



XVIII SIMPOSIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Sistema de Información Geográfica para la Agricultura de Precisión en Cuba

Geographic Information System for Precision Agriculture in Cuba

Carlos Alejandro Perez Garcia¹, Luis Hernández Santana², Robby Gustabello
Cogle³ y Alain Daniel Godo Alonso⁴

- 1- Carlos Alejandro Perez Garcia. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas (UCLV), Cuba. E-mail: capgarcia@uclv.cu
- 2- Luis Hernández Santana. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas (UCLV), Cuba. E-mail: luishs@uclv.edu.cu
- 3- Robby Gustabello Cogle. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas (UCLV), Cuba. E-mail: robby@uclv.edu.cu
- 4- Alain Daniel Godo Alonso. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas (UCLV), Cuba. E-mail: agodo@uclv.cu

Resumen: El contexto medioambiental actual, ha propiciado encausar acciones hacia un uso más eficiente de los recursos naturales. De ahí que la planificación racional y el uso apropiado y sostenible de los recursos humanos y materiales sea una tarea de primer orden para los investigadores. El presente trabajo consiste en desarrollar un Sistema de Información Geográfica basado en software libre con la capacidad de gestionar la información relacionada con las técnicas avanzadas de cultivo aplicadas a la caña de azúcar en nuestro país. En tal caso, se establecen las soluciones de software a emplear, se identifican las tecnologías de agricultura avanzada aplicadas actualmente al cultivo de la caña de azúcar en Cuba y por último se presenta un estudio de caso del empleo de la plataforma diseñada en áreas y procesos de la Empresa Azucarera Héctor Rodríguez de la provincia de Villa Clara. Como resultados se obtiene el establecimiento en una base de datos centralizada de la zonificación de las áreas cañeras de la empresa y la supervisión de procesos y tecnologías de agricultura avanzada empleados al cultivo de la gramínea en nuestro país. Además, queda demostrada la factibilidad de acceso a la plataforma a partir de una interfaz web.



Abstract: *The current environmental context has led to channeling actions towards a more efficient use of natural resources. Hence, rational planning and the appropriate and sustainable use of human and material resources is a task of the first order for researchers. The present work consists of developing a Geographical Information System based on free software with the capacity to manage the geoinformation related to the advanced cultivation techniques applied to sugarcane in our country. In this case, the software solutions to be used are established, the advanced agricultural technologies currently applied to the cultivation of sugar cane in Cuba are identified and finally a case study of the use of the platform designed in areas and processes is presented of the Héctor Rodríguez Sugar Factory of the province of Villa Clara. As results we obtain the establishment in a centralized database of the zoning of the sugarcane areas of the company and the supervision of processes and technologies of advanced agriculture used to the cultivation of the grass in our country. In addition, the feasibility of accessing the platform from a web interface is demonstrated.*

Palabras Clave: Datos de Cosecha; Fotogrametría Aérea; Imágenes Satelitales; Servicios Web de Mapas

Keywords: *Harvest Data; Aerial Photogrammetry; Satellite Images; Web Map Services*

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. 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, León-Companioni, Piñero-Pérez, & Romillo-Tarke, 2016).



II Convención Científica Internacional 2019
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD. PERSPECTIVAS Y RETOS

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. 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 intraparcelsaria de los cultivos (Palaniswami, Gopalsundaram, & 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, Viñas-Quintero, de León-Ortiz, Guillén-Sosa, & Gallego-Domínguez, 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 Sistemas Gestores de Bases 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, Pérez-Olmo, Águila-Gómez, Pérez-Reyes, & García-Aragón, 2018). Para ello, estas máquinas están dotadas de un novedoso sistema automatizado compuesto por: receptores de posicionamiento, sensores inteligentes y computadores de abordaje. 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, Izaguirre-Castellanos, Vidal-Díaz, Martínez-Laguardia, & Hernández-Santana, 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, Hernández-Santana, Orozco-Morales, Aday-Díaz, & Delgado-Mora, 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. Metodología



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 de los software libres 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.

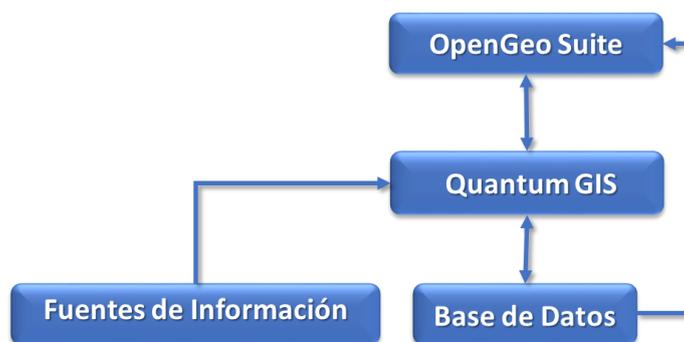


Figura 1. Estructura general del SIG propuesto

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 permite la configuración de servicios web mapas, de información temática y de metadatos en general.

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 una plataforma 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. 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 & 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, las que emplean para su gestión sistemas sujetos a licencia y sin bases de datos centralizadas.

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 abordó (Perez-Garcia, Gustabello-Cogle, & 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 destinadas al riego de precisión 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. 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/pixel. 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. 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).

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. 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 la Figura 1, el SIG objeto de estudio de la presente investigación, consiste en la integración funcional de un SGBD, una plataforma de desarrollo de aplicaciones geoespaciales web y como núcleo de procesamiento el software QGIS. Ello le permitirá, al SIG en cuestión, el procesamiento de la información proveniente de diversas fuentes.

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.

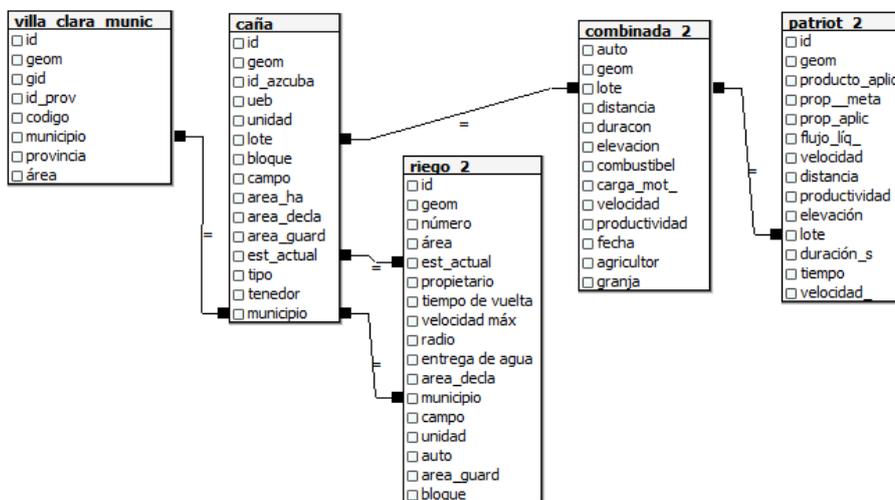


Figura 2. Diagrama de base de dato

3.2. Bases de Datos

Con el fin de vincular las diversas áreas productivas y las operaciones de las máquinas, 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.

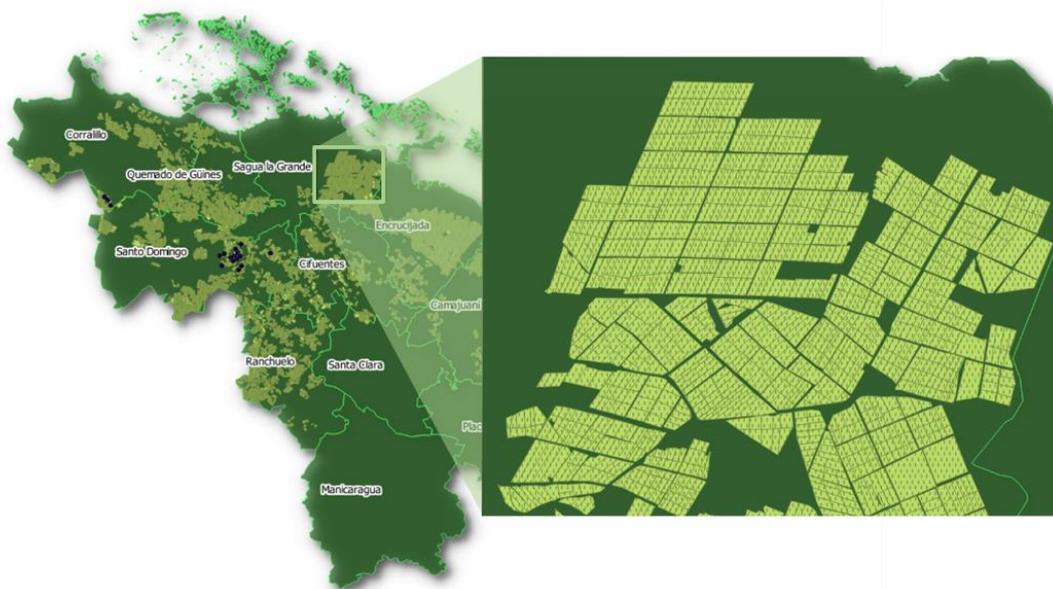


Figura 3. Zonificación de áreas cañeras de la Provincia de Villa Clara



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 del flujo de líquido aplicado por 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.

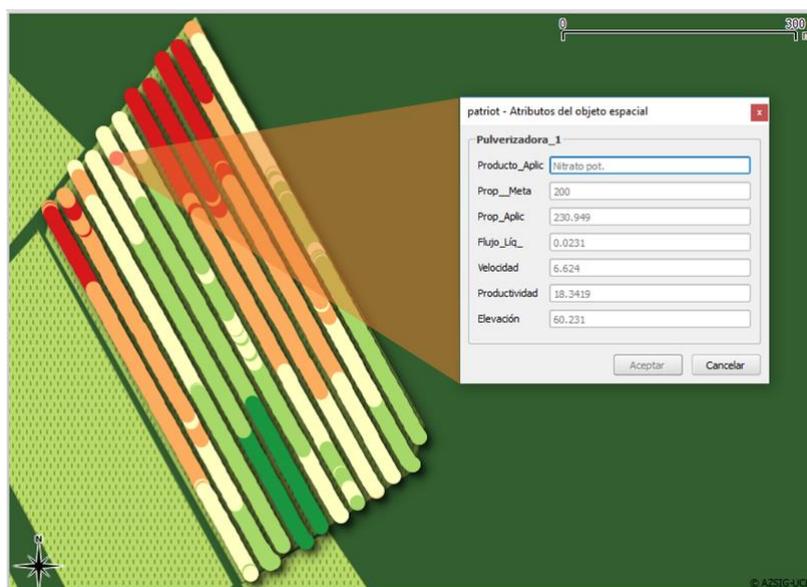


Figura 4. Mapa temático de la pulverizadora Case IH Patriot 250

De modo semejante, fue posible la confección de una capa del SIG representativa de los parámetros operacionales de las máquinas de riego (radio de giro, tiempo de vuelta, velocidad máxima, entre otras), así como la estructura administrativa (Bloque, Campo, Área, etc.) a la que pertenecen, tal como se aprecia en la Figura 5. Adicionalmente, se pudo anexar a la geometría representativa de las máquinas, información referente a su estado actual de funcionamiento y el régimen de trabajo programado. Todo ello proporcionado por las potencialidades web del PLC integrado a las MRPC.

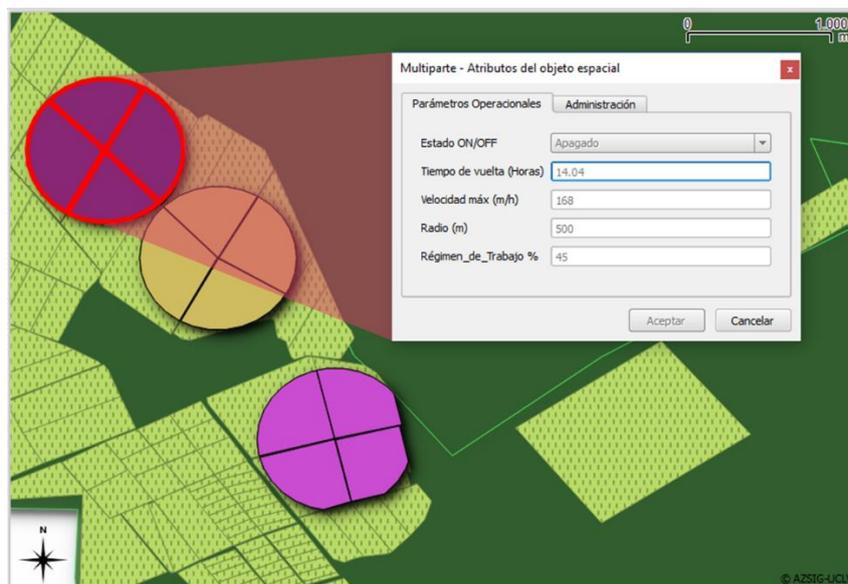


Figura 5. Mapa temático de características técnicas de máquina de riego de pivote central Cuñat Agrocaja

3.3. Procesamiento con QGIS

Por otra parte, la conexión existente entre el SIG en cuestión y el navegador de S2, posibilitó la obtención de imágenes satelitales multiespectrales de 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. A partir de los geoalgoritmos presentes en QGIS, fue posible la extracción de la información referente al índice de vegetación presente en la imagen, así como la creación de un mapa de prescripción en formato vectorial.

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.

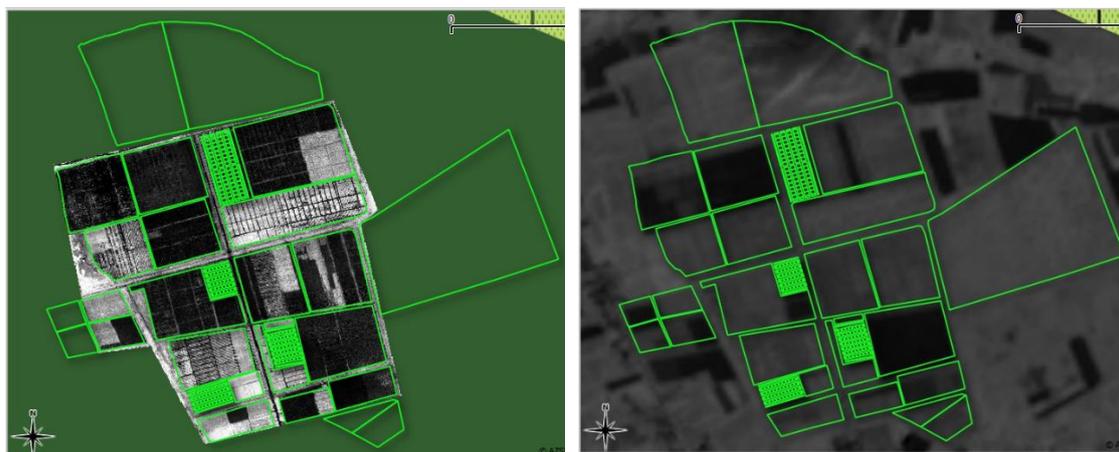


Figura 6. Imagen satelital del NDVI recolectadas por el VANT (izquierda) y recolectada por S2 (derecha)

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 7 se muestra la interfaz gráfica del sistema, donde se representó las capas correspondientes a las zonas cañeras del municipio de Santo Domingo (color verde) y sobre estas se han ubicado la capa representativa de las máquinas de riego existentes en esa misma localidad (color azul).

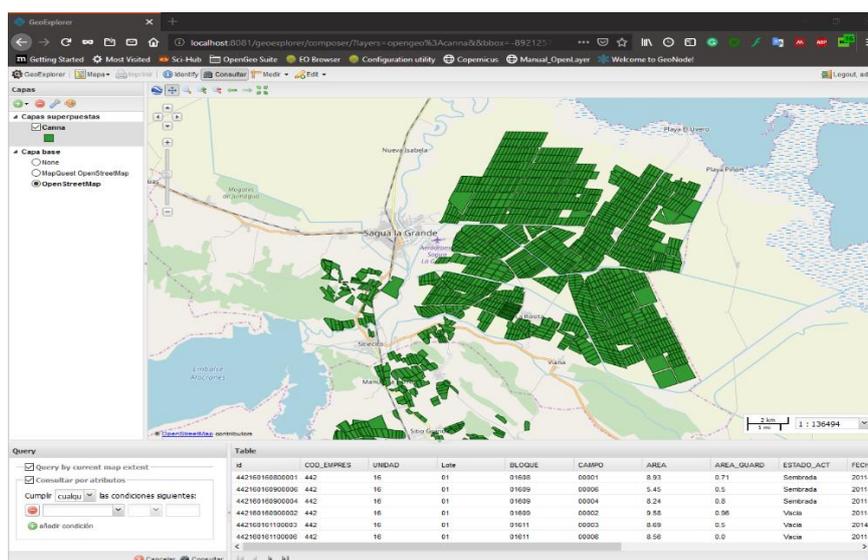


Figura 7. Visualizador de mapas



Adicionalmente, se le proporcionó funcionalidades elementales a dicha interfaz gráfica, entre las que se encuentran:

- La personalización de los estilos de presentación de las capas de información.
- La realización de consultas a la base de datos, con el fin de filtrar los contenidos publicados.
- La edición de los metadatos asociados a las diferentes capas de información.
- 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: el software de procesamiento QGIS, el gestor de bases de datos PostgreSQL y una interfaz web basada en OpenGeo Suite. Es fuerza decir que el empleo de las potencialidades de la presente plataforma permitió 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.

Por último, el Sistema de Información Geográfica diseñado ha demostrado su capacidad para: la actualización de la información catastral de las áreas de cultivo, la estimación de variables biofísicas y la fiscalización de las operaciones de las maquinarias agrícolas.

5. Referencias bibliográficas

- Avello-Fernández, L., Izaguirre-Castellanos, E., Vidal-Díaz, M. L., Martínez-Laguardia, A. S., & Hernández-Santana, L. (2018). Remote supervision and control based on wireless technology to operation of central pivot irrigation machine. *Sistemas y Telemática*, 16(44), 63–74. <https://doi.org/10.18046/syt.v16i44.2788>
- Becerras, E., Más-Martínez, R., Pineda, E., Barreto, B., Hernández, N., Vidal, M. L., ... Cruz, A. (2008). Ordenamiento territorial y sistema de información en la



- agricultura cañera en Villa Clara. *Centro Agrícola*, 35(4), 47–52.
- Benítez-Puig, L., Viñas-Quintero, Y., de León-Ortiz, M. E., Guillén-Sosa, S., & Gallego-Domínguez, R. (2018). Contribución al manejo sostenible del cultivo de la caña de azúcar en Cuba. *Revista Ingeniería Agrícola*, 8(2), 62–67.
- Daquinta-Gradaille, A., Pérez-Olmo, C., Águila-Gómez, J., Pérez-Reyes, R., & García-Aragón, E. (2018). Metodología de Análisis de criticidad integral de las cosechadoras de caña de azúcar CASE IH. *Revista Ingeniería Agrícola*, 8(2), 55–61.
- Jiménez-Moya, G. E., León-Companioni, A., Piñero-Pérez, P. Y., & Romillo-Tarke, A. (2016). SIGESPRO: Sistemas de Información Geográfica para controlar proyectos. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 10(2), 181–195. Retrieved from <http://rcci.uci.cu>
- Kharuf-Gutierrez, S., Hernández-Santana, L., Orozco-Morales, R., Aday-Díaz, O. de la C., & Delgado-Mora, I. (2018). Análisis de imágenes multiespectrales adquiridas con vehículos aéreos no tripulados. *Revista de Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones*, 39(2), 79–91.
- Palaniswami, C., Gopalasundaram, P., & Bhaskaran, A. (2011). Application of GPS and GIS in Sugarcane Agriculture. *Sugar Tech*, 13(4), 360–365.
<https://doi.org/10.1007/s12355-011-0098-9>
- Perez-Garcia, C. A., Gustabello-Cogle, R., & Hernández-Santana, L. (2018). Empleo del software SMS para la gestión de las cosechadoras cañeras CASE IH A8000. *Revista Ingeniería Agrícola*, 8(4), 37–42.
- Pitney Bowes Software Inc. (2008). *MapInfo® Pro Desktop GIS*. Retrieved from <https://www.pitneybowes.com/us/location-intelligence/geographic-information-systems/mapinfo-pro.html>
- Shekhar, S., & Xiong, H. (2017). *Encyclopedia of GIS*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-23519-6>