

Visualización de los servicios científico-técnicos en caña de azúcar, a través de la infraestructura de datos espaciales

Irenaldo Delgado-Mora^{1*}, Osmany Aday-Díaz¹, Iliá Lugo-Ruiz¹, Rafael Más-Martínez¹, Rafael Cruz-Iglesias², Luis Hernández-Santana³

1. Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar, Villa Clara (INICA-VC)

Autopista Nacional, Km 246. Ranchuelo. Villa Clara, Cuba

2. Grupo Empresarial GEOCUBA GeoMIX. Villa Clara. Cuba

3. Universidad Central Marta Abreu, Las Villas

Carretera de Camajuaní, km 5.5. Villa Clara, Cuba

* ireinaldo.delgado@inicavc.azcuba.cu

RESUMEN

Elaborar un sistema de infraestructura de datos espaciales, que permita la integración de toda la información agrícola disponible en una sola base de datos y que facilite su utilización por parte de los directivos y técnicos de la base productiva, es una prioridad en el trabajo del cultivo de la caña de azúcar. El objetivo del presente trabajo es visualizar y perfeccionar las recomendaciones de los Servicios Científico-Técnicos a través de un sistema informático. El estudio se desarrolló en áreas de producción de caña de las Empresas Agroindustriales Azucareras de la provincia de Villa Clara. Se cargaron y actualizaron las informaciones relacionadas con la cartografía de las unidades productoras; así como, un grupo de informaciones de campo generadas por los Servicios Científico-Técnicos del Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar. La arquitectura de software de código abierto para la Geomática, estuvo basada en cuatro capas (soportes de datos, implementaciones de servidores, definiciones de interfaces y los clientes de escritorio y Web). La infraestructura de datos espaciales permitió lograr el ordenamiento territorial integral de las áreas cañeras y perfeccionar las recomendaciones de los Servicios Científico-Técnicos a los productores. Para las unidades productoras, esta constituye una herramienta de gran utilidad en el proceso de toma de decisiones, para el adecuado manejo y explotación del cultivo de la caña de azúcar y permite, a su vez, a los directivos, acceder a toda la información de manera muy sencilla.

Palabras clave: agricultura de precisión, sistema de información, sistema de soporte a decisiones.

ABSTRACT

Developing a spatial data infrastructure system that allows the integration of all available agricultural information in a single database and that facilitates its use by managers and technicians of the productive base, is a priority in the work of cultivation of the sugar cane. The objective of this work is to visualize and refine the recommendations of technical scientific services through a computer system. The study was carried out in sugarcane production areas of the Sugar Agroindustrial Companies in the province of Villa Clara. The information related to the cartography of the producing units was uploaded and updated; as well as a group of field information generated by the Technical Scientific Services of the Sugar Cane Research Institute. The open source software architecture for Geomatics was based on four layers (data supports, server implementations, interface definitions, and desktop and Web clients). The spatial data infrastructure allowed for the integral territorial ordering of the areas sugarcane companies, as well as perfecting the recommendations of the technical scientific services to the producers. For the producing units, it constituted a very useful tool in the decision-making process, for the proper management and exploitation of the sugarcane crop and allowed managers, in turn, access all the information in a very simple way.

Keywords: precision agriculture, information system, decision support system.

INTRODUCCIÓN

La Agricultura de Precisión (AP) es una estrategia de gestión que recoge, procesa y analiza datos temporales, espaciales e individuales y los combina con otras informaciones, para respaldar las decisiones de manejo, de acuerdo con la variabilidad estimada. Asimismo, mejora la eficiencia en el uso de recursos, productividad, calidad, rentabilidad y la sostenibilidad de la producción agrícola (1).

El objetivo general de la agricultura de precisión es integrar la gestión espacial y temporal de la producción, a través de Sistemas de Posicionamiento Global (GPS, *Global Positioning Systems*), Sistemas de Información Geográfica (SIG), tecnologías de sensores y mapas de terrenos, con el fin de aumentar la rentabilidad y productividad de los agricultores, mediante la generación de mapas de productividad, en función de las condiciones agroclimáticas del terreno (2).

Los SIG han constituido una de las herramientas más importantes de trabajo, en todas aquellas actividades que tienen como insumo el manejo de la información relacionada con diversos niveles de agregación espacial o territorial (3). Se podrían definir los SIG como la interacción funcional de hardware, software y procedimientos, para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis y representación de datos espacialmente georreferenciados (4).

El Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Cuba (INICA), ha desarrollado varios sistemas automatizados para el proceso de captura y el análisis de variables, utilizadas en la información primaria de los muestreos que se ejecutan en las unidades de producción (5). Estos elementos facilitan la confección de los planes técnico-económicos y la creación de mapas temáticos, a partir de vínculos establecidos con la plataforma MapInfo Profesional v8.0, de utilidad para el análisis y toma de decisiones de directivos y productores (6-8).

Sin embargo, la falta de personal especializado en las EAA, por el éxodo y la emigración, es un indicador crítico a resolver, que también perjudica la calidad de la ejecución de cada muestreo al área planificada.

Otro factor importante es la incidencia del hombre, pues requiere que se recorran extensas áreas y que se realicen muestreos esporádicos con resultados que están condicionados a la subjetividad característica de la estimación humana. De esta forma, el resultado depende de la experticia y la agudeza del personal disponible en cada lugar, que puede variar entre amplias zonas distantes entre sí.

Una Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) es un sistema informático que combina las potencialidades de los SIG y la accesibilidad y disponibilidad de la web; y suele ser definida como un SIG distribuido. Está integrada por datos y atributos geográficos (metadatos), tecnologías de red y servicios (9, 10).

Cada vez más organismos públicos ponen a disposición de los ciudadanos datos geoespaciales, a través de sus Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE), denominados también geoportales, que son aplicaciones web que se utilizan para buscar y acceder a información geográfica (IG) y servicios geográficos asociados a través de Internet (11).

El Grupo Azucarero (AZCUBA), de Villa Clara, posee un Geoportal de la IDE, disponible desde la dirección (<https://azcuba.geocuba.cu>); este, constituye el elemento integrador para buscar conjuntos y servicios de datos espaciales. El Geoportal sirve como plataforma para la gestión de los resultados de variables cañeras, obtenidas de los Servicios Científico-Técnicos (SCT) del Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Villa Clara (INICA VC).

Las bases de datos de los SCT se actualizan cada año desde el INICA VC, mediante la utilización de sistemas de información geográfica y las aplicaciones a las que se accede mediante la web (<https://azcuba.geocuba.cu/etica>). El objetivo del presente trabajo es visualizar las recomendaciones de los Servicios Científico-Técnicos (SCT) a través de la IDE, para la toma de decisiones de los directivos y jefes de unidades productoras de la provincia de Villa Clara.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló en áreas de producción cañera de las Empresas Agroindustriales Azucareras (EAA), de la provincia de Villa Clara. Se cargaron y actualizaron las informaciones en la IDE, relacionadas con la cartografía de las unidades productoras. Así como, un grupo de informaciones de campo generadas por los Servicios Científico-Técnicos (SCT) del Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Villa Clara (INICA-VC) y los datos de producción de las bases de datos agrícolas.

A partir de toda esta información se generaron mapas temáticos y consultas de gran ayuda para los productores en el proceso de toma de decisiones. Para alcanzar los requerimientos se seleccionaron, primeramente, las tecnologías y herramientas de software a emplear.

Los criterios que se tomaron con este fin fueron, fundamentalmente, su robustez, estabilidad, seguridad y alto rendimiento en el manejo de información geoespacial. Para implementar una IDE se optó por utilizar exclusivamente el software libre de alto desempeño viable, definidas por el Consorcio Geoespacial Abierto (CGA), (OGC, por sus siglas en inglés, Open Geospatial Consortium).

La arquitectura de software de código abierto para la Geomática, estuvo basada en cuatro capas. La primera capa, compuesta por los soportes de datos, en los que se encuentran las bases de datos espaciales (Postgre/postgis) y los diferentes sistemas de archivos espaciales.

La segunda capa está compuesta por las implementaciones de servidores. La tercera capa está compuesta por las definiciones de interfaces. Por último, en la capa superior aparecen los clientes de escritorio y los clientes Web.

A este grupo de aplicaciones que componen el núcleo básico de la IDE, se integró un Geoportal, visores de mapas y las aplicaciones específicas que integran los datos y servicios publicados. Para el desarrollo del Geoportal se utilizó WordPress, que es un sistema de gestión de contenidos basado en software de código abierto, enfocado en la creación de cualquier tipo de página web. Asimismo, está desarrollado en el lenguaje PHP para entornos que ejecuten MySQL y Apache y tiene una amplia comunidad de desarrolladores que permiten reutilizar códigos existentes (12).

Para el visor de mapas se usó un visor genérico que se desarrolla a partir de un proyecto de código abierto. Este permite visualizar la información publicada en el servicio de mapas de la IDE, pero con un nivel muy básico de consulta (filtrado e info). Además, integra datos desde otras fuentes de información que se encuentran públicas, mediante los servicios de mapas (WMS) o en catálogos de metadatos (CSW) (12, 13).

Para el almacenamiento y gestión de grandes volúmenes de información geoespacial, tanto en formato ráster como vectorial, se cuenta con un clúster de Big Data basado en código abierto. Dentro de las informaciones que se recopilan para su introducción y actualización en la IDE, se encuentran las imágenes satelitales multiespectrales del satélite europeo Sentinel 2; además, de procesos que descargan automáticamente las imágenes cada día y el territorio en estudio. Aspectos que se insertan en el clúster de almacenamiento y generan los diferentes productos asociados (imágenes en color natural, agricultura, NDVI).

De esta manera, se crearon los metadatos y se incorporó al catálogo de metadatos para facilitar su búsqueda y visualización. Asimismo, se generaron los servicios de mapas (WMS, TMS) para su publicación, mediante interfaces estándares (14).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con las bases de datos de los SCT del INICA y a través del visor genérico de la IDE de AZCUBA, se lograron representar los bloques y campos de las 10 Empresas Agroindustriales Azucareras (EAA)

y las 101 Unidades Productoras Cañeras (UPC). De modo similar, se ofreció la visualización de los campos cubiertos de caña de azúcar, en cada forma productiva (figuras 1 y 2, respectivamente).

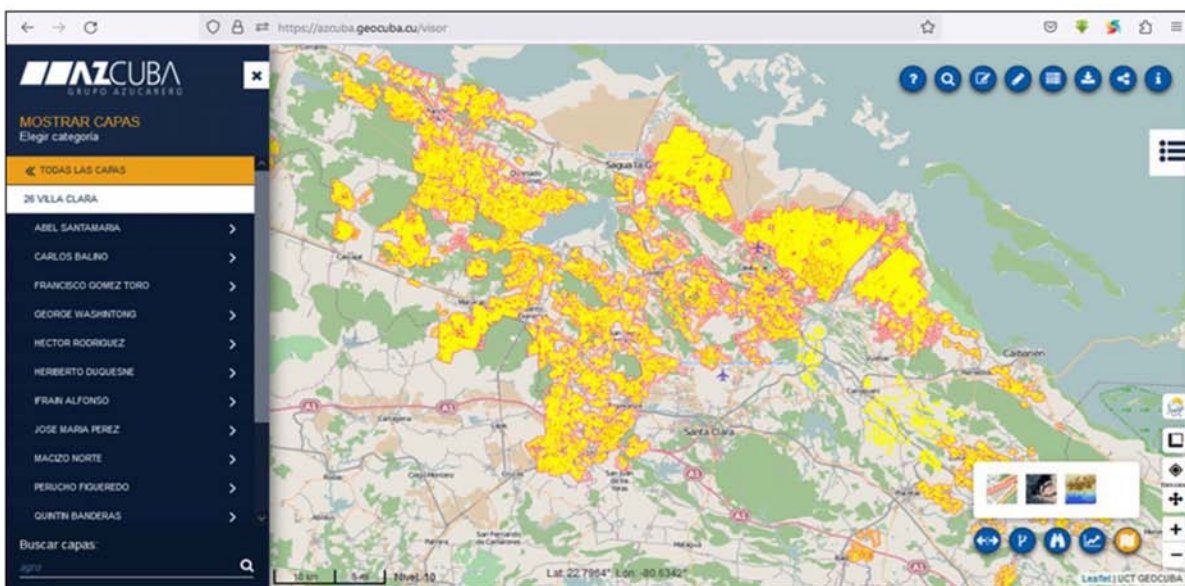


Figura 1. Visor genérico de la IDE AZCUBA. Bloques y campos.

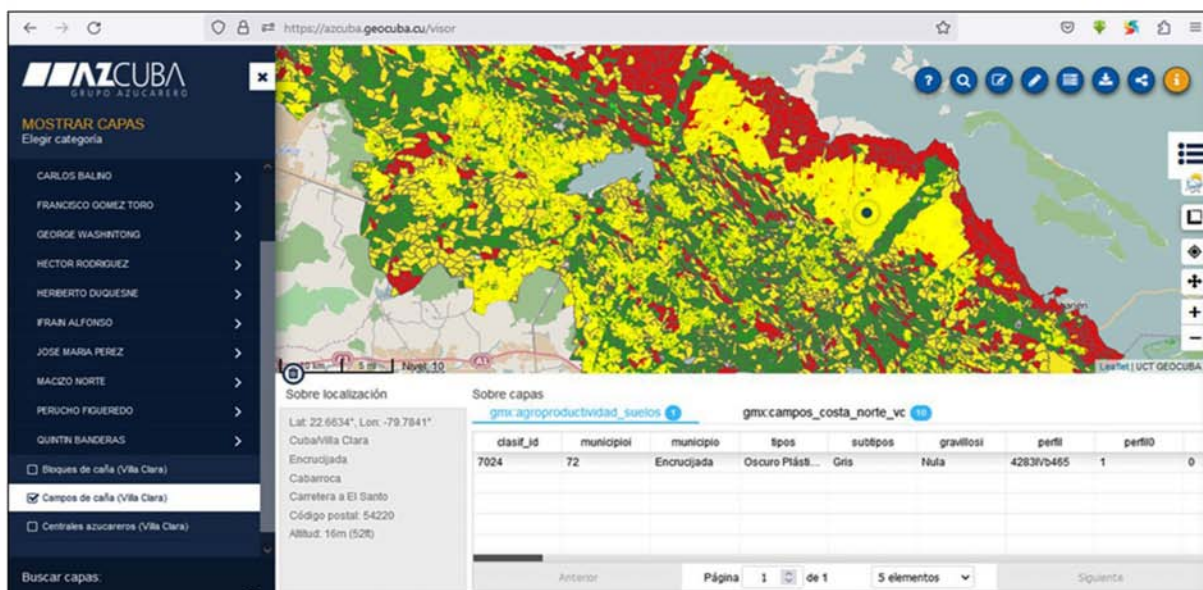


Figura 2. Visor genérico de la IDE AZCUBA. Campos cubiertos de caña de azúcar.

Auravant (15), señaló que con la utilización de las imágenes se ponen de manifiesto las características de los cultivos, en espectros no visibles para el ojo humano. Este autor informó, además, que con esta información podemos conocer el estrés hídrico de las plantas o el vigor de un cultivo, dar seguimiento temporal de impactos medioambientales como son la quema del cultivo de la caña de azúcar, contenido de humedad del suelo, entre otros.

La IDE incorporó al visor de mapas toda la información vectorial, dentro de la cartografía del macizo cañero de la Costa Norte de Villa Clara, que incluye a las EAA Héctor Rodríguez (HR), del municipio de Sagua la Grande, Abel Santamaría (AS) y Perucho Figueredo (PF), de Encrucijada; así como, José María Pérez (JMP), de Camajuani. En este mapa se mostró la superficie agrícola, forestal, acuosa, habitada, industrial, entre otros, de estas cuatro empresas (figura 3).

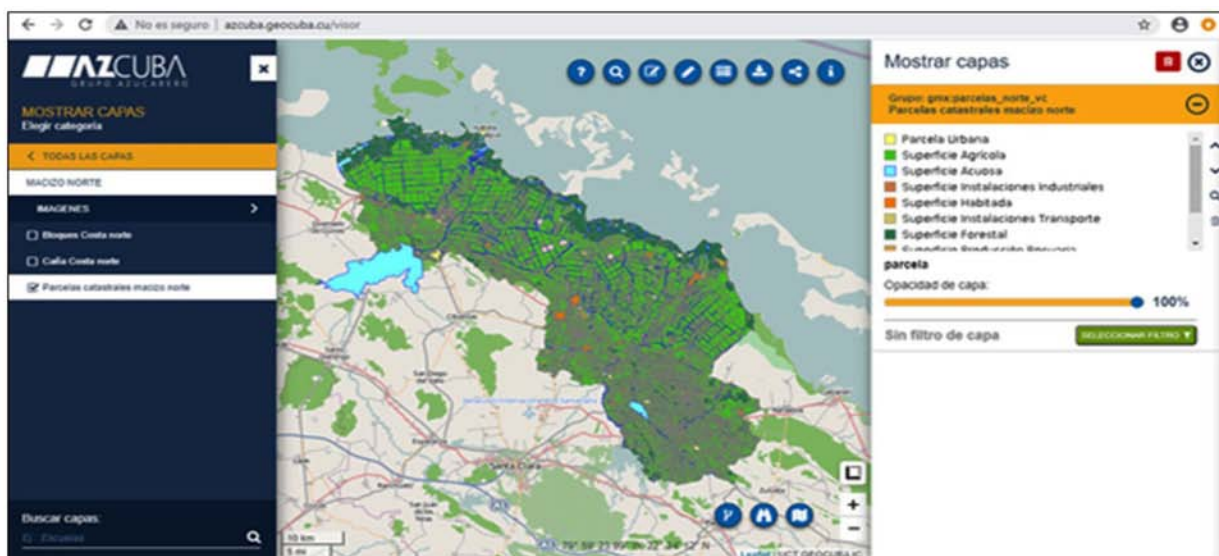


Figura 3. Parcelas catastrales del área de estudio.

La IDE integró la información de variables cañeras obtenidas a través de los SCT y generó los mapas temáticos por cada empresa y códigos con los lotes, bloques, campos, áreas, entre otros. Estos aspectos permitieron acceder a información para la toma de decisiones en las EAA (figuras 4 y 5) y cumplir con el Servicio de Ordenamiento Territorial (SEROT) del INICA.

La IDE integró la información de variables cañeras obtenidas a través de los SCT y generó los mapas temáticos por cada empresa y códigos con los lotes, bloques, campos, áreas, entre otros. Estos aspectos permitieron acceder a información para la toma de decisiones en las EAA (figuras 4 y 5) y cumplir con el Servicio de Ordenamiento Territorial (SEROT) del INICA.

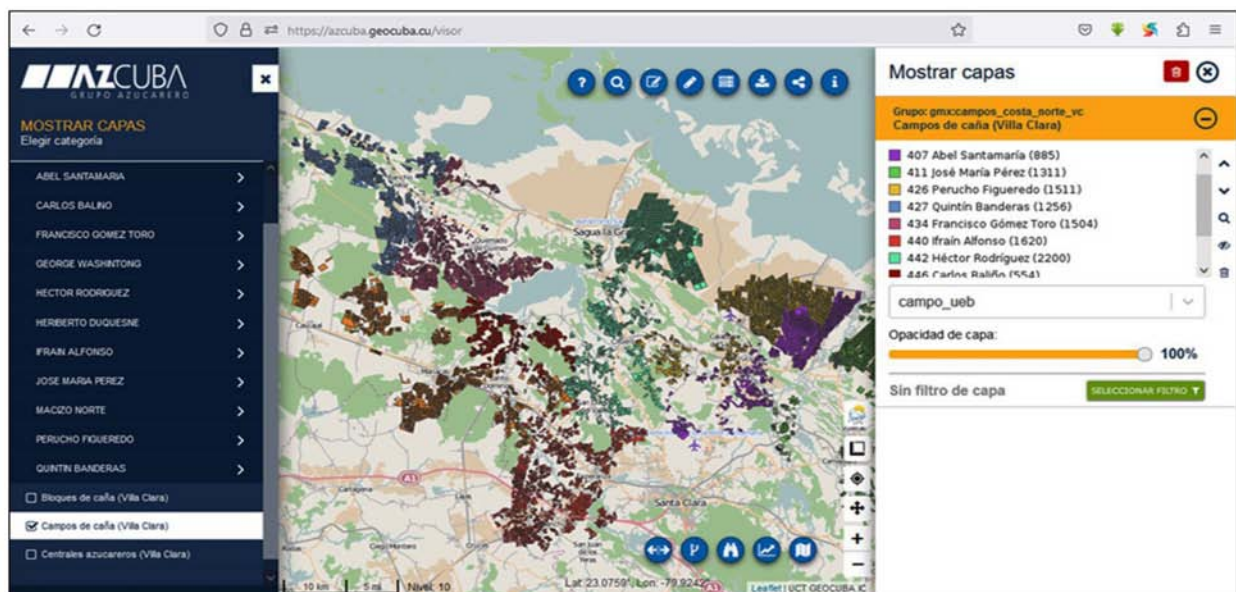


Figura 4. Información integrada a la IDE (Zonificación de campos cañeros por EAA).

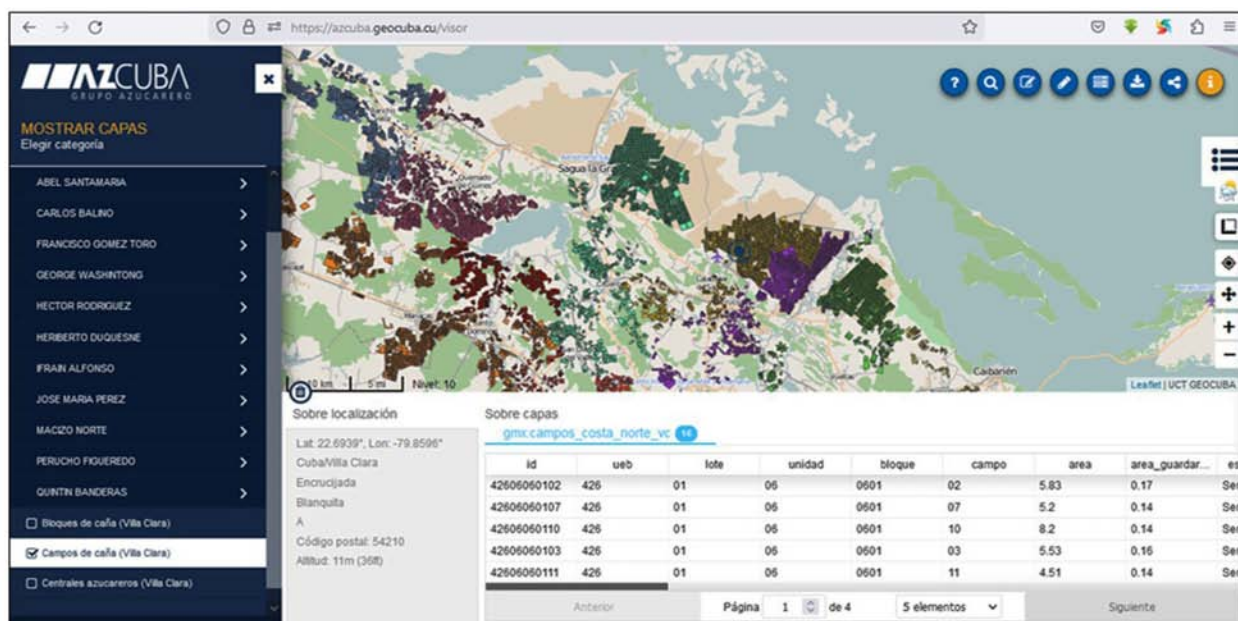


Figura 5. Información integrada a la IDE (Zonificación de campos cañeros por EAA y códigos de lotes, bloques, campos, áreas, entre otros).

Se logró visualizar la recomendación del Servicio de Variedades y Semillas (SERVAS), con la mapeación de cada cepa. La figura 6 muestra, a modo de ejemplo, la distribución espacial por cepas de caña de azúcar de la Empresa Agroindustrial Azucarera Héctor Rodríguez (EAAHR).

De esta manera se apreció que las cepas predominantes son los retoños y retoños quedados, distribuidos en 957 campos, que representan más del 40 % de dichos campos cañeros; seguidamente, se encuentra las socas (197 campos), primaveras (167 campos), primaveras quedadas (126 campos) y fríos (49 campos), esta última como la de menor existencia dentro de la empresa, tan solo un 2.2 % del total de campos cañeros. Asimismo, se obtuvieron datos relacionados con la producción: la composición de cepas, el destino de los campos cañeros en la zafra y la estrategia a seguir.

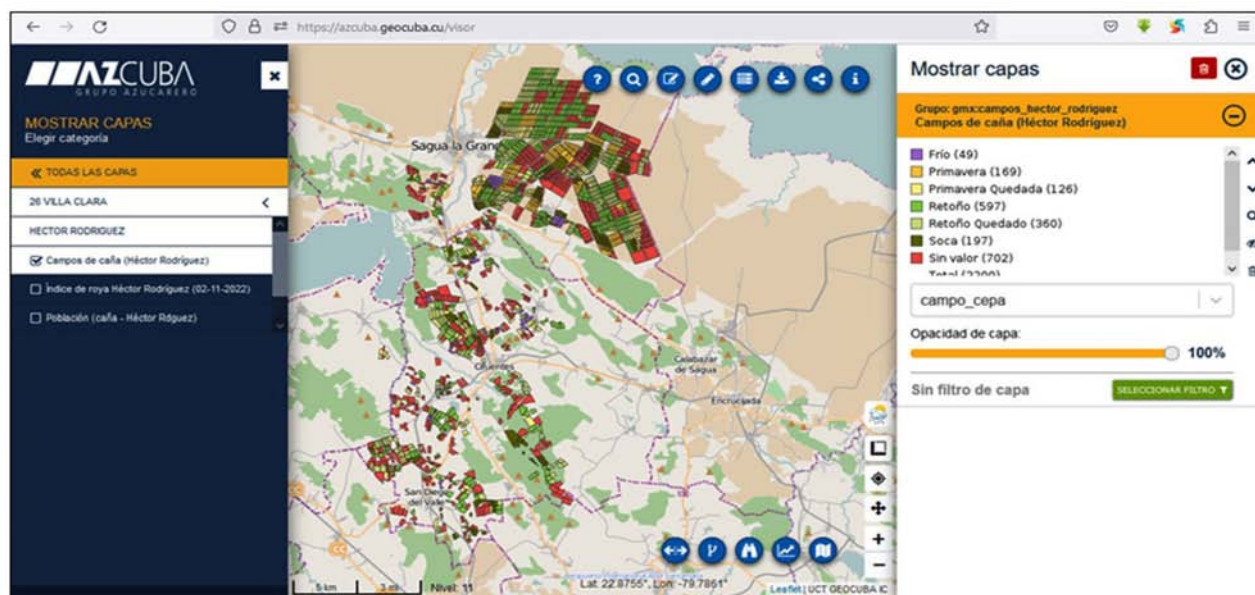


Figura 6. Distribución espacial por cepas de caña de azúcar de la Empresa Agroindustrial Azucarera Héctor Rodríguez (EAAHR).

Becerra *et al.* (16), señalaron que el mapa con la ubicación de las cepas, las variedades y sus características, constituyen elementos de gran importancia para poder trazar una adecuada estrategia de producción. Señalan, además, que se logra una mejor planificación de la estrategia para la realización de la zafra.

A modo de ejemplo, se mostró también el mapa del destino del material vegetal de la EAA Ifraín Alfonso (IA), del municipio de Ranchuelo (figura 7). La caña molible (planificada para llevar a la zafra) representó el 22.4 % del área, la no molible (5.9 %) y la de semilla (5.9 %). Sin embargo, la mayor visualización correspondió al área vacía con el 65.8 % del total.

Con esta visualización se logran obtener también los mapas de la agroproductividad de los suelos cañeros. Con esta información, se pueden generar otros escenarios y considerar parámetros intrínsecos de cada suelo, como la pendiente, profundidad efectiva, drenaje, pedregosidad, salinidad y otros.

Con el empleo de los mapas de productividad se evalúa la productividad en toneladas de caña por hectárea, con la interacción de muchas variables (pH, nutrientes, humedad, variedad, grupo de manejo, roturación, variables físicas y otras).

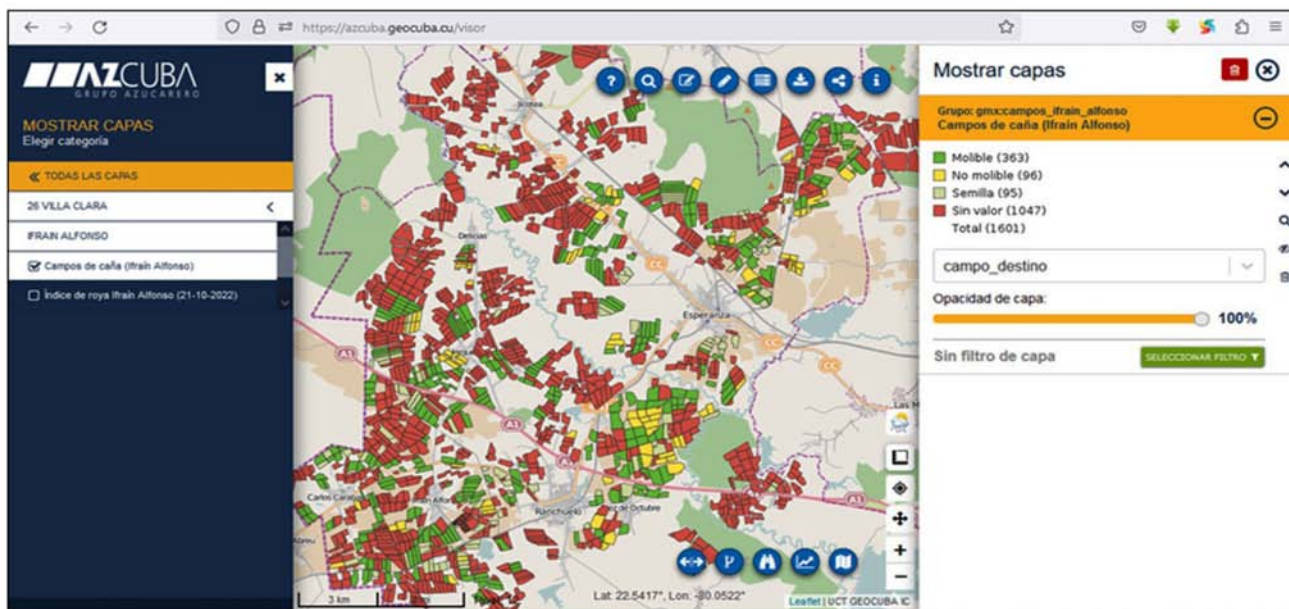


Figura 7. Distribución espacial del destino de la caña.

Villatoro (17) señaló que en el cultivo de la caña de azúcar, en la Florida, se han adoptado técnicas de muestreo de suelos, para producir mapas de aplicación de fertilizantes a dosis variables. Plantea además, que los mapas de producción se elaboran con el empleo de fotografías infrarrojas e imágenes de satélite. Sin embargo, en Australia, la dedicación principal estuvo centrada en la elaboración de mapas de producción, que apoyaron el manejo de campo.

Al respecto, Cock y Jiménez (18) informaron que en el centro agrícola de Lousiana, se han elaborado mapas de rendimiento y que estos proveen de información específica por sitio, que soporta las decisiones de manejo de fertilizantes y pesticidas. Estos autores señalaron, también, que en Brasil una de las primeras actividades fue implementar un muestreo de suelos directo, basado en mapas de suelo y fisiografía. Asimismo, desarrollaron un sistema de mapeo de rendimientos y determinaron que existía una alta variabilidad de las propiedades químicas de suelos dentro de clases que se consideraban homogéneas.

En la figura 8 se presenta la distribución espacial de la maleza predominante por cada campo, UPC y EAA. El *Shorghum halepense* (Don Carlos) ocupó el 11 % de infestación en los campos ca-

ñeros, pues es la maleza de mayor distribución dentro de la provincia; seguida de *Dichanthium annulatum* (Pitilla) con un 24 % infestación de los campos, aspecto este que, a través del SERCIM, solo se podía percibir en documentos informados por los especialistas, que pueden estar sujetos a errores visuales.

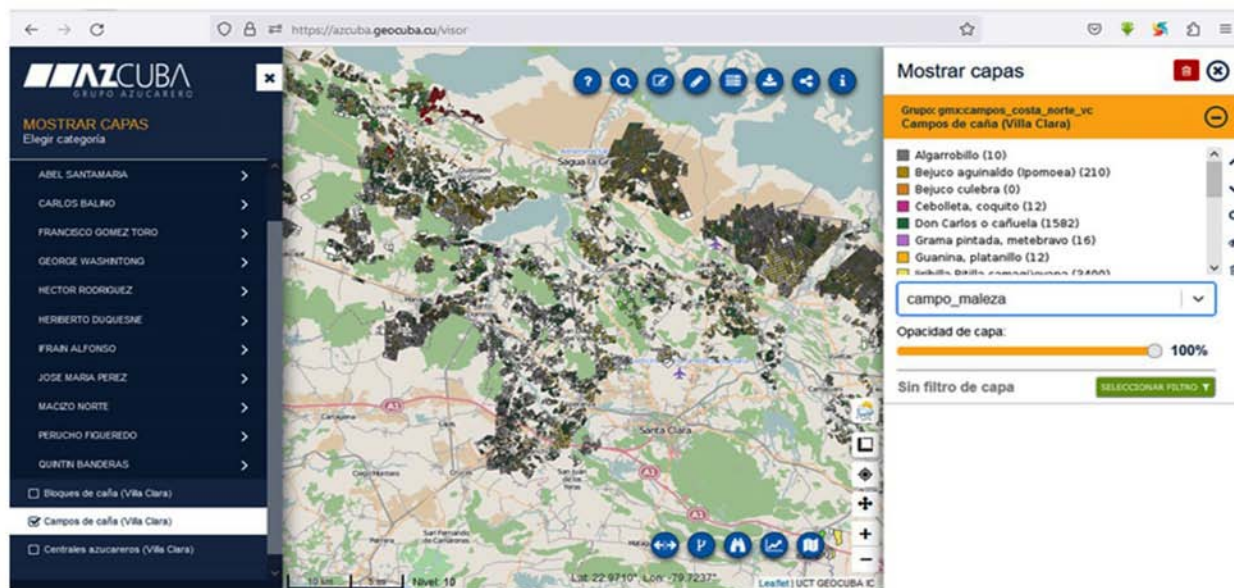


Figura 8. Distribución espacial de la maleza predominante por campo.

Estas técnicas optimizan el uso de insumos agrícolas, en función de la variabilidad espacial y temporal para la reducción de los costos, aumento de la productividad o una combinación de ambos en la producción de caña de azúcar. Asimismo, identifica la diferencia que existe en un mismo lote, campo o unidad productora, cuyo efecto se expresa en resultados distintos en la producción.

Al respecto, ISPAG (19) señaló que los beneficios de la agricultura de precisión son claros, ayudan a definir las propiedades y características del suelo para lograr una productividad óptima, a resolver los problemas del uso adecuado de los recursos, los altos costos y el impacto medioambiental. Sin embargo, Sersolcampo (20) informó que la agricultura de precisión utiliza una gama de tecnologías, en lo referente a la robótica e informática, que pueden otorgar múltiples ventajas al agricultor con la precisión que ofrecen. Este propio autor señalaba, además, que esta técnica permite medir la variabilidad temporal y la variabilidad espacial, hacer un seguimiento a las zonas de cultivo donde la producción no es la óptima y conocer con exactitud el desarrollo del cultivo.

CONCLUSIONES

1. La infraestructura de datos espaciales permite lograr el ordenamiento territorial integral de las áreas cañeras; así como perfeccionar las recomendaciones de los SCT a los productores.
2. La conformación de la IDE para las unidades productoras constituye una herramienta de gran utilidad en el proceso de toma de decisiones, para el adecuado manejo y explotación del cultivo de la caña de azúcar y permite, a su vez, a los directivos, acceder a toda la información de manera muy sencilla, a través de las TIC.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Culturas. 2017. ¿Sabe qué es la Agricultura de Precisión? Descúbralo aquí., [en línea], Disponible en: <https://hablemos de culturas.com/agricultura de precisión/>, [Consulta: 20 de enero de 2020].
2. Orozco, OA y Llano, G. 2016. Sistemas de información enfocados en tecnologías de agricultura de precisión y aplicables a la caña de azúcar, una revisión. *Revista Ingenierías*. Universidad de Medellín, Colombia, 15(28): 83-102. ISSN 1692 - 3324 - enero-junio de 2016/324.
3. Olaya V. 2011. Sistemas de información geográfica, Creative Common Atribucion.
4. Jiménez GE, León A, Piñero PY, Romillo A. 2016. 'SIGESPRO: Sistemas de Información Geográfica para controlar proyectos', *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*. La Habana, Cuba: Ediciones Futuro, 10(2): 181-195.
5. Santana I, Santos JC, Guillen S. 2007. Instructivo Técnico del cultivo de la caña de azúcar. Publicinica, 148 p.
6. Piñón GD. 2001. Programa para el Manejo y Control de Enfermedades de la Caña de Azúcar SEFIT - Servicio Fitosanitario a la Producción. Junio 2001. INICA.
7. Rodríguez M, Rodríguez EL, Alfonso I y Acevedo R. 2004. Manual de procedimientos del SEFIT. Publicinica, 100p.
8. Rodríguez M, Rodríguez EL, Alfonso I y Acevedo R. 2013. Actualización del Manual de procedimientos del SEFIT. Publicinica, 93p.
9. Bernabé, MA y López CM. 2012. Fundamentos de las Infraestructuras de Datos Espaciales. UPM-Press, Serie Científica.
10. Valencia J. 2008. Pasado, presente y futuro de las infraestructuras de datos espaciales, Bubok Publishing S.L.
11. Iniesto M y Núñez A. 2014. «Introducción a las infraestructuras de datos espaciales». *Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG)–Dirección General del Instituto Geográfico Nacional (IGN)*. Recuperado de <https://docplayer.es/16574006-Introduccion-a-las-infraestructuras-de-datos-espaciales-maria-iniesto-amparo-nunez.html>.
12. Capote, JL y Cruz, R. 2020. «Tecnologías de Big Data geoespacial en el Centro de Información Geoespacial de Geocuba». *Revista Cubana de Transformación Digital*, 1(2): 74-85.
13. Pichardo LO, Cruz R, Escobar AL, Pena E y Pozo L. 2022. Visor de Mapas WEB en la gestión de riesgos y adaptación al cambio climático. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 16(1): 30-45.
14. Soca-Muñoz JL, Rodríguez-Machado E, Aday-Díaz O, Hernández-Santana L, Orozco Morales R. 2020. Spectral signature of brown rust and orange rust in sugarcane. *Revista Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia*, No.96, pp. 9-20. ISSN: 2422-2844. Referenciada por: Scopus, Scielo, DOAJ, REDALYC.
15. Auravant. 2020. ¿Qué es GNDVI?, [en línea], Auravant, Disponible en: <https://auravant.com/knowledge-base/que-es-gnd/>, [Consulta: 20 de enero de 2020].
16. Becerra E, Más R, Pineda E, Barreto B, Vidal ML y Lugo I. 2007. Implementación de un Sistema de Información Geográfica como herramienta para el ordenamiento territorial en villa clara. Trabajo Presentado en el 60 Aniversario de la Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar EPICA "Antonio Mesa Hernández"
17. Villatoro B. 2017. Agricultura de precisión en caña de azúcar. Memoria Presentación de resultados de investigación Zafra 2016 – 2017. CENGICAÑA, pp. 331-343.
18. Cock J y Jiménez D. 2011. AEPS o AP: Conceptos, definiciones y su importancia. *In Seminario Agricultura Específica por Sitio y Agricultura de Precisión (Calí, Colombia) Presentación de Power Point.*

19. ISPAG. 2019. Definición de Agricultura de Precisión, [en línea], International Society of Precision Agriculture, Disponible en: <http://www.ispag.org>.
20. Sersolcampo. 2020. Ventajas y desventajas de la agricultura de precisión, [en línea], Sersolcampo, Disponible en: <https://www.sersolcampo.com> , [Consulta: 20 de enero de 2020].