

LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA APLICADOS A LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN

GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS APPLIED TO PRECISION AGRICULTURE

Edwin Alberto Cantos Sánchez ^{1*}

¹ Ingeniero Agrónomo. Magíster en Sistema Integrados de Gestión. Universidad Agraria del Ecuador, Guayaquil, Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9655-1303>. Correo: ecantos@uagraria.edu.ec

Jefferson Andrés Inga Campoverde ²

² Ingeniero Agrónomo, Magíster en Sanidad Vegetal. Universidad Agraria del Ecuador, Guayaquil, Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5596-311X>. Correo: jefferson_inga96@hotmail.com

David Jesús Macías Hernández ³

³ Ingeniero Agrónomo. Magíster en Agroecología. Universidad Agraria del Ecuador, Guayaquil, Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9404-0908>. Correo:

Tayron Francisco Martínez Carriel ⁴

⁴ Ingeniero Agrónomo. Magíster en Sanidad Vegetal. Universidad Agraria del Ecuador, Guayaquil, Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6247-5170>. Correo: tmartinez@uagraria.edu.ec

* Autor para correspondencia: ecantos@uagraria.edu.ec

Resumen

Los sistemas de información geográfica aplicados a la agricultura han experimentado una evolución sin precedentes en los últimos diez años. Ello se debe al desarrollo vertiginoso que han tenido las tecnologías de la información y la comunicación, en lo referente a equipamiento para procesamiento y programas informáticos para la gestión y análisis de la información. En este sentido, los sistemas de información geográfica se han empleado para planear la utilización de los recursos, a partir del monitoreo de la información físico-química de los suelos, que mejore la eficiencia de los cultivos. El objetivo es analizar la importancia y pertinencia que tienen los sistemas de información geográfica aplicados a la agricultura de precisión para la mejora de las decisiones basadas en datos y con ello se aumente la eficiencia de los cultivos. La investigación se llevó a cabo bajo una metodología documental, con alcance descriptivo. Los resultados obtenidos indican que el empleo de los sistemas de información geográfica en la agricultura de precisión es muy importante y

tiene una alta pertinencia, ya que garantiza la eficiencia de los cultivos y sus altos rendimientos, por medio de un adecuado tratamiento agroquímico e hídrico de los suelos. Además, su empleo posibilita la determinación de regiones donde puedan existir problemas de fertilidad, plagas y humedad, posibilitando la toma de decisiones oportuna. Por último, los sistemas de información geográfica favorecen la ejecución de inventarios detallados de los recursos que disponen los agricultores para el manejo de sus siembras.

Palabras clave: agricultura de precisión; cultivos; eficiencia; sistemas de información geográfica; tecnologías de la información y la comunicación.

Abstract

Geographic information systems applied to agriculture have undergone an unprecedented evolution in the last ten years. This is due to the vertiginous development of information and communication technologies, in terms of processing equipment and computer programs for information management and analysis. In this sense, geographic information systems have been used to plan the use of resources, based on the monitoring of the physical-chemical information of the soils, which improves the efficiency of crops. The objective is to analyze the importance and relevance of geographic information systems applied to precision agriculture to improve data-based decisions and thereby increase crop efficiency. The research was carried out under a documentary methodology, with a descriptive scope. The results obtained indicate that the use of geographic information systems in precision agriculture is very important and highly relevant, since it guarantees the efficiency of the crops and their high yields, through an adequate agrochemical and hydric treatment of the crops. the soils. In addition, its use enables the determination of regions where there may be problems of fertility, pests and humidity, allowing timely decision making. Finally, geographic information systems favor the execution of detailed inventories of the resources available to farmers for managing their crops.

Keywords: precision farming; crops; efficiency; geographic information systems; information and communication technologies.

Fecha de recibido: 21/04/2022

Fecha de aceptado: 10/07/2022

Fecha de publicado: 19/07/2022

Introducción

En la actualidad, la agricultura se ha desarrollado y ligado con los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la evaluación del desarrollo de los cultivos. Sin embargo, aun cuando estas tecnologías se han aplicado a nivel mundial, sus beneficios y accesibilidad es limitado, en un contexto mundial en que la agricultura es de las principales actividades económicas de Latinoamérica, con un elevado número de la población empleada en ella (Delgado, 2014; Orozco y Ramírez, 2016; Pérez et al., 2021).

Las tecnologías aplicadas a la agricultura están en un momento crucial de desarrollo, más aún cuando la crisis epidemiológica como resultado del COVID-19 ha afectado la generación de alimentos y el mantenimiento de los cultivos. Entre los principales retos que enfrenta la aplicación de las tecnologías en la agricultura para la resolución de problemas sociales están: la deforestación, la atención de las plagas, la aplicación de buenas prácticas en los cultivos y la gestión eficiente de los datos generados en los campos, asociados con la humedad, el tipo de suelo y el clima (León y Callau, 2001).

En este orden de discusión, la implementación de tecnologías de la información y la comunicación (TIC) como los SIG viene a jugar un rol significativo y disruptivo que posibilita el impulso de la productividad y eficiencia de los suelos para contribuir con la resolución de los problemas alimentarios existentes. Los SIG pueden ser definidos como una herramienta computacional para apoyar las decisiones, la cual permite la integración, almacenamiento y transformación de grandes bases de datos extraídas del contexto (Brown et al., 2004; Pérez-García et al., 2019; Radicelli et al., 2019).

Debido a lo abordado con anterioridad, los SIG son empleados en la agricultura de precisión (AP) para la recopilación de datos e información de interés, de manera que se pueda lograr el entendimiento de la variación observada en los suelos, la posible asociación entre vegetales y plantaciones, los mapeos de rendimiento de los cultivos, la monitorización en la aparición de plagas y el empleo de fertilizantes, entre otros aspectos que resulten de interés al momento de tomar decisiones. Todo lo anterior posibilita la eficiencia de los cultivos y la minimización de los costos y recursos empleados para estas tareas. Para ello, en la generación de datos los SIG se auxilian y triangulan la información a partir del empleo de sensores y satélites (Espinoza-Ramírez et al., 2018; Pino, 2019; Sánchez et al., 2020).

De acuerdo con otros autores, los SIG son una tecnología computacional empleada para la adquisición, almacenamiento, procesamiento, consulta, distribución y publicación de datos geospaciales (Marble, 1990; Wiecek et al., 2009). Así mismo, los SIG son utilizados para planificar y tomar decisiones en los ámbitos políticos, económicos, sociales, agrícolas y ambientales (Radicelli et al., 2019). De este modo, los SIG integran, modelan y analizan datos que provienen de tecnologías convergentes para mejorar las decisiones que se dan, entre las que se enuncian: la geodesia, los sistemas globales de navegación por satélite (GNSS), la teledetección, las matemáticas, las estadísticas, la cartografía, el análisis de redes sociales, la geografía y la topografía, como se grafica en la figura 1 (Brown et al., 2004; Ramírez y Batista, 2015).

Tomando en consideración los aspectos antes señalados, el propósito que se persigue en la utilización de los SIG en la AP es la creación de esquemas gráficos que contribuyan con la resolución de problemáticas latentes en este contexto. Algunas de estas problemáticas más destacables son los ajustes de los cultivos a la necesidades y características de las diversas plantas y semillas con las que se trabaja, y poder reducir las afectaciones provocadas al medio ambiente por un uso ineficiente e indiscriminado de los suelos o por la aplicación desmedida de químicos y fertilizantes. Por otro lado, los SIG posibilitan el aumento de la productividad, competitividad y eficiencia, al tiempo que se reducen los costos y la utilización de recursos (Uva y Campanella, 2009).

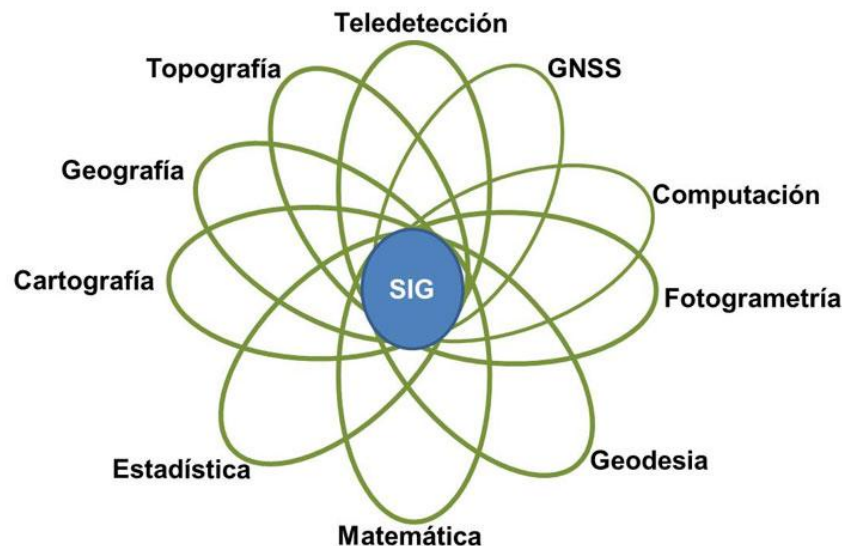


Figura 1. Usos actuales de los SIG y vinculación con áreas del conocimiento para la resolución de problemáticas sociales. Fuente: Agrotendencia (2020).

A partir de la información mostrada en la figura 1 anteriormente, los SIG tienen otros usos actualmente, tal es el caso de los estudios de mercadotecnia y de distribuciones logísticas. En ambos casos se analiza la ubicación espacial de los objetos o áreas de interés, la cual se combina con las particularidades del cliente, proveedor, franquicia o sucursal, para profundizar en los análisis requeridos (Elliott-White y Finn, 1997; Ozimec et al., 2010). Su empleo mejora la eficacia y precisión de las estrategias de mercadotecnia, posibilita que se disminuyan los riesgos, contribuye en la colocación efectiva de los productos y la determinación de nuevos mercados por medio de la gestión del tráfico, entre otros aspectos (Albuquerque et al., 2018). Por último, los SIG posibilitan que las pequeñas y medianas empresas (PYMES) fortalezcan las cadenas productivas y de valor de los sectores agrícolas, a partir de permitirles la visualización de cada una de las posibles oportunidades que tienen en el entorno comercial (Ávila y Morales, 2012; Vallejo y Márquez, 2006).

Materiales y métodos

El enfoque de la investigación es cualitativo, mientras que el alcance es descriptivo. Se emplea el análisis documental como principal técnica de investigación (Cepeda et al., 2021). El artículo tiene como objeto de estudio analizar la importancia y pertinencia que tienen los SIG aplicados a la AP para la mejora de las decisiones basadas en datos y con ello se aumente la eficiencia de los cultivos.

Para la elaboración del estudio fueron empleadas diversas fuentes de información como libros especializados sobre las temáticas de AP, cultivos, eficiencia, SIG y TIC. Adicionalmente, se consultaron artículos publicados en revistas científicas de impacto y alto impacto. Su evidencia puede ser visualizada en las figuras 2 y 3, con base en una búsqueda ejecutada en Scopus. En la misma, se efectúa un análisis de tipo bibliométrico

por actualidad de la bibliografía consultada (ver figura 2) y documentos publicados por área temática o de aplicación (ver figura 3).

Revisión documental

En el sector agrícola, los SIG han posibilitado y potenciado la AP a gran escala, a partir del empleo intensivo de las TIC. Con el uso de las tecnologías se ha automatizado la gestión agrícola, así como el empleo con eficiencia de los químicos y el agua, lo que ha generado importantes beneficios para todos los involucrados (Ocampo y Catarina, 2018; Rodríguez et al., 2018). En el análisis realizado se puede afirmar que la AP es un área de conocimiento que agrupa el empleo de diversas tecnologías, así como información generada en los procesos de gestión agrícola, con el propósito de analizar cada una de las variables que interactúan en el cultivo, donde se incluyen el agua, las semillas, el clima, las características del suelo, los agroquímicos y las maquinarias que se utilizan (Cerón-Muñoz y Barrios, 2019; Hernández, 2021; Ocampo y Catarina, 2018; Ramírez y Batista, 2015). En efecto, los GNSS, la teledetección y los SIG constituyen una parte primordial de la AP para llevar a cabo el proceso de toma de decisiones de forma correcta.

En la revisión documental realizada fueron obtenidas en total 546 fuentes bibliográficas primarias, de las cuales el 100% se comprende en los últimos cinco años, avalando la actualidad de la información consultada, como se precisa en la figura 2. Posteriormente, como se detalla en la figura 3, el 19.1% de la bibliografía consultada aborda como área de conocimiento principal las ciencias computacionales, mientras que el 16.2% de las fuentes bibliográficas se centran en el análisis y aplicación de los conocimientos en las ciencias de la agricultura y biológicas. Finalmente, por encima del 10% se encuentra la aplicación en las ingenierías, con un 16.2% igualmente. Otras temáticas abordadas lo constituyen las ciencias del medioambiente, donde la agricultura de precisión tiene un impacto sustancial. Además, se encuentran investigaciones relacionadas con las ciencias sociales y de la tierra.

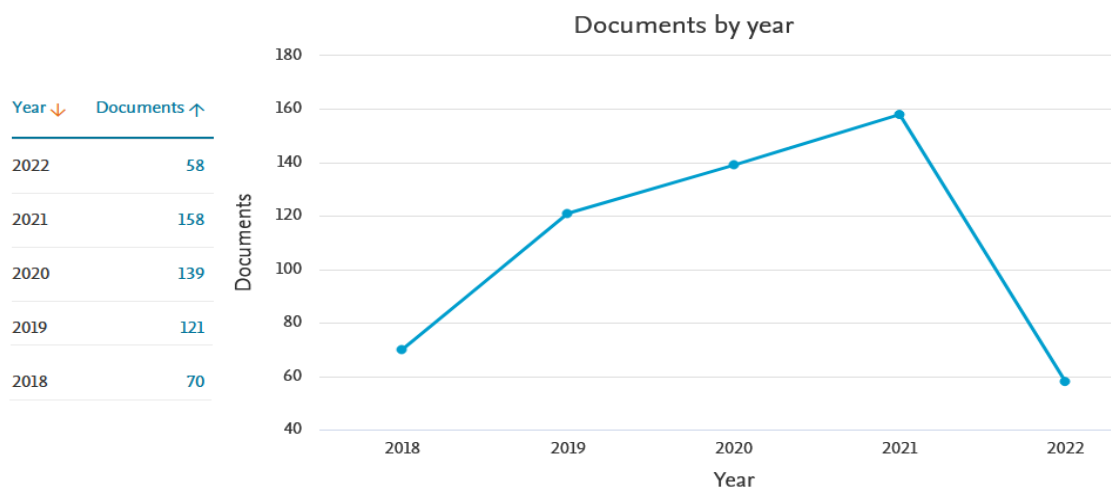


Figura 2. Análisis bibliométrico en Scopus por actualidad de las fuentes bibliográficas primarias.

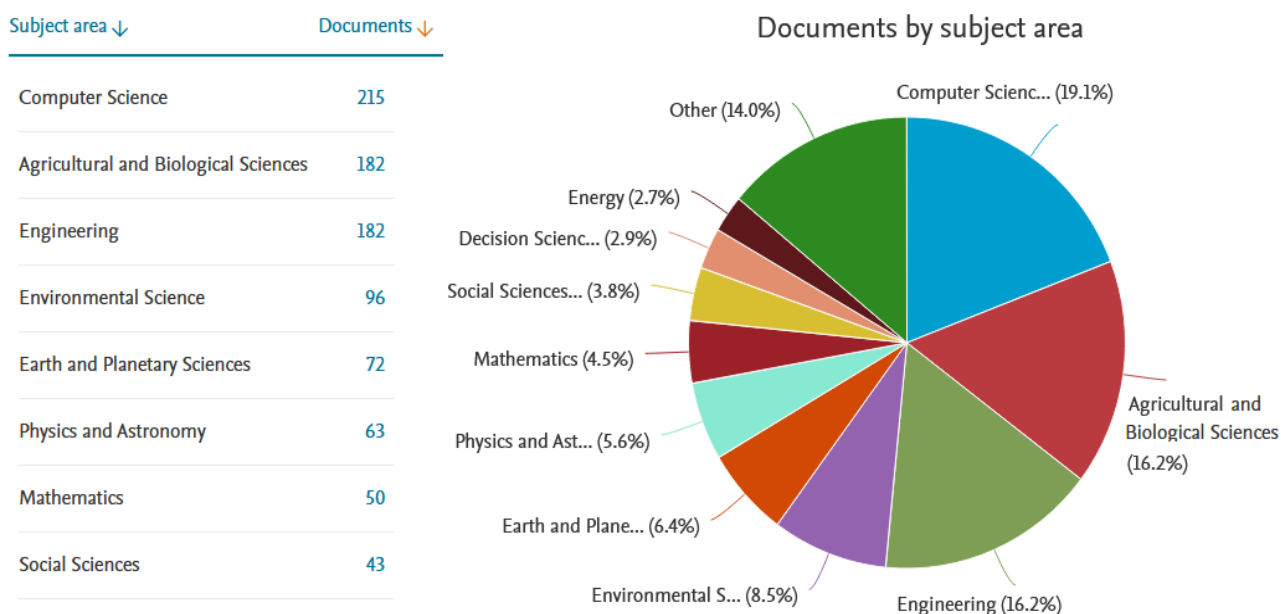


Figura 3. Análisis bibliométrico en Scopus por área de aplicación de las investigaciones.

Marco teóricos sobre surgimiento de los SIG y empleo del software en su funcionamiento

Los SIG tuvieron su surgimiento en 1963 en Canadá, siendo considerado Roger Tomlinson, de nacionalidad inglesa, como el creador, padre y precursor de los SIG. En principio, el propósito que persiguió Tomlinson fue poder inventariar los recursos naturales disponibles en Canadá, por medio del empleo de las computadoras (Brown, 2004; Marble, 1990). Para inicios de los años 80 del pasado siglo, los equipos de cómputo ya eran muy rápidos y tenían una elevada capacidad de procesamiento, todo lo cual permitía la implementación de aplicaciones informáticas con una adecuada capacidad de análisis para soportar la toma de decisiones basadas en datos. Debido a ello, en 1981 la empresa Esri creó el primer SIG de uso comercial, denominado ARC/INFO. Posterior a ello, en 1985 se lanzó el primer software libre, el *Geographic Resources Analysis Support System* (GRASS). Seguidamente, en el 2002 apareció otro software de licencia libre, denominado Quantum GIS (Steinitz, 2014).

Actualmente, la difusión de SIG es amplia, a raíz del elevado desarrollo alcanzado en esta área de conocimiento, tanto en su versión propietaria como de software libre. Adicionalmente, producto a la complejidad y especialización que se requiere para la manipulación de este tipo de aplicaciones de software, su empleo se ha hecho casi exclusivo para profesionales de las ciencias geográficas y asociadas. Sin embargo, han sido desarrolladas algunas aplicaciones libres disponibles en Internet para su uso general, como son *ArcGIS Earth* y *Google Earth*, las cuales pueden ser utilizadas de manera intuitiva por un usuario no experto

(Agrotendencia, 2020). En la figura 4 se muestra una interfaz del SIG Google Earth, de los más populares actualmente.



Figura 4. Sistema de información geográfica Google Earth. Fuente: Google Earth (2022).

En tal sentido, existen conceptos sobre los cuales se soporta el empleo de los SIG como (Lois, 2015):

- Planos: Son representaciones geográficas de extensiones pequeñas de determinados territorios o regiones. Los planos se diferencian de los mapas en que para su elaboración no es necesario la realización de proyecciones. Las curvaturas de las superficies que deben ser representadas son mínimas o inapreciables, por sus escasas extensiones, por lo que se considera como poco útil su proyección.
- Cartas: Son mapas diseñados con un propósito especial. Por lo general, a las informaciones básicas de los mapas se le agrega otros datos de carácter específico, de acuerdo a la naturaleza o propósito que tenga la carta.
- Mapas: Son las representaciones gráficas de determinadas áreas geográficas, las cuales pueden ser dibujadas o impresas en superficies planas. Por lo general, los mapas tienen un número determinado de símbolos, los cuales son aceptados para este ámbito o área de conocimiento y que hacen alusión a los distintos objetos culturales, artificiales y naturales de las áreas que delimitan los mapas.

- Cartografía: Se define como una ciencia que se encarga de la representación gráfica de la tierra sobre un mapa o plano. También se define como el área de la ciencia que dispone de los procedimientos y normas que se dirigen al análisis y desarrollo de los planos, cartas y mapas.

Empleo de los SIG en Latinoamérica

La utilización de SIG en Latinoamérica se remonta a 1987, con la creación hace ya 35 años de las Conferencias Iberoamericanas de Sistemas de Información Geográfica (CONFIBSIG). Este evento ha sido desde esa fecha el espacio por excelencia para la discusión de políticas en materia de geolocalización y empleo de tecnologías para el tratamiento geográfico. Por lo tanto, se le atribuye a la CONFIBSIG como la concentración científica y tecnológica de mayor connotación en la región para las especialidades geográficas (Buzai y Robinson, 2022).

La CONFIBSIG tiene un perfil académico e investigativo, por lo que los perfiles de sus participantes están orientados a académicos, investigadores, consultores, especialistas técnicos y estudiantes que trabajan las tecnologías de información geográfica (TIG) y propiamente los SIG (Orozco y Ramírez, 2016). Estos espacios tienen el propósito de establecer un canal de diálogo, en el que se compartan investigaciones y hallazgos, así como intercambiar ideas para el desarrollo futuro de la disciplina, por medio del desarrollo de modelos predictivos y otras soluciones que contribuyan a resolver problemáticas sociales y espaciales existentes a diferentes escalas (Marble, 1990). En este sentido, las TIG son soluciones en el orden teórico-metodológico y prácticas que facilitan la toma de decisiones en entornos geográficos.

Particularmente en la última década, en Latinoamérica ha habido un movimiento activo en estas temáticas, orientándose los trabajos de investigación y desarrollo al análisis espacial y la modelización en tiempo real, a partir del desarrollo acelerado de las TIC, la Cuarta Revolución Industrial, la robótica, el Big Data, el Internet de las Cosas y las arquitecturas de servicios, todas basadas en el empleo de las tecnologías y el uso masivo de datos (Delgado y García, 2017; Espinoza-Ramírez et al., 2018; Pérez et al., 2021; Ramírez y Batista, 2015). En este sentido, se hace alusión a las principales temáticas abordadas, como son: las técnicas de evaluación multicriterio, la minería de datos espaciales, los servidores de mapas como *Google Map*, el uso de los suelos y la agricultura de precisión, los estudios sobre el cambio climático y la desertificación, la estadística espacial, las inequidades ambientales, la estratificación de territorios, así como los SIG en salud para el monitoreo y tratamiento de enfermedades y variables epidemiológicas (Buzai y Robinson, 2022; Delgado, 2014).

Del mismo modo, las principales tendencias en las que se orientan los trabajos futuros en la región se enmarcan en tres aspectos fundamentales. En primer lugar, se encuentra la geografía de la salud, para predecir los comportamientos en temas epidemiológicos. En segundo lugar, está la geografía urbana, para orientar el crecimiento de manera organizada de las poblaciones. En último lugar, se encuentra la geografía energética, para poder hacer un aprovechamiento con eficiencia de los principales recursos energéticos de los territorios (Radicelli et al., 2019; Rodríguez et al., 2018).

Con respecto a los principales productos y aplicaciones informáticas empleadas en la región, existe una demanda creciente de software para el análisis, procesamiento y toma de decisiones geográficas, las cuales

en su mayoría son cubiertas por desarrollos realizados en los EEUU. En este sentido, se hace alusión a los software Google MAP, Google Earth, así como los ya tradicionales ArcGIS, IDRISI y QGIS (Buzai y Robinson, 2022; Sánchez et al., 2020; Wieczorek y Delmerico, 2009).

Resultados y discusión

El empleo de áreas de conocimiento como los SIG, los GNSS y la teledetección, soportados en el empleo de las TIC, si bien requiere especialización, se puede afirmar que son transversales a cualquier profesional. Ello incluye, además de informáticos, geólogos, físicos y matemáticos, a profesionales de la agronomía, la arqueología, el urbanismo, la biología, la mercadotecnia, la salud, la cartografía y la veterinaria, entre otros muchos que se benefician de los resultados de la aplicación combinada de estos saberes (Albuquerque et al., 2018; Ramírez y Batista, 2015).

Diversas son las ventajas que tienen los SIG, particularmente en el ámbito de la AP. En primer lugar, al requerir de profesionales altamente calificados para su operación, los resultados que arroja son acertados y eficientes. Además, pueden ser utilizadas aplicaciones informáticas de licencia pública o privada, en las cuales sus resultados gráficos cada día se perfeccionan más de cara al cliente (Ávila y Morales, 2012). Por otro lado, los SIG posibilitan un mejor acceso y procesamiento de grandes cantidades de datos para soportar las decisiones. Por último, como parte de sus principales ventajas y potencialidades está que la actualización de los datos se puede realizar de manera más eficiente y veloz (Delgado y García, 2017; Ozimec et al., 2010; Pérez-García et al., 2019; Lois, 2015).

Sin embargo, el empleo de los SIG también cuenta con un conjunto de desventajas como los elevados costos de los equipos para el alojamiento de los software de información geográfica, para establecer el procesamiento y llevar a cabo los análisis. Además, el software de licencia privada es costoso (Brown et al., 2004; Elliott-White y Finn, 1997). Por otro lado, requiere equipamiento con elevadas prestaciones para procesar y almacenar los datos que se generan. Finalmente, el procesamiento de los datos tiende a ser tardado, a raíz de la complejidad que comúnmente tienen los procesos (Espinoza-Ramírez et al., 2018; Marble, 1990).

Actualmente muchas organizaciones emplean algún tipo de SIG para la creación de mapas, llevar a cabo análisis y resolver problemas de carácter complejo (Delgado, 2014; Lois, 2015). Es por ello que se afirma que los SIG son un paradigma que ha cambiado el funcionamiento de la sociedad, así como su utilización en la agricultura para propiciar la precisión necesaria en los contextos actuales de globalización, desabastecimiento, sobrepoblación, sequía y otros problemas ambientales (Hernández, 2021). Se destaca que el elemento que más fascina de los SIG son los análisis espaciales, los cuales permiten la combinación de información de fuentes diversas, heterogéneas e independientes, por medio de la aplicación de operaciones especiales, lo que permite obtener conjuntos completamente nuevos de datos cargados de conocimiento (Cerón-Muñoz y Barrios, 2019).

Aplicación de los SIG en la AP

El empleo de los SIG en la agricultura tuvo sus inicios entre los años 1960 y 1970 en los EEUU con el mapeo del suelo. A partir de ahí, se inició una gran cantidad de investigaciones relacionadas con la eficiencia, la productividad, el ahorro de recursos y las mejoras económicas, todo ello con el propósito de lograr un aumento productivo (Elliott-White y Finn, 1997; Hernández, 2021). De este modo, los SIG y el empleo de las tecnologías en la agricultura tienen un rol sustantivo para planificar y desarrollar la actividad agrícola a gran escala. Para establecer la afirmación anterior, se tiene en cuenta el contexto actual, en el cual la demanda de comida cada día es mayor, existe mucha hambruna, hay inestabilidad ambiental y los costos se han elevado mucho en el mantenimiento de niveles altos de productividad agrícola. A ello se agrega el crecimiento sostenido y alarmante de la población mundial, la cual crea la necesidad apremiante de lograr un incremento considerable la producción de comida (Ocampo y Catarina, 2018).

Por todo lo expuesto, se considera que la actividad agrícola ha tenido una evolución favorable desde que se comenzara a utilizar la AP, donde se han desarrollado mejoras en actividades como (Cerón-Muñoz y Barrios, 2019; Orozco y Ramírez, 2016):

- Aumento del rendimiento de los cultivos
- Empleo con eficiencia y ahorro de los recursos hídricos y agroquímicos
- Determinación de los tipos de suelos, de acuerdo a sus propiedades físico-químicas, para desarrollar mejor determinados cultivos (Ver figura 5)
- Decremento de los impactos negativos que tiene el uso indiscriminado de los suelos para el medio ambiente
- Incremento de la productividad y los beneficios económicos para el agricultor

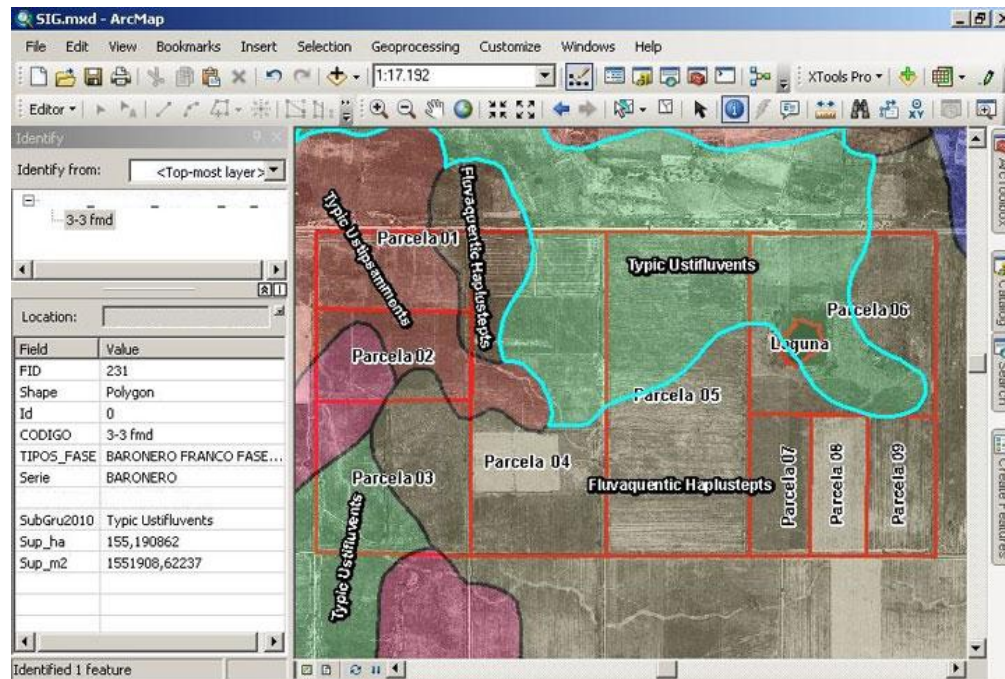


Figura 5. Determinación de lotes por tipos de suelos para la determinación de los cultivos a ubicar. Fuente: Agrotendencia (2020).

En otro orden de discusión, como se muestra en la literatura consultada, el productor agrícola moderno invierte en el empleo de tecnología, como puede ser los SIG, el GNSS y la teledetección. Para ello, se debe conformar un equipo multidisciplinario que debe contener especialistas de agronomía para que los sembrados tengan eficiencia, sean productivos, se ahorre recursos y se apoyen las decisiones basadas en datos en tiempo real (Uva y Campanella, 2009; Wieczorek y Delmerico, 2009). Hoy en día existe un gran número de profesionales agrónomos graduados de posgrado en geomática, quienes han logrado un aprovechamiento significativo en el empleo de las tecnologías con eficiencia en su actividad, todo lo cual les ha permitido operar:

- De manera puntual y específica la zona de los sembrados.
- Los terrenos de forma variable en cada una de las zonas donde se encuentran los alimentos cultivados, donde se define: cómo debe ser trabajado el cultivo, la cantidad exacta del agroquímico a ser aplicado y las cantidades de agua requeridas para los riegos, etc.

Una de las técnicas más importantes en la combinación de los SIG y la AP es la ubicación de áreas de interés, como se observa en la figura 6. Esta técnica tiene el propósito de posibilitar el ingreso en los SIG de ubicaciones exactas de interés. Para ello, la información se puede obtener de diversas maneras, siendo una de las más destacadas el levantamiento de datos en tiempo real a través de tecnología GPS (Agrotendencia, 2020).

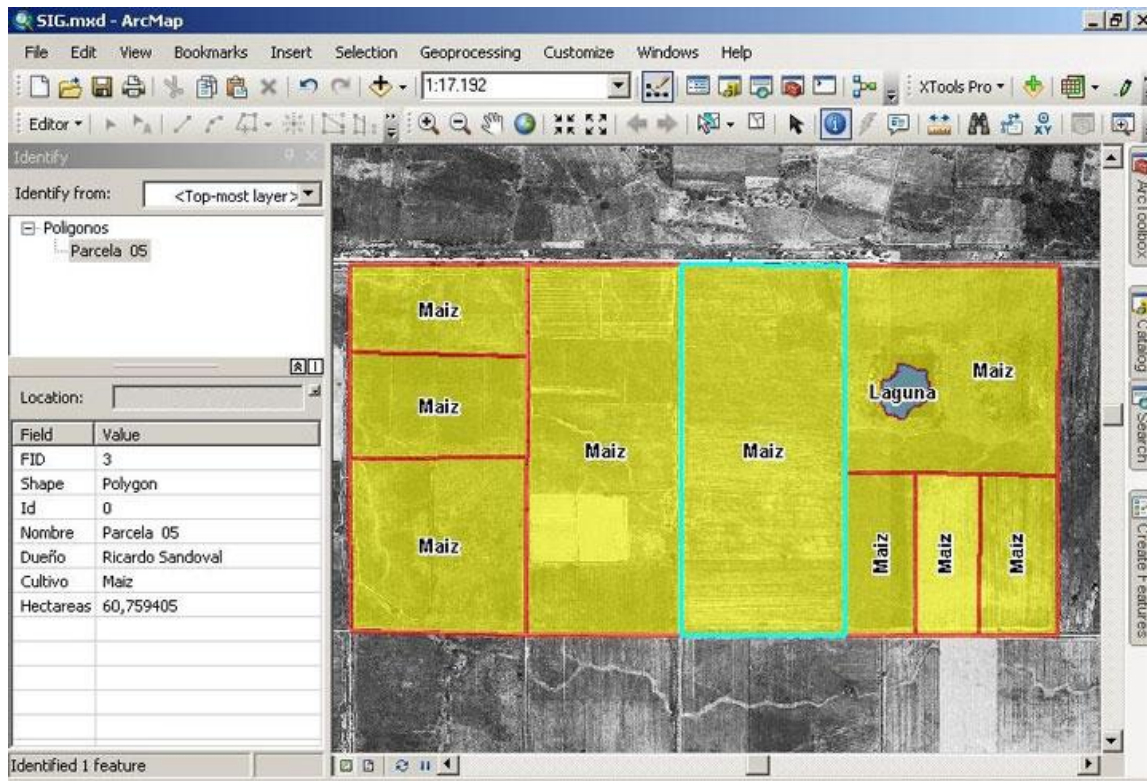


Figura 6. Lotes por cultivos sembrados. Fuente: Agrotendencia (2020).

Los SIG en su utilización para propiciar la AP les facilitan a las maquinarias toda la información necesaria para que estas puedan operar. Algunos de los datos que necesitan y que les son suministrados son: el nivel de los terrenos, la fertilidad y grado de fumigación que tienen los suelos, la humedad ambiente y del suelo, los rendimientos que se están alcanzando, así como la existencia de plagas u otros problemas, que apoyen en sentido general la toma de decisiones (Delgado, 2014; Radicelli et al., 2019).

Conclusiones

El trabajo presentado tuvo el objetivo de analizar la importancia y pertinencia que tienen los SIG aplicados a la agricultura de precisión para la mejora de la capacidad de decisión y el aumento de la eficiencia de los cultivos, donde se evaluó la elevada connotación que tienen actualmente las TIC en el cumplimiento de este propósito. Los SIG evolucionan de manera constante, al igual que las tecnologías aplicadas a la agricultura. Estos se caracterizan por ser empleados en la agricultura para planificar, tomar decisiones y desarrollar la actividad agrícola. Además, el empleo de los SIG garantiza que las actividades agrícolas, por medio del empleo de la AP, tengan las particularidades de ser procesos realizados con eficiencia, sin contaminación, con un elevado rendimiento, así como con el empleo adecuado del agua y agroquímicos.

En este sentido, es válido remarcar que los SIG ameritan una elevada inversión de recursos para poder adquirir el equipamiento necesario para su funcionamiento eficiente. Del mismo modo, se requiere que se contrate a profesionales altamente calificados para que implementen la AP con eficiencia. En efecto, los productores agrícolas que trabajan con profesionales expertos en el manejo de SIG, quienes los alertan a tiempo sobre el comportamiento de variables como el tipo de suelos, la humedad, la temperatura, el drenaje y la disponibilidad del recurso hídrico, podrá decidir con precisión el cultivo que debe ser sembrado, así como las áreas de suelos que necesitan de mayor atención.

Para finalizar, se considera que la precisión es primordial para que sea eficiente esta actividad. Con información precisa las maquinarias pueden operar de manera correcta y apoyar las decisiones oportunas en torno a parámetros como las fertilizaciones, la existencia de plagas, la nivelación de los suelos, la humedad relativa, las temperaturas y la ubicación exacta de los cultivos. En la actualidad, los SIG son utilizados en numerosas actividades, debido a su elevada importancia, pertinencia y connotación para la ubicación espacial de cualquier actividad, para de ahí, llevar a cabo los análisis, monitoreos y toma de decisiones eficientes.

Referencias

- Agrotendencia. (2020). *Sistemas de información geográfica en la agricultura*. Agrotendencia. <https://agrotendencia.tv/agropedia/sistemas-de-informacion-geografica-en-la-agricultura-sig-gsi/>
- Albuquerque, H., Costa, C., y Martins, F. (2018). The use of geographical information systems for tourism marketing purposes in Aveiro region (Portugal). *Tourism management perspectives*, 26, 172-178. <https://doi.org/10.1016/j.tmp.2017.10.009>
- Ávila, M., y Morales, A. (2012). Análisis y diseño del sistema de información Geomap. In *10th LACCEI Latin American and Caribbean Conference*, Panamá (pp. 1-11). <http://laccei.org/LACCEI2012-Panama/RefereedPapers/RP117.pdf>
- Brown, D. G., Elmes, G., Kemp, K. K., Macey, S., y Mark, D. (2004). Geographic information systems. *Geography in America at the Dawn of the 21st Century GL Gaile, CJ Willmott (Eds.)*(Oxford University Press, Oxford), 353-375. <https://doi.org/10.1093/oso/9780198233923.003.0036>
- Buzai, G. D., y Robinson, D. J. (2022). Sistemas de Información Geográfica en América Latina (1987-2021): Análisis de su evolución académica basado en las CONFIBSIG. Anuario de la División de Geografía, 16. Disponible en: <http://sitio.cartografia.cl/manejo-del-sig-en-america-latina>
- Cepeda, M. D. L. L., Quilambaque, J. V. P., Margot, A., Quispe, N., Álvarez, E. T. M., y Pérez, J. F. R. (2021). Hermeneutical Analysis of the Determinants of Obesity using Neutrosophic Cognitive Maps. *Neutrosophic Sets and Systems*, 44, 90.
- Cerón-Muñoz, M., y Barrios, D. (2019). Agricultura de precisión: una contribución a la gestión de los agronegocios desde la modelación. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 32, 7-13. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/rccp/article/view/340326>
- Delgado, C. M. (2014). Los sistemas de información geográfica (SIG) aplicados en la agricultura. *Siembra*, 1(1), 10. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8234811.pdf>

- Delgado, D. F. F., y García, D. K. F. (2017). Los Sistemas de Información Geográfica. Una Revisión. *Revista Facultad de Ciencias Agropecuarias-FAGROPEC*, 9(1), 11-16. <https://editorial.uniamazonia.edu.co/index.php/fagropec/article/view/347>
- Elliott-White, M. P., y Finn, M. (1997). Growing in sophistication: The application of geographical information systems in post-modern tourism marketing. *Journal of Travel & Tourism Marketing*, 7(1), 65-84. https://doi.org/10.1300/J073v07n01_05
- Espinoza-Ramírez, A., Nakano, M., Sánchez-Pérez, G., y Arista-Jalife, A. (2018). Sistemas de Información Geográfica y su Análisis Aplicado en Zonas de Delincuencia en la Ciudad de México. *Información tecnológica*, 29(5), 235-244. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000500235>
- Google Earth. (2022). *El globo terráqueo más detallado del mundo*. Portal web de Google Earth. <https://www.google.com/intl/es-419/earth/>
- Hernández, R. R. (2021). La Agricultura de Precisión. Una necesidad actual. *Revista Ingeniería Agrícola*, 11(1). <https://rcta.unah.edu.cu/index.php/IAgric/article/view/1347/0>
- León, J. M. C., y Callau, J. B. (2001). Sobre la eficiencia, el uso sostenible del recurso del agua y la gestión del territorio. *Ager. Revista de Estudios sobre Despoblación y Desarrollo Rural*, (1), 85-112. <https://doi.org/10.22395/rium.v15n28a6>
- Lois, C. (2015). El mapa, los mapas. Propuestas metodológicas para abordar la pluralidad y la inestabilidad de la imagen cartográfica. *Geograficando*, 11(1). <https://www.geograficando.fahce.unlp.edu.ar/article/view/Geov11n01a02>
- Marble, D. F. (1990). Geographic information systems: an overview. *Introductory readings in geographic information systems*, 3(4), 8. <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/b12579-8/geographic-information-systems-overview-duane-marble>
- Ocampo, M., y Catarina, C. S. (2018, April). Agricultura de Precisión. In *Oficina de Información Científica y Tecnológica para el Congreso de la Unión (INCyTU)* (p. 15). https://foroconsultivo.org.mx/INCyTU/documentos/Completa/INCYTU_18-015.pdf
- Orozco, Ó. A., y Ramírez, G. L. (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*, 15(28), 103-124. <https://doi.org/10.22395/rium.v15n28a6>
- Ozimec, A. M., Natter, M., y Reutterer, T. (2010). Geographical information systems-based marketing decisions: Effects of alternative visualizations on decision quality. *Journal of Marketing*, 74(6), 94-110. <https://doi.org/10.1509/jmkg.74.6.94>
- Pérez-García, C. A., Pérez-Atray, J. J., Hernández-Santana, L., Gustabello-Cogle, R., y Becerra-de Armas, E. (2019). Sistema de Información Geográfica para la agricultura cañera en la provincia de Villa Clara. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 13(2), 30-46. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2227-18992019000200030
- Pérez, J. F. R., López-Torres, V. G., y Morejón-Valdés, M. (2021). Information and Communication Technologies as a competitive performance factor in provider institutions of medical services in Ensenada, Baja California. *Journal of Administrative Science*, 2(4), 31-37. <https://doi.org/10.29057/jas.v2i4.6750>

- Pino, E. (2019). Los drones una herramienta para una agricultura eficiente: un futuro de alta tecnología. *Idesia (Arica)*, 37(1), 75-84. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292019005000402>
- Radicelli, C., Pomboza, M., Villacrés, P., y Bodero, E. (2019). Sistemas de información geográfica y su aplicación en las ciencias sociales: Una revisión bibliográfica. *Revista Chakiñan de Ciencias Sociales y Humanidades*, (8), 24-35. http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2550-67222019000200024
- Ramírez, J., y Batista, R. (2015). Propuesta de red cubana Aurora para la colaboración médica a través de Infomed utilizando un enfoque de redes sociales. *La Habana: Memorias Convención Internacional de Salud Cuba Salud*. <https://www.convencionsalud2015.sld.cu/index.php/convencionsalud/2015/paper/viewPaper/1649>
- Rodríguez, M. S. A., Azofra, J. M. A., Adán, J. Á. L., Santamaría, M. P. D., y de Cabezón Irigaray, E. S. (2018). Análisis del uso de datos geográficos y Sistemas de Información Geográfica en las enseñanzas de grado y máster de una universidad. *Actas de las Jornadas sobre Enseñanza Universitaria de la Informática*, (3), 39. https://aenui.org/actas/pdf/JENUI_2018_041.pdf
- Sánchez, M. L., Cabrera, A. T., y Gómez del Pulgar, M. L. (2020). Arquitectura y Sistemas de Información Geográfica: hacia un proyecto de paisaje informado. *Proyecto, progreso, arquitectura*, 22, 72-87. <https://idus.us.es/handle/11441/100302>
- Uva, M., y Campanella, O. (2009). AP-SIG: Un SIG con funciones específicas para Agricultura de Precisión. In *XI Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación*. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/19801>
- Wieczorek, W. F., y Delmerico, A. M. (2009). Geographic information systems. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, 1(2), 167-186. <https://doi.org/10.1002/wics.21>