

Tipo de artículo: Artículo original
Temática: Reconocimiento de patrones
Recibido: 04/10/2018 | Aceptado: 12/04/2019

Sistema de Información Geográfica para la agricultura cañera en la provincia de Villa Clara

Geographic Information System for sugarcane agriculture in the province of Villa Clara

Carlos A. Perez-Garcia ^{1*}, Jorge Javier Pérez-Atray ¹, Luis Hernández -Santana ¹, Robby Gustabello-Cogle¹, Everaldo Becerra-de Armas²

¹ Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Carretera a Camajuaní, Km 5^{1/2}, Santa Clara, Villa Clara, Cuba. CP: 50100

² Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar. Autopista Nacional, km 246, Ranchuelo, Villa Clara, Cuba. CP: 53100

* Autor para correspondencia: capgarcia@uclv.cu

Resumen

El empleo de los Sistemas de Información Geográficos en ramos como la agricultura brindan soporte para aumentar la eficiencia de las tareas de cultivos. Específicamente en la agricultura cañera, estos permiten analizar diversas fuentes de información geográfica disponibles en la actualidad, como son: las imágenes aéreas y los datos de cosecha de las maquinarias agrícolas; lo que posibilita la obtención de indicadores productivos que sientan las bases para la aplicación de técnicas avanzadas de cultivo. El objetivo del presente trabajo es proponer un Sistema de Información Geográfica basado en el software libre para la aplicación de nuevas técnicas de gestión de parcelas en la provincia de Villa Clara. Como resultado de esta investigación se obtuvo una plataforma integradora de la información espacial relacionada con las áreas de cultivo de la caña de azúcar de la provincia, de conjunto con los datos de cosecha proporcionados por las novedosas maquinarias agrícolas que se han venido importando al país desde hace algunos años. Con base a esta información y de conjunto con geotecnologías presentes en QGIS fue posible la obtención de indicadores productivos que sustenten la toma de decisiones administrativas y la planificación de futuras contiendas.

Palabras clave: datos de cosecha, fotogrametría aérea, imágenes satelitales, servicios web de mapas, software libre

Abstract

The use of geographic information systems in branches such as agriculture provides support to increase the efficiency of farming tasks. Specifically, in sugarcane agriculture, they allow the analysis of various sources of geographic information currently available, such as aerial images and harvest data of agricultural machinery; This allows obtaining productive indicators for the application of advanced cultivation techniques. The objective of this work is to propose a Geographical Information System based on free software for the application of new techniques of crop

management in the province of Villa Clara. As a result of this research, a spatial information integration platform was obtained related to sugarcane cultivation areas in the province, together with the harvest data provided by the new agricultural machinery that has recently been imported into the country. Based on this information and together with the geo-algorithm present in QGIS, it was possible to obtain productive indicators that support administrative decision making and the planning of future competitions.

Keywords: *harvest data, aerial photogrammetry, satellite images, web map services, free software*

1 Introducción

El creciente desarrollo de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones y de los servicios de posicionamiento han potenciado la disponibilidad de información geográfica de diversos sectores de la sociedad. Ello, a su vez, ha inducido la creación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) como herramientas capaces de procesar la gran cantidad de datos existentes y proveer nueva información (Humboldt, 2006). Un SIG, se define como la integración funcional de hardware, software y procedimientos para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis y representación de datos espacialmente georreferenciados (Jiménez-Moya *et al.*, 2016).

Específicamente en la agricultura, los SIG juegan un papel primordial ya que posibilitan, entre otros: la clasificación, mapeo y cartografía de cultivos con información georreferenciada, la identificación de etapas fenológicas de las plantas, el monitoreo del riego y la predicción de rendimientos (Ustin and Gamon, 2010; Mulla, 2013; Aguillar Rivera, 2015). Todo ello basado, fundamentalmente, en fuentes de información como las imágenes satelitales, la fotogrametría aérea y los datos de cosecha de las maquinarias agrícolas.

En el caso de la agricultura cañera, el binomio tecnológico de los SIG y las imágenes aéreas posibilitan la creación de mapas digitales formados por diversas capas, como son: el tipo de suelo, la distribución de nutrientes, la topografía del terreno, la humedad del suelo y la cobertura vegetal. Siendo todas estas la base de información para el empleo de nuevas técnicas de gestión de parcelas basadas en la variación intraparcilaria de los cultivos (Palaniswami, Gopalasundaram and Bhaskaran, 2011).

La industria azucarera cubana ha sido objeto de aplicación de nuevos métodos de trabajos, con el fin de aumentar la eficiencia productiva, de forma sostenible. Ejemplo de ello es el ordenamiento territorial de la provincia de Villa Clara llevado a cabo a través del SIG *MapInfo v8.0* (Pitney Bowes Software Inc., 2008); donde se expuso el potencial productivo de los suelos destinados al cultivo de la caña de azúcar (Becerras *et al.*, 2008). Posteriormente, este trabajo fue extendido a escala de país y sirvió de base a posteriores análisis de ubicación de los cultivos con el fin de realizar

un manejo apropiado de los mismos (Benítez-Puig *et al.*, 2018). De forma general, el trabajo de referente a los SIG enfocados a la producción de caña de azúcar en nuestro país, han sido desarrollado con software que requieren licencias para su ejecución y no tienen configurado, de forma centralizada ningún Sistema Gestor de Base de Datos (SGBD).

Por otra parte, diversas Empresas Azucareras del país, han modernizado su parque de maquinarias agrícolas con la inserción de cosechadoras y pulverizadoras de la firma Case IH. Todo ello con el fin de introducir transformaciones en las tareas relacionadas con la cosecha de la gramínea, que le permitan aumentar la eficiencia productiva de forma sostenible (Daquinta-Gradaille *et al.*, 2018). Para ello, estas máquinas están dotadas de un novedoso sistema automatizado compuesto por: receptores de posicionamiento, sensores inteligentes y computadores de a bordo. Este sistema proporciona un cúmulo de información (datos de cosecha) que, hasta la fecha, no ha sido empleado a fondo por el personal de las empresas azucareras.

De igual manera, los sistemas de regadío de la caña de azúcar, han sufrido modernizaciones de sus equipamientos con el fin de realizar un uso racional y eficiente del agua y de los portadores energéticos. Para ello, se les han incorporado a las Máquinas de Riego de Pivote Central (MRPC), componentes de hardware capaces de controlar el régimen de trabajo de dichas máquinas, con el fin de satisfacer las necesidades hídricas reales de los cultivos (Avello-Fernández *et al.*, 2018). En consecuencia, la incorporación de los elementos citados con anterioridad, convierte estos sistemas en otra fuente de información de los SIG, que viabilizará la aplicación de técnicas de riego de precisión.

Por su parte, el Grupo de Automatización, Robótica y Percepción (GARP) de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas (UCLV) y la Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Villa Clara (ETICA), han trabajado de conjunto en el análisis de la respuesta espectral de sembrados experimentales de caña de azúcar. Todo ello, a partir de fotogrametría multiespectral obtenida con la utilización de un vehículo aéreo no tripulado (VANT) (Kharuf-Gutierrez *et al.*, 2018). Sin embargo, la difusión a gran escala de la citada investigación requiere de una plataforma capaz de obtener imágenes multiespectrales con mayor área de cobertura, procesarlas y analizarlas; para la ejecución de prácticas agronómicas de precisión.

Conforme a lo antes expuesto, en la presente investigación se realiza una propuesta de SIG basado en el software libre *Quantum GIS* (QGIS) para la aplicación de nuevas técnicas de gestión de parcelas cañeras en la provincia de Villa Clara. Esta plataforma posibilitará integrar las diversas fuentes de información geográfica existentes y proporcionar a los usuarios nuevas bases que fomenten la toma de decisiones administrativas y la planificación de tareas.

Adicionalmente, se proveerá una interfaz web que permita el acceso al SIG en cuestión de una forma más sencilla y con mayor grado de compactación de la información presentada.

2 Materiales y métodos

El acceso al código fuente y la posibilidad de modificar los programas informáticos sin restricción alguna, constituye algunas de las ventajas que han permitido la expansión del software libre a disímiles aplicaciones de la sociedad. Muestra de ello son los SIG libres, los cuales han posibilitado adaptar el software a las necesidades particulares de los usuarios y posteriormente ser explotados libremente. Conforme a ello, en la presente investigación, se desarrolla un SIG empleando QGIS como herramienta principal de procesamiento de datos; de conjunto con otras aplicaciones de código abierto con el fin de satisfacer las necesidades del contexto de aplicación. La interacción presente entre los diferentes software utilizados, puede ser descrita a partir de la estructura mostrada en la Figura 1.

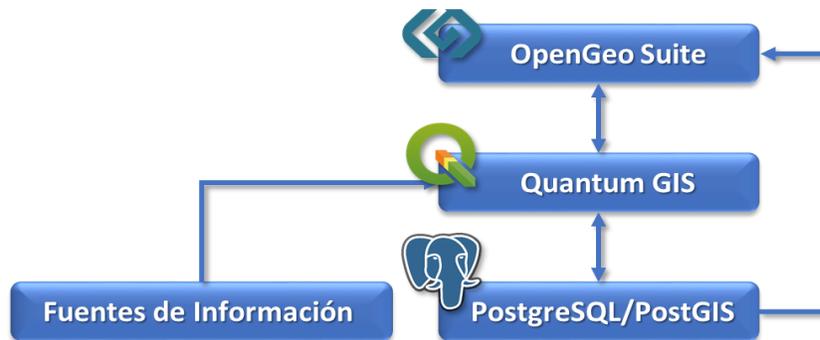


Figura 1. Estructura general del SIG propuesto

2.1 Quantum GIS

QGIS, figura entre los SIG de código abierto más empleados por los usuarios de las tecnologías de la geomática en general. Disponible para diversos sistemas operativos, posibilita el manejo de una gran variedad de ficheros de distintas fuentes. Adicionalmente posee una arquitectura extensible, basada en la incorporación de *plugin* desarrollados tanto en *C++* como *Python*, que posibilitan sintetizar procedimientos o adecuar funcionalidades del software para satisfacer las necesidades de la aplicación. También posee soporte de conexión con las bases de datos geoespaciales de mayor renombre internacional (*Oracle Spatial*, *MySQL*, *PostgreSQL*, entre otros) y a su vez permite la configuración de servicios web mapas, de información temática y de metadatos en general (Shekhar and Xiong, 2017).

Con base a todo ello, los diferentes geoalgoritmos de QGIS, permite llevar a cabo disímiles operaciones con el fin de fiscalizar las operaciones de las máquinas y el cumplimiento del calendario de las actividades de cosecha, así como la

planificación de futuras contiendas. Presentándose, además, a los ejecutores una interfaz web basada en *OpenGeo Suite* con el fin de sintetizar la información geoespacial manipulada en dicho SIG.

2.2 OpenGeo Suite

OpenGeo Suite es un framework de desarrollo de aplicaciones geoespaciales web compuesto por una gama de software de código abierto, que posibilitan servir mapas y datos a través de los navegadores de dispositivos móviles y clientes de escritorio (Morales, 2017). Entre las aplicaciones que la integran se encuentran:

- *PostGIS*: Proporciona una base de datos rápida y potente para responder a peticiones de consultas espaciales.
- *GeoServer*: Constituye el servidor de mapas que provee acceso a fuentes de datos y mapas cartográficos de mediante estándares web.
- *GeoWebCache*: Almacena los mapas teselados y los sirve a través de protocolos estándar para garantizar la escalabilidad de los geoservicios.
- *OpenLayer*: Es el estándar para los clientes cartográficos web, capaz de consumir múltiples fuentes de mapas y de proveer herramientas para la edición y captura de datos.
- *GeoExplorer*: Es el componente estándar de interfaz de usuario para la construcción de aplicaciones web de SIG con la apariencia y funcionalidad de las aplicaciones de escritorio.

Es fuerza decir que el empleo de *GeoServer* como servidor de mapas, posibilita además controlar el acceso web al SIG, a partir de un nombre de usuario y contraseña atendiendo a los diferentes roles administrativos del personal que interactúen con el mismo.

2.3 Bases de Datos Geoespaciales

El desarrollo de las tecnologías relacionadas con los SIG en los últimos años, ha permitido aumentar cualitativa y cuantitativamente la información geoespacial disponible en diferentes sectores de la sociedad. Por cuanto, se ha hecho necesario el empleo de SGBD como herramientas capaces de manejar los elevados volúmenes de datos geoespaciales. Para lo cual los SGBD tradicionales han incorporado complementos que les ha permitido, entre otros, almacenar atributos temáticos asociados a un conjunto de entidades espaciales, así como su información geométrica.

PostgreSQL es un SGBD relacionar de código abierto, orientado a objeto, que posibilita la confección ilimitada de bases de datos y posee un rendimiento estable ante grandes cargas de trabajo. PostGIS, figura entre sus módulos más empleados, el cual permite la manipulación y almacenamiento de datos espaciales. Este módulo, también es capaz de

implementar metadatos, funciones geométricas y topológicas para el trabajo con datos espaciales (Shekhar and Xiong, 2017). Es preciso señalar que el empleo de PostgreSQL con su extensión PostGIS en los SIG, permite centralizar la información geográfica en una base de datos única con diversos roles de acceso, lo cual viabiliza los procesos de actualización de los metadatos de los ficheros indexados en el sistema. Por ejemplo, la información catastral de la empresa y el estado actual de la parcela (sembrado o vacío).

2.4 Fuentes de Información

Bajo una arquitectura cliente servidor, el SIG propuesto, posibilita integrar en una única aplicación los diferentes procesos relacionados con la implementación de las nuevas tecnologías empleadas en la agricultura cañera. Acorde con la Figura 1 el núcleo de procesamiento QGIS recibe, como fuentes de información: la zonificación de las áreas cañeras, la información provista por las maquinarias del sistema avanzado de cultivo (AFS, por sus siglas en inglés) (cosechadoras y pulverizadoras), el registro de funcionamiento de las máquinas de riego de precisión y las imágenes aéreas proporcionadas tanto por misiones espaciales como Séntinel-2 como por VANT.

Zonificación de Áreas Cañeras

La zonificación de las áreas cañeras, constituye la capa base sobre la que están sustentadas el resto de las fuentes de información del SIG en cuestión. Esta capa posee la información gráfica correspondiente a las distintas parcelas de las empresas azucareras de la provincia. Unido a ello, se encuentran los metadatos referentes a: la ubicación de la parcela, el área que comprende la misma, la empresa azucarera a la que está adscrita, el estado actual de la misma (vacía o sembrada), entre otros. Cabe señalar que la zonificación de las áreas cañeras era información ya manipulada con anterioridad por el personal de la empresa azucarera, resultado de investigaciones precedentes (Benítez-Puig *et al.*, 2018), las que emplean para su gestión sistemas sujetos a licencia y sin bases de datos configuradas.

Maquinarias del Sistema Avanzado de Cultivo

Los datos de cosecha exportados por las maquinarias agrícolas del AFS, representan la principal fuente de información geográfica para el monitoreo de las operaciones agrícolas y la máquina en general. Estos datos son el resultado de las mediciones realizadas por los diferentes sensores de la máquina, los que a su vez son georreferenciados por el receptor de posicionamiento y exportados a través del computador de abordaje (Perez-García, Gustabello-Cogle and Hernández-Santana, 2018). La información consiste en un fichero vectorial compuesto por un mapa de puntos representativo de la

trayectoria realizada por la maquinaria. Las diferentes trayectorias se encuentran estructuradas según la división administrativa de la zona de labranza de la maquinaria.

Máquinas de Riego de Precisión

Las MRPC automatizadas están equipadas con controladores lógicos programables (PLC, por sus siglas en inglés). Estos dispositivos posibilitan integrar dichas máquinas a sistemas basados en plataformas interactivas, con el fin de obtener información referente al funcionamiento de las mismas, en forma de registros de funcionamiento (*log*) que son transmitidos a partir de servicios web soportados por el PLC utilizado, (Avello-Fernández *et al.*, 2018). Todo ello proporciona cierto grado de automatización a las MRPC ya que, de conjunto con otras fuentes externas de información como las imágenes aéreas posibilitan la aplicación de agua a los cultivos de forma diferenciada.

Imágenes Aéreas

El empleo de la fotogrametría aérea basada en VANT, en la recolección de información temática, constituye una fuente de información que ha ganado auge en la gestión de actividades agrícolas de precisión, siendo esto respaldado por: el aumento de la calidad de las imágenes resultantes, debido al empleo de cámaras de alta resolución; la disminución del ruido ambiental, a causa del vuelo a baja altura; entre otros (Rincón-Romero *et al.*, 2015). Pese a todo, la aplicación de la fotogrametría en la agricultura se encuentra limitada, a aplicaciones de investigación, debido a la baja autonomía de los VANT y la necesidad de emplear poderosos equipos de cómputo para la obtención de las ortofotos. Aún así, este tipo de imágenes constituye una fuente de información geográfica a tener en cuenta en los SIG, ya que posibilitan el desarrollo de nuevos algoritmos que describan el comportamiento de los cultivos, (Kharuf-Gutierrez *et al.*, 2018).

Por otra parte, la misión espacial Sentinel-2 (S2), perteneciente al programa Copérnico para la Observación de la Tierra de la Agencia Espacial Europea (ESA, por sus siglas en inglés) se destaca como una de las fuentes de información satelital más diversificadas en las aplicaciones agrícolas a gran escala. Basada en la constelación de dos satélites distribuyen, gratuitamente, cada 5 días imágenes con resoluciones espacial en el orden de los 10 metros/píxel. Estas características hacen posible la generación de mapas de usos del suelo, cobertura vegetal, contenido de clorofila, contenido de agua en las hojas, entre otros (Borràs *et al.*, 2017). Todo ello respaldado con un instrumento multiespectral (MSI) a bordo del S2, que proporciona 13 bandas espectrales, las cuales van desde el espectro visible y el infrarrojo cercano (NIR, por sus siglas en inglés), hasta el infrarrojo de onda corta (SWIR, por sus siglas en inglés) (Drusch *et al.*, 2012).

De la combinación de las diferentes bandas espectrales referidas con anterioridad, es posible la generación de índices vegetativos. Estos permiten extraer información relacionada con la vegetación, entre la que se encuentra: la cantidad de biomasa verde, el contenido de clorofila y el estrés hídrico en el follaje. El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI, por sus siglas en inglés) es considerado uno de los más manejados en el sector agropecuario; donde su fácil obtención y su buena correlación con las variables agrícolas ha servido de base para la planificación de tareas encaminadas a la aplicación de dosis variable (Murillo and Carbonell, 2012). Conforme a ello, los servicios satelitales enfocados a las aplicaciones agrícolas proporcionan directamente los valores de NDVI, a los usuarios finales.

Para la adquisición de las imágenes y la información en general, la ESA posee un portal de acceso gratuito, el cual además posibilita la configuración de servicios web de mapas para su uso directamente en los SIG. En nuestro caso, esta disponibilidad permitió descargar solamente el área requerida para el trabajo y utilizar las potencialidades de corrección atmosféricas provista por el propio servicio satelital. Como consecuencia, se reduce el volumen de información a descargar y se obtiene una imagen de mayor calidad.

3 Resultados y discusión

De acuerdo con el estado actual de las tecnologías de los SIG y software que complementan su funcionamiento, se llevó a cabo la confección de una plataforma con plenas capacidades de procesar la información proveniente de las diversas fuentes relacionadas con las prácticas de agricultura avanzada aplicadas actualmente en la caña de azúcar en nuestro país.

3.1 Bases de Datos

Tal como se refiere en la sección 2.4, para el desarrollo del presente SIG, se creó en el SGBD PostgreSQL una base de datos representada a partir del diagrama mostrado en la Figura 2. En esta, además, se puede apreciar la relación existente entre los campos de las diferentes tablas de la base de datos.

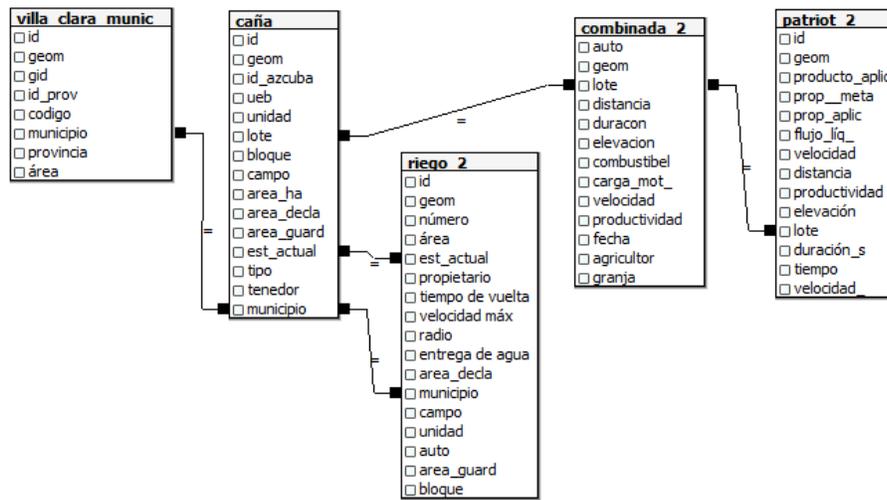


Figura 2. Diagrama de base de dato

Con el empleo de PostgreSQL como SGBD, se le añaden disímiles funcionalidades de análisis a los componentes geométricos del SIG como son la determinación de las relaciones espaciales, la manipulación de geometrías y la exportación de ficheros a extensiones conocidas. Esto permitió establecer, en las maquinarias AFS, nuevas estrategias de trabajo sobre la base del área de cultivo; a partir de introducirles a los computadores de abordo la geolocalización de las zonas de trabajo.

3.2 Fuentes de Información

Con el fin de vincular las operaciones de las máquinas con las diversas áreas productivas, se empleó como mapa base la división política-administrativa de la Provincia de Villa Clara obtenida a partir del Proyecto Colaborativo *OpenStreetMap*. Sobre esta capa, se representó la zonificación referente a las áreas destinadas al cultivo de caña en la provincia de Villa Clara tal como se muestra en la Figura 3.



Figura 3. Zonificación de áreas cañeras de la Provincia de Villa Clara

Con base a la información publicada con anterioridad fue posible relacionar, las características de la zona labranza con las actividades agrícolas realizadas por las maquinarias. A su vez se pudo analizar de forma automatizada los parámetros de funcionamiento de las maquinarias agrícolas, siendo esta una de las mayores problemáticas de las empresas azucareras del país, ya que hasta la fecha solo se monitorizaba el recorrido de los equipos a partir de dispositivos externos y mediciones manuales.

En la Figura 4 se muestra un mapa temático representativo de la velocidad de trabajo de una pulverizadora Case IH Patriot 250, a una parcela perteneciente a la Empresa Azucarera Héctor Rodríguez de la provincia de Villa Clara. Adicionalmente en la figura se exhibe, de forma puntual, el comportamiento de algunos de los parámetros técnico empleados por el personal de la Empresa Azucarera para fiscalización de las operaciones en el campo. Entre estos se encuentran: el nombre del producto, la dosis de aplicación configurada y la cantidad de producto esparcido en el campo. De forma similar, todas las variables citadas anteriormente, e incluso los índices producto de la combinación de ellas, pueden ser perfectamente reproducidas en mapas similares y en informes resumen.



Figura 4. Mapa temático de la pulverizadora Case IH Patriot 250

Es preciso añadir que los análisis de fiscalización de las operaciones en el campo, constituyen la base sobre la que se sustenta la aplicación de tecnologías agrícolas de avanzada como los Control de pasadas en el Campo y la planificación de tareas. Ello, a su vez permite el ahorro sustancial de insumos en las labores agrícolas al tiempo que permite reducir los costes y mantener la cantidad y calidad de las cosechas de forma sostenible.

Por su parte, la incorporación de elementos de cómputo a las MRPC, permitió registrar una serie de parámetros de elevada importancia para el control del funcionamiento de estos equipos como son: el tiempo de trabajo, cantidad de agua aplicada, ángulo de rodada, entre otros (Figura 5).

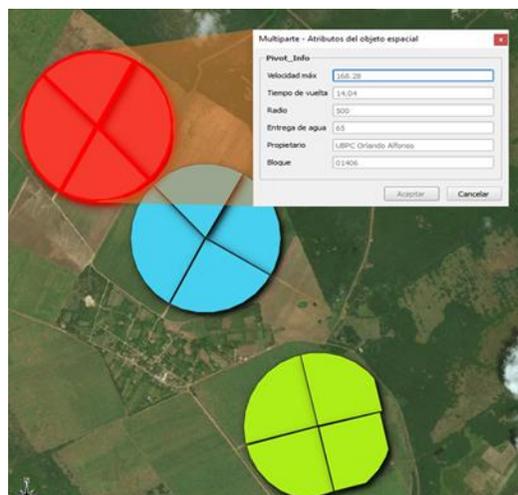


Figura 5. Mapa temático de características técnicas de máquina de riego de pivote central *Cuñat Agrocaja*

A partir de los servicios web sustentados por el hardware de control adosado a la máquina, se confeccionó una capa del SIG representativa de los parámetros operacionales de las máquinas de riego de este tipo, así como la estructura administrativa (Bloque, Campo, Área, etc.) a la que pertenecen.

3.3 Procesamiento con QGIS

Basados en la conexión previamente creada entre el SIG en cuestión y el navegador de S2, se pudo obtener las imágenes satelitales multiespectrales correspondientes a las áreas cañeras de la provincia de Villa Clara. Tal como se refirió anteriormente, estas imágenes poseen la información sobre la radiación reflejada de los cultivos. A partir de la cual es posible la implementación de técnicas como el manejo de sitio específico, donde la caracterización espacial de las unidades de manejo y la determinación de la variación intraparcilaria de las características del cultivo, son la base de estas prácticas (Mieza, Kovac and Martínez, 2012).

De forma similar, se empleó las imágenes aéreas provistas por VANT para el estudio de la respuesta espectral de los cultivos con una mayor resolución, pero a pequeña escala. Obteniéndose así, procedimientos como el de la discriminación de las de las parcelas de la gramínea en dependencia de la edad y densidad poblacional. En la Figura 6 se exhibe el comportamiento del NDVI en uno de los campos experimentales de la ETICA de la provincia de Villa Clara.



Figura 6 Imagen satelital del NDVI recolectadas por el VANT (izquierda) y recolectada por S2 (derecha)

Con la información del comportamiento espectral de los cultivos, provista por las imágenes anteriores, de conjunto con herramientas presentes en el software QGIS; se confeccionó el mapa de prescripción (Figura 7), destinado a realizar un tratamiento diferenciado de aplicación del biostimulante *FitoMas-E* a una plantación de caña de azúcar. Para la elaboración de este mapa, se asociaron las diferentes tasas de aplicación con el fin de ajustarse a las capacidades mínimas de actuación de la pulverizadora empleada (Case IH Patriot 250).



Figura 7. Mapa de prescripción para aplicación de *FitoMas-E*

Es preciso señalar que la confección de mapas de prescripción a partir de técnicas de prescripción remota puede extenderse al empleo de toda la gama de índices vegetativos obtenidos de las imágenes multiespectrales, relacionados a partir de ecuaciones que permitan no solo trabajar con una sola dosis de fertilizante, sino tantas dosis como áreas significativamente homogéneas existan en la explotación.

3.4 Interfaz Web

Para la visualización de la información presente en el SIG desde un entorno más sencillo, se desarrolló una interfaz web que le proporcionó mayor simplicidad y difusión a los diferentes datos geoespaciales manipulados; ya que para acceder a los mismos solo se necesita un navegador web, independientemente del sistema operativo que posee el dispositivo. Además, la combinación de los SIG de escritorios con interfaces web da paso a que no se requieren conocimientos avanzados de geomática para consultar y modificar la información existente en el SIG. En la Figura 8 se muestra la

interfaz gráfica del sistema, donde se representó las capas correspondientes a algunas de las zonas cañeras del Central Azucarero Héctor Rodríguez (color verde).

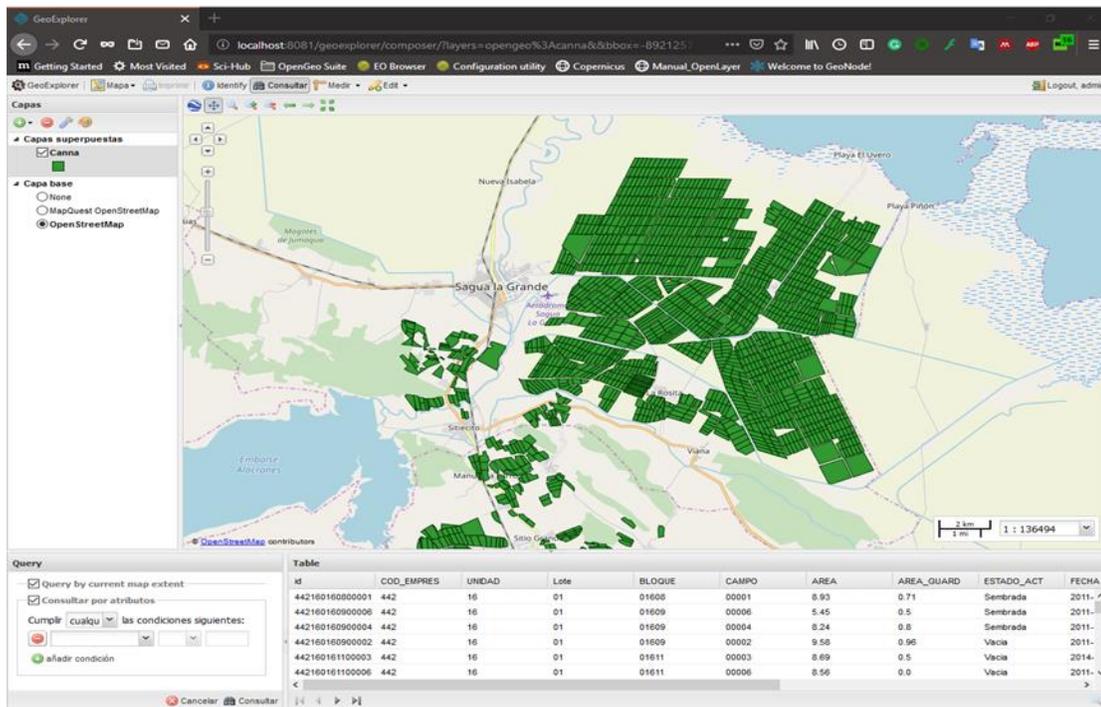


Figura 8. Visualizador de mapas

Adicionalmente, se le proporcionó funcionalidades elementales a dicha interfaz gráfica, entre las que se encuentran: la actualización de los metadatos de las capas de información, la realización de consultas a las bases de datos, con el fin de filtrar los contenidos publicados, la personalización de los estilos de presentación de las capas de información y la posibilidad de añadir y eliminar capas al espacio de trabajo, así como subir nuevos archivos a la base de datos.

4 Conclusiones

De forma general en la presente investigación, se logró la confección de un Sistema de Información Geográfica, basado en software libre, compuesto por: un software de gestión, un sistema gestor de bases de datos y una interfaz web. Es fuerza decir que el empleo de las potencialidades de la presente plataforma posibilitó la integración de la información espacial provista por los procesos y tecnologías presentes en las técnicas de agricultura avanzada, aplicadas actualmente al cultivo de la caña de azúcar en nuestro país.

A su vez, fue posible la supervisión de los parámetros operacionales de las Máquinas de Riego de Pivote Central automatizadas, a partir de la información proporcionada por sus dispositivos de control; lo cual permitió obtener información relevante del funcionamiento de estos equipos, que hasta la fecha se registraba de forma manual.

Con la importación de los datos de cosecha hacia el SIG diseñado, se llevó a cabo una fiscalización de las actividades agrícolas realizadas por las maquinarias del Sistema Avanzado de Cultivo; lo cual posibilita mejorar la gestión y el control de los insumos empleados durante sus operaciones habituales.

A partir de las imágenes aéreas y las herramientas presentes en el software QGIS, es posible la confección de mapas de prescripción para llevar a cabo técnicas de dosis variables de aplicación con pulverizadoras automatizadas; lo que permite realizar un tratamiento diferenciado del cultivo en función de las necesidades puntuales de los mismos. Esto a su vez posibilita incrementar el rendimiento de los cultivos de forma sostenible.

5 Referencias

- AGUILLAR RIVERA, N. (2015) ‘Percepción remota como herramienta de competitividad de la agricultura’, *Revista mexicana de ciencias agrícolas*. Estado de México, México, 6(2), pp. 399–405.
- AVELLO-FERNÁNDEZ, L. ET AL. (2018) ‘Remote supervision and control based on wireless technology to operation of central pivot irrigation machine’, *Sistemas y Telemática*, 16(44), pp. 63–74. doi: 10.18046/syt.v16i44.2788.
- BECERRAS, E. ET AL. (2008) ‘Ordenamiento territorial y sistema de información en la agricultura cañera en Villa Clara’, *Centro Agrícola*. Santa Clara, Cuba, 35(4), pp. 47–52.
- BENÍTEZ-PUIG, L. ET AL. (2018) ‘Contribución al manejo sostenible del cultivo de la caña de azúcar en Cuba’, *Revista Ingeniería Agrícola*. La Habana, Cuba, 8(2), pp. 62–67.
- BORRÀS, J. ET AL. (2017) ‘Clasificación de usos del suelo a partir de imágenes Sentinel-2’, *Revista de Teledetección*, (48), p. 55. doi: 10.4995/raet.2017.7133.
- DAQUINTA-GRADAILLE, A. ET AL. (2018) ‘Metodología de Análisis de criticidad integral de las cosechadoras de caña de azúcar CASE IH’, *Revista Ingeniería Agrícola*. Ciego de Ávila, Cuba, 8(2), pp. 55–61.
- DRUSCH, M. ET AL. (2012) ‘Sentinel-2: ESA’s Optical High-Resolution Mission for GMES Operational

- Services', *Remote Sensing of Environment*. Elsevier, 120, pp. 25–36. doi: 10.1016/J.RSE.2011.11.026.
- HUMBOLDT, A. VON (2006) 'Los sistemas de información geográfica', *Geoensañanza*. San Cristobal, Venezuela, 11(1), pp. 107–116. Available at: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=36012424010> (Accessed: 25 September 2018).
- JIMÉNEZ-MOYA, G. E. ET AL. (2016) 'SIGESPRO: Sistemas de Información Geográfica para controlar proyectos', *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*. La Habana, Cuba: Ediciones Futuro, 10(2), pp. 181–195. Available at: <http://rcci.uci.cu> (Accessed: 10 September 2018).
- KHARUF-GUTIERREZ, S. ET AL. (2018) 'Análisis de imágenes multiespectrales adquiridas con vehículos aéreos no tripulados', *Revista de Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones*, 39(2), pp. 79–91.
- MIEZA, M. S., KOVAC, F. D. AND MARTÍNEZ, D. (2012) 'Imágenes satelitales y aéreas en aplicaciones sitio-específicas', in *Avances de la agricultura por ambientes en la región semiárida pampeana*, pp. 10–14.
- MORALES, A. (2017) *¿Qué es OpenGeo Suite?*, *Mapping GIS*. Available at: <https://mappinggis.com/2012/05/que-es-opengeo-suite/> (Accessed: 12 September 2018).
- MULLA, D. J. (2013) 'Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps', *Biosystems Engineering*. IAgrE, 114(4), pp. 358–371. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2012.08.009.
- MURILLO, P. AND CARBONELL, J. (2012) *Principios y aplicaciones de la percepción remota en el cultivo de la caña de azúcar en Colombia*, *Cenicaña*. Edited by V. Carrillo Camacho and A. Arias Villegas. Cali, República de Colombia.
- PALANISWAMI, C., GOPALASUNDARAM, P. AND BHASKARAN, A. (2011) 'Application of GPS and GIS in Sugarcane Agriculture', *Sugar Tech*, 13(4), pp. 360–365. doi: 10.1007/s12355-011-0098-9.
- PEREZ-GARCIA, C. A., GUSTABELLO-COGLE, R. AND HERNÁNDEZ-SANTANA, L. (2018) 'Empleo del software SMS para la gestión de las cosechadoras cañeras CASE IH A8000', *Revista Ingeniería Agrícola*. Cuba, 8(4), pp. 37–42.
- PITNEY BOWES SOFTWARE INC. (2008) 'MapInfo® Pro Desktop GIS'. Available at: <https://www.pitneybowes.com/us/location-intelligence/geographic-information-systems/mapinfo-pro.html>.
- RINCÓN-ROMERO, V. ET AL. (2015) 'Perspectivas de la tecnología VANT en el cultivo de palma de aceite: monitorización del cultivo mediante imágenes aéreas de alta resolución', *Palmas*. Bogotá, Colombia, 36(3),

pp. 25–41.

SHEKHAR, S. AND XIONG, H. (2017) *Encyclopedia of GIS*. Springer Science & Business Media. doi: 10.1007/978-3-319-23519-6.

USTIN, S. L. AND GAMON, J. A. (2010) ‘Remote sensing of plant functional types’, *New Phytologist*. Wiley/Blackwell (10.1111), 186(4), pp. 795–816. doi: 10.1111/j.1469-8137.2010.03284.x.