varias ventajas ofrecen la combinación GPS - TD - QGIS. Las principales son:

- Los tres sistemas de coordenadas anteriores están contenidos en la misma salida geoespacial y se obtienen de forma automática de la siguiente forma:

(WGS 84) (EPSG: 4326) pasa a NAD 27/ Cuba Sur (EPSG: 2086) para trabajar con coordenadas planas en todo el territorio nacional al este de la provincia de Camagüey (aproximadamente desde el municipio Carlos Manuel de Céspedes).

(WGS 84) (EPSG: 4326) pasa a NAD 27/ Cuba Norte (EPSG: 2085) para trabajar con coordenadas planas en todo el territorio nacional al oeste de la provincia de Camagüey (aproximadamente desde el municipio Carlos Manuel de Céspedes).

- No es necesario georreferenciar, con lo que se evitan errores, trabajo y disminuyen los costos.
- Se pueden observar elementos clave de la realidad del terreno con altísima resolución.
- Se pueden digitalizar con facilidad áreas de interés específico (GPS - TD - QGIS - CAD).

Toda la información derivada de la secuencia: GPS - TD - QGIS - CAD se organiza en el Sistema de Información

Geográfica (SIG), el que puede contener y/o generar tres tipos de elementos principales: (a) distribuciones geoespaciales de objetos representativos de componentes de *ET* y *AES* (la relación de componentes clave se da en la Figura 1), a través del tipo de archivo universal .SHP; (b) bases de datos que caracterizan a los objetos representativos de los referidos componentes, a través del tipo de archivo DBF; (c) archivos para intercambio de información (SQL - PostgreSQL).

Con las herramientas del programa utilizado para crear el SIG, en este caso QGIS, se pueden realizar todas las operaciones dirigidas a obtener una parte importante de la información del territorio en estudio, así como para realizar su análisis, integración y gestión. Una parte de la información se obtiene a través de trabajo de campo y laboratorio, lo que también se racionaliza ampliamente con la aplicación de *TAInf*.

Ejemplo de aplicación de *TAInf*

Áreas y sitios de muestreo

Este ejemplo está dirigido a la ubicación geográfica y caracterización de un territorio dentro del cual se ejecutó el proyecto *ECOVALOR* de García et al. (2024); no obstante, es aplicable a cualquier entorno en los cuales se ejecuten otros proyectos o partes de ellos. En este caso se trata de la ubicación de áreas de referencia y sitios de muestreo en una unidad físico-geográfica cuyos límites coinciden con el parte aguas general de un conjunto de cuencas hidrográficas y subcuencas, con secciones en la provincia de Las Tunas, municipios Puerto Padre y Jesús Menéndez, así como en la provincia de Holguín, municipios Holguín, Gibara y Calixto García, con una superficie total de 173,600 ha.

Se aplicó el Sistema de Posicionamiento Global por Satélite (GPS) para la ubicación exacta de los sitios de muestreo que aparecen en la Figura 2, sobre una imagen de Google Pro, la que también se puede utilizar en tiempo real para dar seguimiento a componentes del AES, como la cubierta vegetal, fuentes de agua, uso de la tierra, infraestructura vial, población y otros.

Imagen Google Pro de inicios del año 2025

Descripción de los sitios de muestreo que aparecen en la Figura 2

- Sitio 1 en área arbolada, coordenadas: -76.7369°, 21.1151°
- Sitio 2 en área cultivada, coordenadas: -76.7351°, 21.1184°
- Sitio 3 en área de pastos, coordenadas: -76.7318°, 21.1170°
- Sitio 4 en área de pastos, coordenadas: -76.7319°, 21.1144°
- Sitio 5 en área con arbustos, coordenadas: -76.7408°, 21.1164°
- Sistema de coordenadas: Longitud/Latitud (WGS 84) (EPSG: 4326)



Figura 2. Ubicación de sitios de muestreo en área de intervención municipio Puerto Padre.

En la [Figura 3](#) se muestran detalles del área de ubicación del sitio 5 y en la [Figura 4](#) se muestra un ejemplo de seguimiento al entorno del propio sitio (contorno marcado con línea amarilla) desde el año 2011 hasta inicios el 2025, lo que puede realizarse para cualquier tamaño de área y a cualquier resolución; no obstante, por problemas de espacio, en este artículo solo es posible poner este ejemplo. Téngase en cuenta que no es objetivo de este artículo analizar los datos derivados del monitoreo realizado en los referidos sitios, sino mostrar una de las aplicaciones de **TAInf**, consistente en la correcta georreferenciación y análisis de territorios para que la información de proyectos ejecutados en los mismos pueda realizarse bajo un enfoque sistémico ([Fuentes et al., 2019](#)).

Como puede apreciarse, en el referido entorno se observan cambios importantes en la cubierta vegetal a través de los años, lo que es necesario tener en cuenta para analizar los datos que se obtengan del monitoreo en el sitio específico, lo que es aplicable a otros sitios, áreas de intervención y territorios.

Delimitación del territorio y sus características

Para caracterizar el territorio en el que se encuentran las áreas de referencia y sitios de muestreo, dentro del municipio Puerto Padre en la provincia Las Tunas, seguiremos el criterio de tener en cuenta los componentes



Figura 3. Detalles de ubicación del sitio 5 y su entorno cercano (imagen de inicios del año 2025).

claves que conforman los ecosistemas **ET**, con énfasis en los **AES**. La caracterización de esos componentes debe estar en relación con los resultados que se obtengan en las áreas de referencia y con los datos del monitoreo en los sitios seleccionados para ese fin.

En la [Figura 5](#) se presenta el límite del territorio junto con los subtipos de suelos, fuentes principales de agua, población y sitios de muestreo. Todas las capas de información están a escala 1: 25 000, con excepción de los sitios de muestreo que fueron ubicados en imagen de alta resolución, pero se ajustan a la georreferenciación general.



Figura 4. Seguimiento al entorno cercano al sitio 5 (vistas en años diferentes).

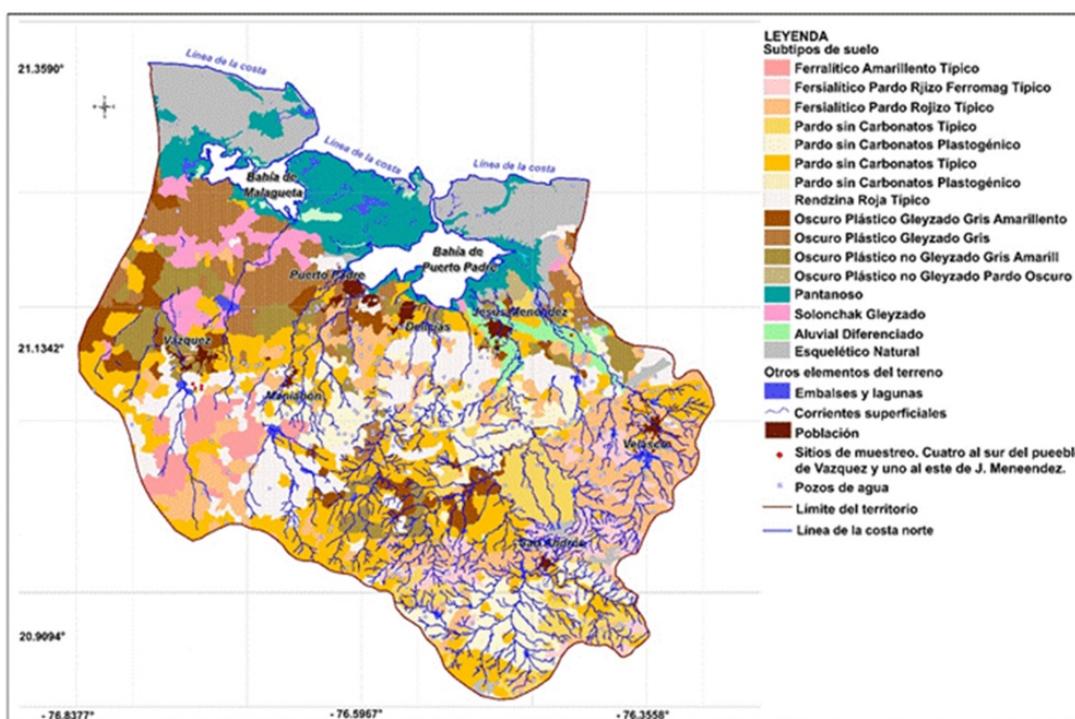


Figura 5. Límite del territorio, subtipos de suelo, fuentes de agua, población, sitios de muestreo y otros elementos del terreno.

Suelos del entorno en relación con los sitios de muestreo

En la misma Figura 5 se representa la distribución geoespacial de los suelos en el entorno general, derivada del Mapa Nacional de Suelos a escala 1: 25 000 (DNSF, 1998). Hay que tener en cuenta que, por la escala de este mapa y el tiempo transcurrido desde su creación, no siempre van a coincidir completamente los datos que aparecen en el mismo, con la caracterización que se haga de sitios específicos en el momento actual; no obstante, el referido mapa es una base válida de información como referencia.

Fuentes de agua que contienen los recursos hídricos del territorio

Por lo general, los recursos hídricos de un dominio geográfico en las condiciones de Cuba, están formados por embalses y lagunas, corrientes superficiales de agua, depósitos y corrientes subterráneas y el agua que es aportada por las lluvias, con referencia a un período de tiempo determinado. En la propia Figura 5 se representa la distribución geoespacial de embalses, lagunas y corrientes superficiales de agua, dentro del territorio a que se hizo referencia. Dentro del dominio existe una gran cantidad de microembalses, lo que es un indicio del uso que hacen los usuarios de la tierra de las corrientes superficiales de agua. Además, existen 423 pozos, como muestra del uso que se hace del agua subterráneas. Más información sobre suelos puede encontrarse en el trabajo de (Hernández et al (2015).

La cubierta vegetal

En la Figura 6 se muestra la distribución geoespacial de la cubierta vegetal. Al analizar los tipos de uso de la tierra,

reflejados en los tipos de cubierta vegetal que existen en la parte superior del conjunto de cuencas hidrográficas con predominio de caña de azúcar y cultivos de ciclo corto, podemos asumir la posibilidad de una fuerte influencia en las partes inferiores, debido a los arrastres de las aguas que corren en la dirección general de sur a norte. Los análisis específicos de laboratorio deben dirigirse a detectar esta influencia, a la vez que esta información serviría de base para el diseño e implementación de sistemas de medidas de conservación y mejoramiento.

El relieve

El relieve, de conjunto con el estado de la cubierta vegetal y el régimen de lluvias, juega un papel fundamental en los procesos que ocurren en los suelos y en el mejoramiento y conservación de estos, así como en el mejoramiento y conservación de otros componentes claves de ET y AES . Una de las formas de expresar el relieve, es a través de la creación de modelos digitales de elevación del terreno (DEM), el cual se presenta en la Figura 7 para el dominio en cuestión. Este modelo nos sirve de base para el análisis del estado en que se encuentran los componentes claves: suelos, recursos hídricos y cubierta vegetal, bajo la incidencia del clima y de la actividad del hombre.

Nótese la configuración de la unidad fisico-geográfica, con una división bien marcada entre una zona llana al norte (0 a 40 msnm), una con alturas sobre el nivel del mar (msnm) entre 50 y 100 m, distribuida del oeste al sureste y una más alta (100 a 215 msnm) alternándose con la anterior. Este aspecto hay que tenerlo en cuenta, al analizar los datos en los sitios de muestreo (cuatro al sur del pueblo de Vázquez y uno al este del pueblo de Jesús Menéndez).

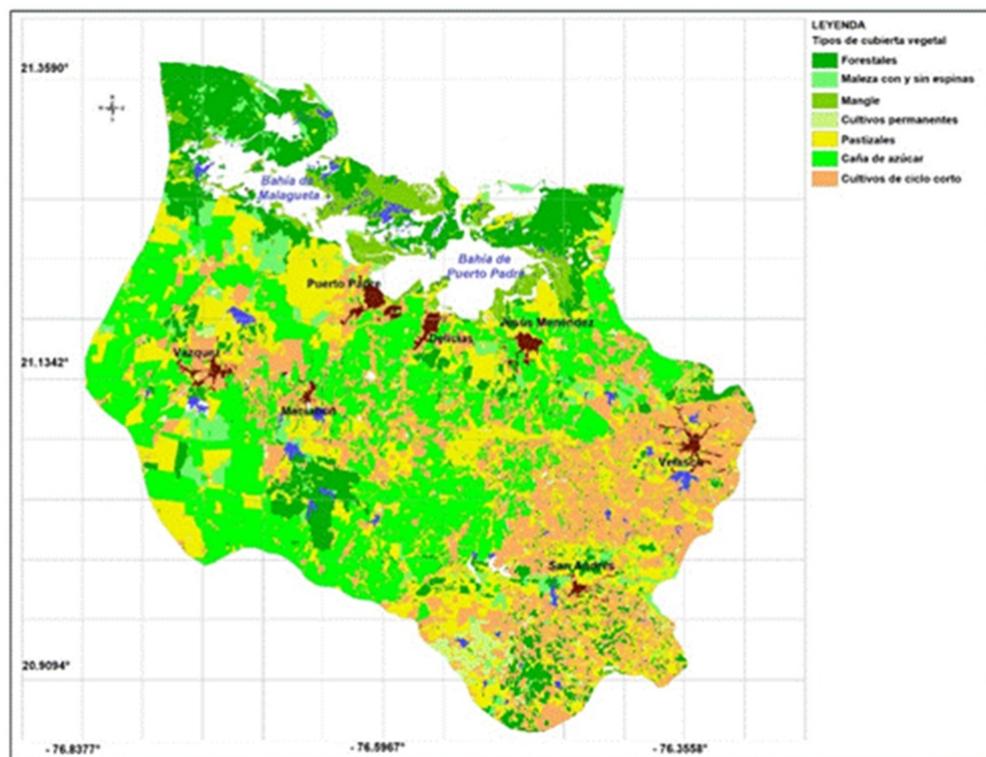


Figura 6. Distribución geoespacial de la cubierta vegetal.

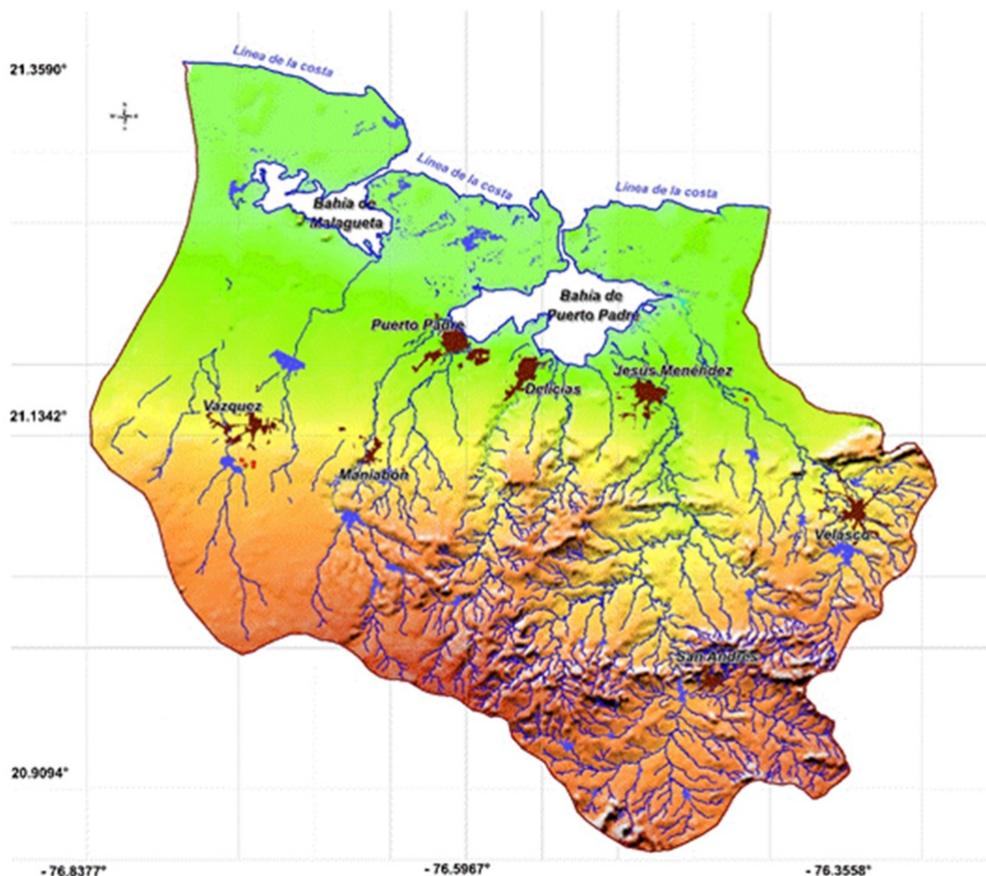
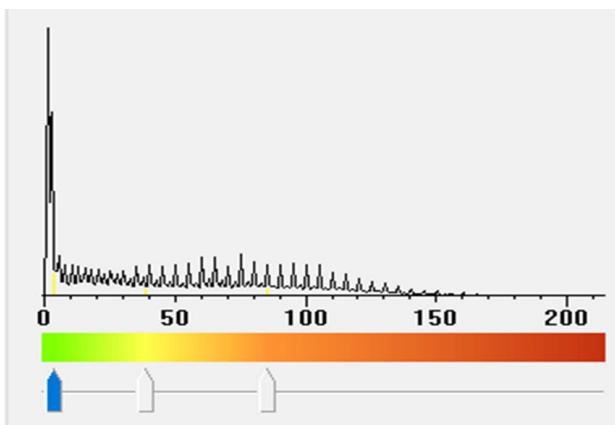


Figura 7. Modelo de elevación digital del (DEM) a partir de curvas de nivel a intervalos de 2.5 m.



Histograma de la Figura 6 en metros sobre el nivel del mar (msnm).

CONCLUSIONES

- EL esquema general que describe aspectos técnicos básicos en la aplicación de *TAInf* es un recurso metodológico y conceptual importante para lograr las mayores integralidades posibles en proyectos dirigidos a la conservación y mejoramiento de los componentes clave de *ET* y *AES*, con énfasis en los suelos.
- La combinación en la aplicación de programas y herramientas de los mismos, contenidos en *TAInf*, contribuyen al perfeccionamiento en el procesamiento y análisis de información geoespacial, al mismo tiempo que ahorran tiempo y disminuyen los costos de las salidas.
- El ejemplo de aplicación de *TAInf* desarrollado en este trabajo, constituye una guía para la ejecución de trabajos similares que se realicen en Cuba.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DNSF. (1998). *Mapa Nacional de Suelos a escala 1: 25 000* [Documentos del Instituto de Suelos, La Habana, Cuba.]. Instituto de Suelos, La Habana, Cuba.
- Fuentes, A., Rosales, U., Rodríguez, D., & Castellanos, N. (2019). *Polígono Nacional de Conservación de Suelos, Aguas y Bosques*. PALCOGRAF, La Habana, Cuba. ISBN: 978-959-285-058-3.
- Fuentes, A., & Martínez, F. (2014): Aplicaciones prácticas para la conservación, mejoramiento y fertilización de suelos. Agrinfor. Ministerio de la Agricultura; La Habana, Cuba, 180 pp. ISBN: 978-959-246-214-4.
- García, R. C., Martínez, R. F., Rivero, R. L. B., Morales, V. A. N., Dueña, V. G., Caraballosa, J. A., Oliva, D. D., & Oliva, D. D. (2024). Evaluación de indicadores de calidad de suelos en la finca "Los Olivas", provincia Matanzas. *Ingeniería Agrícola*, 14(2), ISSN: 2227-8761.
- Hernández, A., Pérez, J. M., Bosch, D., Castro, N. (2015): Clasificación de los Suelos de Cuba 2015. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas e Instituto de Suelos. Ediciones INCA. ISBN: 978-959-7023-77-7.
- Malone, B. P., Minasny, B., McBratney, A. B., Malone, B. P., Minasny, B., & McBratney, A. B. (2017). *Digital Soil Mapping*. Springer. 262 p. &
- McBratney, A. B., Santos, M. L. M., & Minasny, B. (2003). On digital soil mapping. *Geoderma*, 117(1-2), 3-52, ISSN: 0016-7061, Publisher: Elsevier.
- Minasny, B., & McBratney, A. B. (2016). Digital soil mapping: A brief history and some lessons. *Geoderma*, 264, 301-311, ISSN: 0016-7061, Publisher: Elsevier.
- Ramos, L. R., Careaga, J. R., Flores, V. T., Rodríguez, F. M., & Castro, M. A. M. (2013). Los suelos, la cobertura vegetal y el relieve en el municipio Tzicatlacoyan, Estado de Puebla, Mexico. *Geominas*, 41(61), 105-111, ISSN: 0016-7975, Publisher: Fundación Geominas.
- Rivero, R. L. B., López, S. S., Farradás, C. M., Fuentes, A. E., Pérez, J. J. M., Demedio, R. M., Fraser, G. T., Beltrán, M. A., Morales, M. R., & La O, Q. M. (2024). Metodología para la aplicación de Ciencia e Innovación Tecnológica en apoyo a seguridad alimentaria sostenible. *Ingeniería Agrícola*, 14(1), ISSN: 2227-8761.
- 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) [Informe de proyecto]. Instituto de Suelos, La Habana, Cuba.
- Rivero, L., Ruiz, J., Riverol, M., & Tamariz, V. (2013): Los suelos, la cobertura vegetal y el relieve en el municipio de Tzicatlacoyan, estado de Puebla, México. Revista GEOMINAS; Escuela de Ciencias de la Tierra, Universidad de Oriente, Venezuela. No. 61, p. 95 - 105. ISSN: 016-7975.
- Sánchez, A., & Camacho, E. (1981). *Suelos del trópico: Características y manejo* (Número 48). IICA, Biblioteca, Venezuela.
- Sánchez San Martín, P. A. (2021). *Suelos del trópico: Características y Manejo* (Segunda Edición). Editorial del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, México. Segunda Edición, 686pp. ISBN: 978-607-715-425-9.