



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA DE AGRICULTURA, SILVICULTURA, PESCA
Y VETERINARIA
CARRERA DE AGRONOMÍA



TRABAJO DE TITULACIÓN

Componente práctico del Examen de Carácter Complexivo,
presentado al H. Consejo Directivo de la Facultad, como requisito
previo a la obtención del título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

TEMA:

Importancia de los sistemas de información geográfica aplicados en
la agricultura en el Ecuador.

AUTOR:

Brayan Estivin Franco Castro

TUTOR:

Ing. Agr. Luis Antonio Alcívar Torres, MSc.

Babahoyo – Los Ríos – Ecuador

2023

RESUMEN

La aplicación de Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la agricultura es de suma importancia debido a su capacidad para mejorar la eficiencia, la productividad y la toma de decisiones en este sector, analizando datos espaciales, proporcionando a los agricultores y profesionales agrícolas información crucial para optimizar sus operaciones. Permiten una gestión más precisa de los recursos agrícolas, como el agua y los fertilizantes. Al proporcionar datos sobre la calidad del suelo, las condiciones climáticas y las características topográficas, los agricultores pueden tomar decisiones informadas sobre la cantidad y el momento adecuado para aplicar estos recursos. Además, los SIG son esenciales para el monitoreo de cultivos y la detección temprana de enfermedades y plagas. Al combinar datos de sensores remotos y observaciones en campo, los agricultores pueden identificar problemas de salud en sus cultivos y tomar medidas preventivas o correctivas de manera oportuna, lo que contribuye a un aumento en la producción. La planificación del uso de la tierra y la gestión de la logística agrícola permiten una distribución eficiente de las áreas de cultivo y una optimización de las rutas de transporte, lo que reduce los tiempos y costos de entrega. Estos sistemas desempeñan un papel fundamental en la modernización y mejora de la agricultura al proporcionar datos espaciales y herramientas analíticas que optimizan la gestión de recursos, aumentan la productividad y contribuyen a una agricultura más sostenible y rentable. Su implementación continua es crucial para abordar los desafíos globales de seguridad alimentaria y recursos naturales.

Palabras claves: agricultura, gestión, monitoreo, tecnología, sostenibilidad.

ABSTRACT

The application of Geographic Information Systems (GIS) in agriculture is of paramount importance due to its ability to improve efficiency, productivity and decision-making in this sector, analyzing spatial data, providing farmers and agricultural professionals with crucial information to optimize their operations. They allow more precise management of agricultural resources, such as water and fertilizers. By providing data on soil quality, climatic conditions and topographic characteristics, farmers can make informed decisions about the quantity and timing of these resources. In addition, GIS are essential for crop monitoring and early detection of diseases and pests. By combining remote sensing data and field observations, farmers can identify health problems in their crops and take preventive or corrective action in a timely manner, contributing to an increase in production. Land use planning and agricultural logistics management allow efficient distribution of crop areas and optimization of transport routes, reducing delivery times and costs. These systems play a key role in modernizing and improving agriculture by providing spatial data and analytical tools that optimize resource management, increase productivity and contribute to more sustainable and profitable agriculture. Its continued implementation is crucial to addressing global food security and natural resource challenges.

Key words: agriculture, management, monitoring, technology, sustainability.

ÍNDICE

RESUMEN.....	II
ABSTRACT.....	III
1. CONTEXTUALIZACIÓN.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	3
1.4. OBJETIVOS.....	4
1.4.1. Objetivo General.....	4
1.4.2. Objetivos específicos.....	4
1.5. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN.....	4
2. DESARROLLO.....	5
2.1. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1.1. Sistemas de información geográfica (SIG).....	5
2.1.2. Componentes del SIG.....	6
2.1.2.1. Hardware.....	6
2.1.2.2. Software.....	6
2.1.2.3. Recursos humanos.....	7
2.1.2.4. Procesos.....	7
2.1.2.5. Datos.....	7
2.1.3. Sistema de Posicionamiento Global (GPS).....	8
2.1.4. Teledetección (RS).....	8
2.1.5. Aplicación de los SIG en la agricultura.....	9
2.1.5.1. Pronóstico del rendimiento de cultivos.....	9
2.1.5.2. Evaluación de la fertilidad del suelo.....	9
2.1.5.3. Monitoreo sistematizado de cultivos.....	10
2.1.5.4. Evaluación de la sequía agrícola.....	10

2.1.5.5.	Detección y manejo de plagas en cultivos	11
2.1.5.6.	Agricultura de precisión	11
2.1.6.	Ventajas de los SIG en la agricultura	13
2.1.7.	Desventajas de los SIG en la agricultura	13
2.2.	METODOLOGÍA	14
2.3.	RESULTADOS.....	15
2.4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	17
3.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	19
3.1.	CONCLUSIONES	19
3.2.	RECOMENDACIONES	19
4.	REFERENCIAS Y ANEXOS	20
4.1.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	20
4.2.	ANEXOS.....	25

1. CONTEXTUALIZACIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

Los avances contemporáneos en las tecnologías de los sistemas de información geográfica y los sistemas de posicionamiento geográfico permiten adquirir imágenes de satélite de alta resolución y datos espaciales digitales. En el sector agrícola, estos datos espaciales han ayudado a investigar los vínculos espaciales de las complejidades sociales, físicas, agroecológicas y ambientales y cómo afectan a la sostenibilidad agrícola (Goodchild 2011).

El contexto espacial de la agricultura puede verse desde la perspectiva del acceso diferenciado de los agricultores al capital económico de los medios de subsistencia, los recursos locales, el acceso a la infraestructura y los servicios esenciales existentes en una localidad. Estos datos se pueden deconstruir como capas espaciales anidadas cada una enraizada en la geografía local por coordenadas geográficas capturadas mediante el GPS (Mathenge *et al.* 2022).

Estas capas espaciales pueden luego ser procesadas y analizadas en un sistema SIG de múltiples maneras para revelar las condiciones de los cultivos y el suelo y las interacciones espaciales, predecir las tendencias de los cultivos, monitorear el cambio del uso de la tierra, monitorear las plagas y la conservación de la biodiversidad (Mathenge *et al.* 2022).

Esos sistemas de bases de datos permiten a los usuarios interactuar en tiempo real con los datos agrícolas espacialmente referenciados. Como resultado, han surgido nuevos campos que aplican SIG en la agricultura. Estos incluyen la agricultura de precisión, los sistemas agrícolas automatizados, la previsión del rendimiento de los cultivos, la detección del cambio climático y el seguimiento en tiempo real de la producción agrícola (García *et al.* 2020).

En la agricultura, el análisis geoespacial automatizado proporciona información científica valiosa a los encargados de formular políticas para mejorar el desarrollo de las políticas agrícolas. Las prácticas de agricultura que emplean tecnologías integradas, han ganado prominencia en su capacidad para optimizar la producción de cultivos, facilitar el manejo de cultivos específicos del sitio y reducir la aplicación de agroquímicos (Toscano *et al.* 2019).

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los países con escasos recursos, como los países de ingresos bajos y medianos, el coste de la tecnología y la falta de conocimientos adecuados ponen en peligro su uso y adopción más amplios (Naik *et al.* 2013). La simulación del rendimiento de los cultivos es siempre un reto debido a la variedad de sistemas de cultivo y los niveles de tecnología utilizados.

El índice actual de adopción de nuevas tecnologías para la agricultura es muy bajo y las limitaciones a las que se enfrentan los agricultores son múltiples. Además, cuestiones técnicas como la falta de disponibilidad de instrumentos y equipos sofisticados y sus costes de mantenimiento, la accesibilidad a los servicios, programas informáticos, la falta de compatibilidad de los equipos con las prácticas agrícolas tradicionales y actuales también están obstaculizando la adopción de las tecnologías en la agricultura de precisión (Zhao *et al.* 2021).

Una evaluación precisa de la brecha en el rendimiento de los cultivos exigiría mejoras en la calidad de los datos de entrada, incluidos parámetros meteorológicos precisos, una mejor caracterización del suelo y datos de uso de la tierra distribuidos espacialmente (Muslim *et al.* 2015). Por ello es necesario establecer sitios de validación georreferenciados instrumentados que proporcionen datos exhaustivos para fundamentar un ciclo de mejora continua para la evaluación de las diferencias de rendimiento.

1.3. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo de investigación es desarrollado para divulgar acerca de la importancia de los sistemas informáticos en la agricultura a todos aquellos inmersos en prácticas agrícolas, destacando que estas herramientas permiten gestionar el tiempo y recursos, especialmente con datos precisos sobre el trabajo a realizar, para incrementar la producción y productividad.

Disponer de información oportuna y fiable sobre los suelos en lo que respecta a su naturaleza, extensión y distribución espacial es crucial para una utilización óptima y sostenible de los recursos naturales disponibles. Los avances tecnológicos en el campo de la teledetección, el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) y el Sistema de Información Geográfica (SIG) han aumentado la eficacia de los estudios agrícolas (Sahu *et al.* 2015).

El acceso de georreferenciación automatizado gestiona información agrícola valiosa para mejorar la evolución tecnológica en la agricultura, permitiendo optimizar y mejorar la producción vegetal, facilitar la gestión de los cultivos específicos del lugar y reducir la utilización de agroquímicos. El uso integrado de tecnologías informáticas avanzadas con bases de datos puede servir de ayuda a los responsables de la toma de decisiones para planes futuros.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General

- Analizar la importancia de los sistemas de información geográfica aplicados en la agricultura en el Ecuador.

1.4.2. Objetivos específicos

- Identificar las aplicaciones de los sistemas de información geográfica en la agricultura.
- Describir las ventajas y desventajas de los principales sistemas de información geográfica en la agricultura.

1.5. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

El presente estudio es desarrollado en la línea de investigación definida como Desarrollo agropecuario, sostenible y sustentable, debido a que los sistemas de información geográfica ayudan a mantener y gestionar los recursos hídricos, forestales y agrícolas mediante cartografía, teledetección, datos históricos, tendencias climáticas y medioambientales. Además de la sublínea en Agricultura sostenible y sustentable orientada al desarrollo de tecnologías para la agricultura.

Los SIG son una de las herramientas clave en el marco de los datos medioambientales para la validación de datos, las normas de transferencia de datos digitales, la difusión de datos y el análisis, de modo que los responsables de la toma de decisiones no sólo puedan ver el estado actual de los recursos que gestionan, sino también las repercusiones de sus decisiones y el estado futuro de dichos recursos. Proponemos un enfoque integrado eficiente de los sistemas de toma de decisiones espaciales y la ciencia de la información geográfica para la cartografía espacialmente explícita del desarrollo sostenible

2. DESARROLLO

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. Sistemas de información geográfica (SIG)

Es un sistema diseñado para capturar, almacenar, organizar y presentar datos espaciales, que se refieren a ubicaciones en la Tierra. La información de ubicación es valiosa para una amplia gama de actividades humanas para la toma de decisiones relacionadas con estas actividades. Dado que los datos espaciales son relativamente complejos, los SIG representan una aplicación informática desafiante que se ha desarrollado más tarde que otras formas de sistemas informáticos (Keenan 2020).

El término GIS se ha adoptado para referirse a la ciencia que hay detrás de los sistemas. La Ciencia de la Información Geográfica se basa en disciplinas tan diversas como la cartografía, ciencias cognitivas, informática, ingeniería, ciencias medioambientales, geodesia, arquitectura paisajística, derecho, fotogrametría, política pública, teledetección, estadística y la topografía (Goodchild 2011).

Usa datos espaciales para una región de la Tierra; tales datos regionales son de interés para una amplia gama de usuarios cuyas actividades tienen lugar en esa región, y muchos usuarios en dominios que de otro modo estarían desconectados comparten datos espaciales. La disponibilidad y el costo de los datos espaciales son importantes impulsores del uso de SIG, y la fuente y la integración de los datos espaciales son preocupaciones constantes de la investigación (Keenan 2020).

En la agricultura, según García *et al.* (2020).permite a los agricultores manejar datos obtenidos de satélites y otros tipos de sensores a través de bases de datos georreferenciadas. Varios trabajos de investigación han abordado diversos problemas desde la perspectiva de los SIG para reducir el impacto ambiental de la agricultura, en aplicaciones como la reducción del riesgo de desastres, el monitoreo y modelado del cambio de uso de la tierra, la detección del cambio climático, los mosaicos del subsuelo, detección de áreas de drenaje e identificación de áreas de humedales

2.1.2. Componentes del SIG

2.1.2.1. Hardware

Según Patterson y Hennessy (2013), autores influyentes en el campo de la arquitectura de computadoras, el hardware es la base tecnológica sobre la cual se ejecutan todos los programas y aplicaciones de software. La CPU, la memoria RAM, el almacenamiento, las tarjetas gráficas y otros componentes son esenciales para el funcionamiento de dispositivos como computadoras personales, servidores, teléfonos inteligentes y tabletas. Estos dispositivos son la columna vertebral de la sociedad digital actual.

2.1.2.2. Software

Es la columna vertebral de los SIG y sirve como plataforma a través de la cual se procesan y analizan los datos espaciales. El software proporciona una interfaz fácil de usar para la manipulación de datos, modelado espacial y representación cartográfica, desempeña un papel fundamental en la transformación de datos geográficos sin procesar en conocimientos prácticos (Longley *et al.* 2015).

Paquetes de software SIG que dominan la industria debido a sus características integrales y capacidades sólidas:

- ArcGIS: Desarrollado por ESRI, ArcGIS es uno de los paquetes de software SIG más utilizados a nivel mundial. Ofrece una amplia gama de herramientas para mapeo, análisis espacial y gestión de datos.
- QGIS: una alternativa de código abierto al software SIG comercial, QGIS es conocido por su interfaz fácil de usar y una gran comunidad de desarrolladores. Proporciona una gran cantidad de complementos y extensiones para funciones personalizadas.
- GRASS GIS: El Sistema de soporte de análisis de recursos geográficos es un paquete de software de código abierto conocido por su enfoque en el análisis y modelado geoespacial. Es particularmente popular en las comunidades académica y de investigación

2.1.2.3. Recursos humanos

Son un componente esencial en los SIG, la formación y la educación continua, la diversidad de roles, la interdisciplinariedad y el liderazgo efectivo son factores clave para el éxito operacional. Por ejemplo, Goodchild (2011) subraya que los SIG involucran a cartógrafos, analistas espaciales, desarrolladores de software, científicos de datos, planificadores urbanos y muchos otros profesionales. La colaboración entre estas disciplinas es esencial para abordar problemas complejos.

2.1.2.4. Procesos

Para comunicar eficazmente los resultados de sus análisis, los usuarios de SIG dependen de la salida y visualización de datos. Este componente abarca la creación de mapas, gráficos e informes que transmiten la información de manera comprensible. Los principios cartográficos, incluida la simbolización, la escala y el etiquetado, desempeñan un papel crucial en la producción de mapas claros e informativos (Slocum *et al.* 2010).

2.1.2.5. Datos

Son sistemas de gestión de bases de datos especializados diseñados para manejar datos geográficos de manera eficiente. A diferencia de las bases de datos tradicionales, las geodatabases pueden almacenar varios tipos de datos espaciales, incluidos puntos, líneas, polígonos, rásteres, y mantener relaciones topológicas entre entidades. Las geodatabases proporcionan la base para el almacenamiento, la gestión y el análisis de datos dentro de los SIG (Longley *et al.* 2015).

2.1.3. Sistema de Posicionamiento Global (GPS)

Es un sistema de navegación basado en el espacio que consta nominalmente de una constelación de 24 satélites que proporciona información de posicionamiento y temporización a usuarios de todo el mundo. Los satélites GPS giran alrededor de la Tierra cada 12 horas y emiten señales GPS continuas en dos frecuencias diferentes de banda L, L1 y L2. Además el sistema consta de una red mundial de control de satélites y unidades receptoras GPS que adquieren las señales GPS y las traducen en información de posicionamiento (Lee 2009).

Existen numerosas aplicaciones de los sistemas GPS en la agricultura, como la cartografía de suelos, el contorneado de campos, la supervisión de cultivos y el seguimiento de la producción. Normalmente, un GPS contiene un receptor GPS, o sistema de posicionamiento global diferencial (DGPS), montado en el vehículo que se desplaza por el campo, y una unidad de recuperación de información, así como un paquete de software responsable de la cartografía y la visualización (Kushwaha *et al.* 2022).

2.1.4. Teledetección (RS)

Es una técnica que utiliza diferentes sensores y resoluciones para medir la cantidad de radiación electromagnética que emite un cuerpo o área geográfica a gran distancia, recopilando información a partir de los datos utilizando herramientas matemáticas, estadísticas o algoritmos. El principio de la teledetección es la interacción entre la energía incidente, el material objetivo y esta energía reflejada se recopilan e interpretan para diferentes aplicaciones (Manson *et al.* 2015).

La teledetección es una tecnología en rápida expansión que se utiliza en diversas aplicaciones agrícolas. En particular, la espectroscopía de imágenes en bandas estrechas y continuas proporciona información significativa para comprender las propiedades biofísicas y bioquímicas de las plantas agrícolas. También es útil para identificar los cambios en diversos procesos físicos, que pueden identificarse mejor utilizando RS multiespectrales (Sahu *et al.* 2015).

2.1.5. Aplicación de los SIG en la agricultura

El desarrollo de herramientas tecnológicas en la cuarta revolución agrícola, permitió transformar gradualmente la forma en que se desenvuelve la agricultura, a través de los avances en tecnologías geoespacial, sensores, inteligencia artificial, robótica y otras herramientas tecnológicas; por lo tanto, su propuesta ha sido incrementar la capacidad de identificar con precisión las áreas problemáticas en plantaciones y monitorear la cadena de valor agrícola.

A continuación, se identifican las siguientes prácticas modernas en la agricultura:

2.1.5.1. Pronóstico del rendimiento de cultivos

El pronóstico temprano del rendimiento de los cultivos en los campos agrícolas es un procedimiento importante para la planificación de la seguridad alimentaria y la predicción del rendimiento económico agrícola García *et al.* (2020). El avance continuo en las tecnologías RS y GIS ha mejorado el proceso y técnicas de seguimiento del desarrollo de cultivos y estimación de sus rendimientos.

Pronosticar el rendimiento de los cultivos mucho antes de la cosecha es crucial, especialmente en regiones caracterizadas por condiciones climáticas adversas. Esto permite el seguimiento de las condiciones de crecimiento de los cultivos agrícolas y la predicción del rendimiento potencial de los cultivos es importante en la planificación y formulación de políticas para la seguridad alimentaria y el rendimiento económico agrícola predicción. Lo cual podría incluir el desarrollo de políticas para mejorar la agricultura productividad y sostenibilidad (García et al. 2020).

2.1.5.2. Evaluación de la fertilidad del suelo

De acuerdo a De Paul y Lal (2013) la evaluación de la calidad del suelo es fundamental para diseñar prácticas agrícolas sostenibles (uso agrícola óptimo) que puedan ayudar a salvar la actual brecha entre producción y demanda de alimentos para superar el problema de la seguridad alimentaria. La disponibilidad de conjuntos de datos de RS y de técnicas de modelización

espacial SIG brinda nuevas oportunidades para medir/evaluar la calidad del suelo a diferentes escalas espaciales.

Los mapas de fertilidad del suelo basados en GPS y GIS son excelentes herramientas para realizar un seguimiento exhaustivo de la salud del suelo y basándose en dichos mapas, recomendar la aplicación de enmiendas agrícolas para garantizar los parámetros fisicoquímicos pertinentes; por tanto, este sistema de recomendación ayuda a los agricultores a optimizar el uso de fertilizantes y maximizar el rendimiento (Chaudhari *et al.* 2022).

2.1.5.3. Monitoreo sistematizado de cultivos

El análisis del seguimiento de los cultivos agrícolas podría ayudar a los responsables políticos y agricultores a planificar y diseñar modelos de cultivo que se adapten a la disponibilidad de agua. Los sistemas de seguimiento agrícola integran múltiples conjuntos de datos geoespaciales y modelos de sistemas de cultivo en algoritmos informáticos para calcular y simular espacialmente escenarios óptimos de las condiciones específicas de cada lugar para la producción de cultivos (Thorp *et al.* 2015)

Se desarrolla un sistema de seguimiento de cultivos mediante la integración de datos geoespaciales obtenidos por teledetección de alta resolución con una interfaz web de geoportal SIG. El seguimiento del crecimiento y la salud de los cultivos, así como la predicción exacta o casi exacta de su rendimiento, son cruciales no sólo para estimar el rendimiento económico, sino también para evaluar la producción de alimentos y contribuir así a la gestión de la seguridad alimentaria (Reynolds *et al.* 2010).

2.1.5.4. Evaluación de la sequía agrícola

La sequía es otro obstáculo para la productividad agrícola, por lo que es crucial identificar los puntos críticos y la climatología para minimizar estratégicamente su impacto. La caracterización basada en SIG de la variabilidad climática y las zonas de sequía permite adoptar medidas estratégicas para maximizar la productividad mediante los índices de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) por patrón espacial (Hundera *et al.* 2016).

El uso de conjuntos de datos espaciales generados por tecnologías de RS por satélite y SIG ofrece información muy útil para evaluar y modelizar los patrones de riesgo de sequía agrícola, vigilar las condiciones de sequía y elaborar mapas de vulnerabilidad a la sequía. Integrando técnicas geoespaciales para desarrollar un modelo de inventario espacial exhaustivo del riesgo de sequía para la gestión operativa de la sequía, identificando las extensiones espaciales y la distribución del riesgo de sequía agrícola (Abdelrahman *et al.* 2016).

2.1.5.5. Detección y manejo de plagas en cultivos

Las plagas en los cultivos son una importante limitación para la producción agrícola. Su impacto puede ser especialmente grave si un cultivo presenta mayor nivel poblacional que refleje daño económico. Los sistemas de información geográfica proporcionan herramientas importantes que pueden aplicarse para predecir, vigilar y controlar las plagas; estas herramientas y técnicas geoespaciales ayudan a los agricultores en las estrategias de control y gestión de plagas en los cultivos (Bouwmeester *et al.* 2010).

La tecnología de teledetección, incluidas las imágenes aéreas y por satélite adquiridas durante las temporadas de cultivo se ha utilizado para la detección temprana y dentro de la temporada, la cartografía de patógenos en los cultivos, el control de enfermedades recurrentes en temporadas futuras y la evaluación de las pérdidas económicas causadas por condiciones agroclimáticas. Estos sistemas de información geográficas son una gran ayuda para los agricultores a la hora de predecir las pérdidas económicas y de rendimiento (Preti *et al.* 2021).

2.1.5.6. Agricultura de precisión

La agricultura de precisión ha emergido como una herramienta fundamental para abordar los desafíos de la seguridad alimentaria en el siglo XXI. Autores como Lobell y Burke (2010) han subrayado la importancia de esta tecnología en la producción agrícola sostenible y la garantía de un suministro de alimentos adecuado para una población mundial en constante crecimiento; su capacidad para mejorar la eficiencia, reducir el impacto ambiental y garantizar la calidad de los cultivos es crucial para afianzar la sostenibilidad.

Es la ciencia que mejora el rendimiento de los cultivos y ayuda a tomar decisiones de gestión utilizando sensores y herramientas de análisis de alta tecnología. La AP es un nuevo concepto adoptado en todo el mundo para aumentar la producción, reducir el tiempo de trabajo y garantizar una gestión eficaz de los fertilizantes y los procesos de riego. Utiliza una gran cantidad de datos e información para mejorar el uso de los recursos agrícolas, el rendimiento y la calidad de los cultivos (Rueda 2019).

Los objetivos operativos incluyen una óptima gestión de insumos como semillas, fertilizantes, pesticidas, herbicidas y agua, utilizando las cantidades correctas de insumos en el lugar. Se necesitan varias herramientas y sistemas cruciales, como GPS, GIS y RS, para recopilar información geoespacial oportuna sobre las necesidades agrícolas con el fin de extraer información para prescribir y aplicar tratamientos específicos con el fin de mejorar la productividad agrícola (Balafoutis *et al.* 2017).

La incorporación de drones en la agricultura de precisión ha revolucionado la gestión agrícola moderna. Estas aeronaves no tripuladas están equipadas con cámaras, sensores y tecnología de georreferenciación que les permite recopilar datos de alta resolución sobre los campos agrícolas, estos datos proporcionan información detallada sobre la salud de los cultivos, la variabilidad del suelo y otros factores críticos para tomar decisiones informadas sobre la gestión de cultivos (Lelong *et al.* 2008).

De acuerdo con Shreyas *et al.* (2019) la integración de vehículos agrícolas autónomos (VAA) en la agricultura de precisión ha sido un avance transformador en la gestión agrícola al permitir operaciones automatizadas y precisas en el campo. Estos vehículos pueden incluir tractores, cosechadoras, y drones terrestres que están diseñados para realizar tareas específicas de manera autónoma como aplicar fertilizantes y pesticidas, con una precisión milimétrica, reduciendo el desperdicio y mejorando la sostenibilidad.

2.1.6. Ventajas de los SIG en la agricultura

Según Paramasivam (2019), los principales beneficios asociados para el desarrollo de los sistemas de información geográficas son:

- Las tecnologías SIG perfeccionan los conjuntos y modelos de datos. La posibilidad de generar nuevos objetos a la carta permite alcanzar altos niveles de calidad. También permite vincular los atributos existentes con conjuntos de datos de nueva definición.
- Los métodos de los SIG permiten predecir, evaluar riesgos e identificar ubicaciones de los recursos naturales. Además, integra los datos espaciales y no espaciales para permitir una mejor comprensión de las condiciones de emergencia.
- Proporciona datos valiosos para monitorear el crecimiento de los cultivos y predecir los rendimientos, lo cual es útil para la gestión y planificación agrícola, mejorando la seguridad alimentaria y reduciendo el desperdicio.
- Aumenta el número de decisiones correctas por unidad de área en términos de la productividad de la tierra, ya que abarca una gran cantidad de los datos con un uso menor y más eficiente de los insumos
- El análisis de las aguas subterráneas utiliza el SIG para interpretar la correlación espacial de los posibles recursos hídricos y determinar la calidad del agua. Se puede adaptar un enfoque lógico para la gestión eficaz de los recursos hídricos, como la delimitación de la superficie y el subsuelo.

2.1.7. Desventajas de los SIG en la agricultura

Según Araneda (2002), las principales limitaciones asociadas para el desarrollo de los sistemas de información geográficas son:

- Los SIG en la agricultura no son asequibles debido a que la adquisición del equipo representa un gran gasto económico, además, hay que considerar el costo de la capacitación académica.

- La calidad de los datos recogidos afecta directamente a la precisión del sistema final. Los errores geográficos también afectarán a los resultados netos, ya que los SIG manejan datos a gran escala.
- A pesar de las numerosas ventajas de la recogida de datos, se tarda años en disponer de un conjunto de datos de ciclo completo. Esto significa que utilizará los años iniciales para la recogida de datos hasta que pueda implantar el sistema.
- La exactitud y la precisión son funciones de la escala a la que se crea un mapa (en papel o digital). Los datos no espaciales vinculados a la localización también pueden ser inexactos o imprecisos. Las imprecisiones pueden deberse a errores de todo tipo, los datos no espaciales también pueden variar enormemente.
- Es posible que se produzcan fallos en las operaciones o que se requiera un esfuerzo adicional para implantar plenamente el SIG. Una interpretación propensa a errores podría hacer fracasar la aplicación del sistema, lo que afectaría a la estrategia económica del aplicador.

2.2. METODOLOGÍA

El presente proyecto es desarrollado mediante una revisión sistemática de, libros, tesis, artículos científicos y documentación académica que fue divulgada en plataformas digitales durante los últimos años, con el objetivo de garantizar y validar la información recopilada en relación a los sistemas de información geográfica aplicados en la agricultura de precisión. De este modo, la investigación explora la aplicación de tecnologías a través de áreas de aplicaciones nuevas y emergentes, que están permitiendo la realización de objetivos de agricultura de precisión y producción sostenible.

2.3. RESULTADOS.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) han tenido un impacto significativo en la agricultura, revolucionando la forma en que se gestionan los recursos y se toman decisiones en este sector crucial. Los resultados de la aplicación de SIG en la agricultura son evidentes en varios aspectos clave:

En principio, Sendaples (2013) detalla que el progreso y mejoramiento los sistemas de información geográfica deben realizarse de forma productiva en la generación de datos geoespaciales, sistemas de posicionamiento y flujo de información por internet, con el propósito de convertirse en una herramienta aplicable para una divulgación precisa y apropiada, adaptándose a las últimas tecnologías y los progresos en los sistemas de información.

Asimismo García *et al.* (2020) señalan que el pronóstico del rendimiento de cultivos es un campo de investigación crucial en la agricultura moderna, los modelos de predicción son herramientas esenciales para evaluar el rendimiento de los cultivos, utilizando una variedad de entradas, que pueden incluir datos climáticos, datos de suelos, información sobre prácticas de cultivo, hectáreas cosechas y producción en toneladas, para estimar el rendimiento futuro de los cultivos

Por consiguiente, Yáñez *et al.* (2020) exponen que la evaluación de la fertilidad del suelo mediante sistemas de información geográfica (SIG) en el cantón El Oro – Ecuador, es una estrategia esencial en la agricultura moderna. La capacidad de integrar datos espaciales y ambientales permite una gestión precisa de la fertilidad del suelo, lo que se traduce en una mayor eficiencia en el uso de fertilizantes y una reducción del impacto ambiental.

Las fluctuaciones climáticas como la sequía producen un impacto en los sistemas agrícolas, hidrológicos y ecológicos. Cabe indicar que Rosero *et al.* (2020) evaluaron variables atmosféricas para determinar la transformación geoespacial de la evapotranspiración potencial en la cuenca del río Chimborazo, integrando datos geoespaciales, como información meteorológica, de suelos y de cultivos, evaluando las condiciones hídricas en tiempo real; esto es fundamental para identificar áreas vulnerables y tomar medidas preventivas.

A continuación, Paredes *et al.* (2023) utilizaron sensores inalámbricos compuestos por tarjetas de desarrollo ARDUINO para sistematizar el control de riego en el cultivo de mora mediante nodos con topología de red tipo malla en un aplicativo móvil para identificar los niveles de humedad del suelo y temperatura ambiente, proporcionando información sobre la disponibilidad de agua y las demandas de riego en diferentes áreas; esto permite una asignación más precisa de los recursos hídricos y una mayor eficiencia.

De tal manera Sanchez *et al.* (2023) emplearon los sistemas de información geográfica como una estrategia fundamental en la protección de cultivos y la seguridad alimentaria para georreferenciar los insectos que incidieron en plantaciones de arroz con el objetivo de localizar e identificar los estadios fenológicos; obteniendo una gestión más precisa y efectiva de las plagas agrícolas al proporcionar datos espaciales y herramientas de análisis que facilitan la toma de decisiones informadas.

De la misma forma Rueda (2019), argumenta que la agricultura de precisión se caracteriza por ser una táctica altamente focalizada en la gestión específica de las variaciones naturales de los elementos que restringen la producción, además integra nuevas tecnologías como drones, vehículos autónomos y sensores remotos con el propósito de recopilar datos, minimizar la utilización de recursos, garantizar la sostenibilidad de la actividad agrícola y disminuir significativamente su huella ambiental.

2.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En base a lo estipulado por Sendaples (2013) informa sobre la revolución de los SIG en la forma en que se analiza, visualiza y gestiona los datos espaciales a partir de información significativa. Por consiguiente, Longley *et al.* (2015) especifican que el software de sistemas de información geográfica (SIG) es un componente crítico de los procesos modernos de análisis espacial y toma de decisiones; estas herramientas están diseñadas para permitir a los usuarios gestionar y visualizar datos geográficos de manera eficiente.

Por consiguiente, García *et al.* (2020) enuncian que la capacidad de integrar datos geoespaciales, como información sobre suelos, clima, topografía y prácticas de cultivo pasadas, para modelar y predecir el rendimiento de los cultivos en un área específica es esencial para mejorar la precisión de los pronósticos agrícolas. No obstante, García *et al.* (2020) explican que los pronósticos de cultivo enfrentan desafíos, como la adquisición de datos precisos y la validación de modelos, sin embargo, se espera que los pronóstico continúen mejorando.

Según Yáñez *et al.* (2020) señalan que la incorporación de tecnologías emergentes, como la teledetección de alta resolución y la inteligencia artificial, puede mejorar la precisión de la evaluación de fertilidad. Sin embargo, De Paul y Lal (2013) manifiestan que la evaluación de fertilidad no es un proceso estático, ya que los suelos pueden cambiar según las condiciones regionales y con las prácticas agrícolas y condiciones ambientales, por lo tanto, es necesario proporcionar soluciones que se adapten a diversos entornos.

En base al estudio realizado por Rosero *et al.* (2020) identificaron las fluctuaciones climáticas al medir los cambios en la reflectancia de la vegetación causados por la disminución de la actividad fotosintética debido a la sequía. A pesar de su utilidad, Hundera *et al.* (2016) exponen que el uso efectivo del índice de estrés vegetativo en la agricultura requiere tecnología avanzada, como sensores remotos y sistemas agrícolas de alto costo para una gestión eficiente y sostenible, además, la corrección atmosférica y la calibración son fundamentales para obtener mediciones precisas.

En ese mismo contexto Sanchez *et al.* (2023) detallan que los mapas de distribución de plagas permiten a los agricultores y expertos en gestión de plagas tomar decisiones informadas sobre la aplicación de pesticidas, la programación de tratamientos y la implementación de prácticas de control. De igual modo Preti *et al.* (2021) argumentan sobre las limitaciones y desafíos que conlleva la adquisición y actualización de datos en tiempo real, la capacitación de personal y la interoperabilidad de sistemas.

Por ende, Paredes *et al.* (2023) alegan que los sistemas de riego desempeñan un papel crucial en la producción agrícola, permitiendo el suministro de agua de manera controlada para optimizar el crecimiento de los cultivos. Por consiguiente, Thorp *et al.* (2015) afirman que los SIG permiten un monitoreo preciso de la distribución de agua en los sistemas de riego, incluyendo la identificación de áreas con problemas de flujo, detección de fugas y evaluación de la uniformidad de riego.

Mientras que Rueda (2019) enfatiza en que los agricultores utilizan los SIG para tomar decisiones sobre la siembra, el riego y la fertilización, lo que aumenta la eficiencia agrícola y reduce el impacto ambiental. Además, Lobell y Burke (2010) explican que a medida que las tecnologías continúan avanzando y los costos disminuyen, se espera una mayor adopción en todo el mundo. Además, la agricultura de precisión es esencial en la búsqueda de soluciones para los desafíos globales, como la seguridad alimentaria y la mitigación del cambio climático.

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1. CONCLUSIONES

- El uso de SIG en la agricultura ha aumentado a un ritmo acelerado durante las últimas décadas y existen numerosas aplicaciones en campo, debido a que estos sistemas registran datos digitales de diferentes procesos de cultivos y nos ayudan a mejorar utilizando herramientas como teledetección utilizada para medir la cantidad de radiación electromagnética que emite un cuerpo o área geográfica, sistemas de posicionamiento global GPS que consta de 24 satélites que proporcionan información de posicionamiento y temporización.
- Los SIG han demostrado ser herramientas extremadamente beneficiosas en el sector agrícola, sus ventajas son importantes para la gestión de tiempo y recursos y sus desventajas son significativas para los agricultores que no cuentan con suficiente capital económico ya que los costos de muchas herramientas son elevados.

3.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda a los agricultores y a todas las personas inmersas en el campo de la agricultura utilizar los sistemas de información disponibles gratuitos y los de bajo costo, tales como el SIPA que se encuentra habilitado para uso público, para conocer diferentes actividades en campo, estos sistemas de información nos ayudan a obtener datos precisos del sector que nosotros determinemos debido a la gran cantidad de información acumulada durante varios años, también nos permite conocer el rendimiento de cultivos en las diferentes zonas del Ecuador.
- Es muy factible invertir un poco de tiempo y recursos en aprender sobre las nuevas tecnologías que se utilizan en la agricultura, ya que estas son de gran importancia para llevar un buen manejo de cultivo, ya que nos permiten identificar tipos de cultivos y como es su adaptación en diferentes medios ambientales, es mucho más fácil calcular el área de grandes extensiones de cultivo. Nos refleja con datos exactos en que época es más factible sembrar, también determinan la salud del cultivo.

REFERENCIAS Y ANEXOS

3.3. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdelrahman, M; Natarajan, A; Srinivasamurthy, CA; Hegde, R. 2016. Estimating soil fertility status in physically degraded land using GIS and remote sensing techniques in Chamarajanagar district, Karnataka, India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science* 19(1):95-108. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.EJRS.2015.12.002>.
- Araneda, E. 2002. Uso de Sistemas de Información Geográficos y análisis espacial en arqueología: Proyecciones y limitaciones. *Estudios Atacameños* (22):59-75. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0718-10432002002200004>.
- Balafoutis, A; Beck, B; Fountas, S; Vangeyte, J; Van Der Wal, T; Soto, I; Gómez Barbero, M; Barnes, A; Eory, V. 2017. Precision Agriculture Technologies Positively Contributing to GHG Emissions Mitigation, Farm Productivity and Economics. *Sustainability* 2017, Vol. 9, Page 1339 9(8):1339. DOI: <https://doi.org/10.3390/SU9081339>.
- Bouwmeester, H; Abele, S; Manyong, VM; Legg, C; Mwangi, M; Nakato, V; Coyne, D; Sonder, K. 2010. The potential benefits of gis techniques in disease and pest control: An example based on a regional project in central Africa. *Acta Horticulturae* 879:333-340. DOI: <https://doi.org/10.17660/ACTAHORTIC.2010.879.34>.
- Chaudhari, B; Patil, VN; Patil, J. 2022. GPS-GIS-Based Soil Fertility Maps of Shahada Tahsil of Nandurbar District (M.S.). *Biology and Life Sciences Forum* 2022, Vol. 16, Page 19 16(1):19. DOI: <https://doi.org/10.3390/IECHO2022-12486>.
- García, J; Ouhbi, S; Benmouna, B; García, G; Fernández, JL; Molina, JM. 2020. Systematic Mapping Study on Remote Sensing in Agriculture. *Applied Sciences* 2020, Vol. 10, Page 3456 10(10):3456. DOI: <https://doi.org/10.3390/APP10103456>.
- García, J; Zambrano, J; Alcivar, R; Zambrano, W. 2020. Predicción del rendimiento de cultivos agrícolas usando aprendizaje automático. *Revista*

- Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía 5(2):160. DOI: <https://doi.org/10.35381/R.K.V5I2.1013>.
- Goodchild, MF. 2011. Spatial Thinking and the GIS User Interface. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 21:3-9. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.SBSPRO.2011.07.002>.
- Hundera, H; Berhan, G; Bewuket, W. 2016. Remote Sensing and GIS Based Agricultural Drought Risk Assessment in East Shewa Zone, Central Rift Valley Region of Ethiopia. 6(7).
- Keenan, P. 2020. Geographic Information Systems and Location Analytics for Business and Management. *Oxford Research Encyclopedia of Business and Management* . DOI: <https://doi.org/10.1093/ACREFORE/9780190224851.013.200>.
- Kushwaha, NL; Elbeltagi, A; Patel, A; Zakwan, M; Rajput, J; Sharma, P. 2022. Assessment of water resources using remote sensing and GIS techniques. 7:85-98. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91910-4.00006-6>.
- Lee, J. 2009. Global Positioning/GPS. *International Encyclopedia of Human Geography* :548-555. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-008044910-4.00035-3>.
- Lelong, CCD; Burger, P; Jubelin, G; Roux, B; Labbé, S; Baret, F. 2008. Assessment of Unmanned Aerial Vehicles Imagery for Quantitative Monitoring of Wheat Crop in Small Plots. *Sensors (Basel, Switzerland)* 8(5):3557-3585. DOI: <https://doi.org/10.3390/S8053557>.
- Lobell, DB; Burke, MB. 2010. On the use of statistical models to predict crop yield responses to climate change. *Agricultural and Forest Meteorology* 150(11):1443-1452. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.AGRFORMET.2010.07.008>.
- Longley, PA; Goodchild, MF; Maguire, DJ; Rhind, DW. 2015. *Geographic Information Science and Systems*. 4 ed. New Jersey, United States, John Wiley & Sons. 1-469 p.
- Manson, SM; Bonsal, DB; Kernik, M; Lambin, EF. 2015. *Geographic Information*

Systems and Remote Sensing. International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences: Second Edition :64-68. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-097086-8.91027-4>.

Mathenge, M; Sonneveld, BGJS; Broerse, JEW. 2022. Application of GIS in Agriculture in Promoting Evidence-Informed Decision Making for Improving Agriculture Sustainability: A Systematic Review. Sustainability (Switzerland) 14(16). DOI: <https://doi.org/10.3390/SU14169974>.

Muslim, M; Romshoo, SA; Rather, AQ. 2015. Paddy crop yield estimation in Kashmir Himalayan rice bowl using remote sensing and simulation model. Environmental monitoring and assessment 187(6). DOI: <https://doi.org/10.1007/S10661-015-4564-9>.

Naik, G; Basavaraj, KP; Hegde, VR; Paidi, V; Subramanian, A. 2013. Using geospatial technology to strengthen data systems in developing countries: The case of agricultural statistics in India. Applied Geography 43:99-112. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.APGEOG.2013.06.002>.

Paramasivam, CR. 2019. Merits and Demerits of GIS and Geostatistical Techniques. GIS and Geostatistical Techniques for Groundwater Science :17-21. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815413-7.00002-X>.

Paredes, M; Zúñiga, W; Morocho Caiza, A; Mendoza, M. 2023. Agricultura de precisión mediante WSN con nodos inteligentes aplicada a un sistema de riego en cultivo de mora. Revista Perspectivas 3(2):1-5. DOI: <https://doi.org/10.47187/perspectivas.vol3iss2.pp26-30.2021>.

Patterson, D; Hennessy, J. 2013. Computer Organization and Design: The Hardware/Software Interface. San Francisco, United States, Morgan Kaufmann Publishers. 1-800 p.

De Paul, V; Lal, R. 2013. Assessing land cover and soil quality by remote sensing and geographical information systems (GIS). CATENA 104:77-92. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.CATENA.2012.10.014>.

Preti, M; Verheggen, F; Angeli, S. 2021. Insect pest monitoring with camera-equipped traps: strengths and limitations. Journal of Pest Science 94(2):203-217. DOI: <https://doi.org/10.1007/S10340-020-01309-4>.

- Reynolds, CA; Yitayew, M; Slack, DC; Hutchinson, CF; Huete, A; Petersen, MS. 2010. Estimating crop yields and production by integrating the FAO Crop Specific Water Balance model with real-time satellite data and ground-based ancillary data. <http://dx.doi.org/10.1080/014311600750037516> 21(18):3487-3508. DOI: <https://doi.org/10.1080/014311600750037516>.
- Rosero, C; Beltrán, A; Cuadrado, J. 2020. Evaluación de la sequía vegetativa mediante sensores remotos: Estudio de caso en la cuenca del río Chimborazo-Ecuador. Polo del Conocimiento: Revista científico - profesional, ISSN-e 2550-682X, Vol. 5, N°. 6, 2020, págs. 228-259 5(6):228-259. DOI: <https://doi.org/10.23857/pc.v5i6.1477>.
- Rueda, V. 2019. Agricultura de precisión como herramienta para el desarrollo de la agricultura en el Ecuador. ECUADOR ES CALIDAD (1):1-2.
- Sahu, N; Reddy, O; Kumar, N; Nagaraju, M. 2015. High resolution remote sensing, GPS and GIS in soil resource mapping and characterization-A Review. Agricultural Reviews 36(1):25. DOI: <https://doi.org/10.5958/0976-0741.2015.00002.1>.
- Sanchez, E; Herrera, S; Suárez, C; Gavilánez, F; Valarezo, N; España, P. 2023. Monitoreo de insectos plaga mediante SIG aplicados al cultivo de *Oryza sativa* L. en Naranjal, Ecuador. Manglar 20(1):59-67. DOI: <https://doi.org/10.57188/MANGLAR.2023.007>.
- Sendaples. 2013. Estándares de información geográfica: Políticas Nacionales de Información Geoespacial. Quito, Ecuador, Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. p. 1-23.
- Shreyas, R; Padmaja, B; Adithya, HB; Sunil, MP. 2019. Autonomous Ground Vehicle for Agricultural Applications. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies 26:200-206. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-03146-6_20.
- Slocum, TA; McMaster, RB; Kessler, F; Howard, HH. 2010. Thematic Cartography and Geovisualization. 3 ed. New Jersey, United States, Pearson Prentice Hall. 1-561 p.
- Thorp, KR; Hunsaker, DJ; French, AN; Bautista, E; Bronson, KF. 2015.

Integrating geospatial data and cropping system simulation within a geographic information system to analyze spatial seed cotton yield, water use, and irrigation requirements. *Precision Agriculture* 16(5):532-557. DOI: <https://doi.org/10.1007/S11119-015-9393-X/METRICS>.

Toscano, P; Castrignanò, A; Di Gennaro, SF; Vonella, AV; Ventrella, D; Matese, A. 2019. A Precision Agriculture Approach for Durum Wheat Yield Assessment Using Remote Sensing Data and Yield Mapping. *Agronomy* 2019, Vol. 9, Page 437 9(8):437. DOI: <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY9080437>.

Yáñez, M; Espinoza, E; Pereira, F; Ruiz, K. 2020. Determinación y mapificación de la fertilidad mediante los sistemas de información geográfica (SIG), de los suelos cantón Machala provincia de el Oro. *RECIAMUC* 4(2):94-114. DOI: [https://doi.org/10.26820/RECIAMUC/4.\(2\).ABRIL.2020.94-114](https://doi.org/10.26820/RECIAMUC/4.(2).ABRIL.2020.94-114).

Zhao, W; Li, T; Qi, B; Nie, Q; Runge, T. 2021. Terrain Analytics for Precision Agriculture with Automated Vehicle Sensors and Data Fusion. *Sustainability* 2021, Vol. 13, Page 2905 13(5):2905. DOI: <https://doi.org/10.3390/SU13052905>.

3.4. ANEXOS

Anexo 1. Sistema de información geográfica



Elaborado por Garcia *et al.* (2020)

Anexo 2. Componentes del SIG



Elaborado por Brayan Franco

Anexo 3. Mapeo de rendimiento



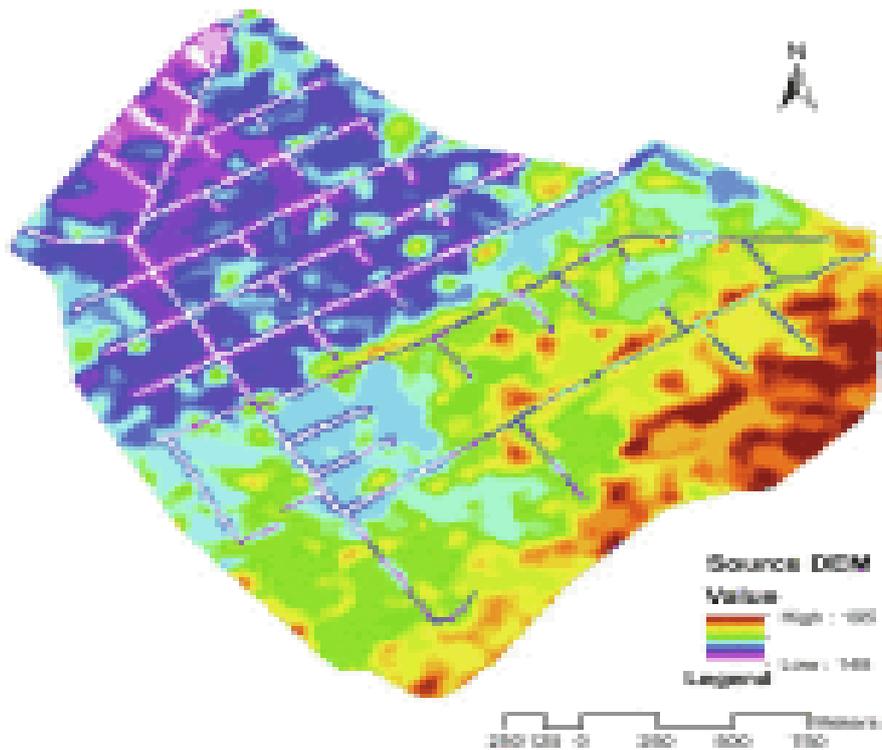
Elaborado por (Lelong *et al.* 2008)

Anexo 4. Monitoreo de insectos



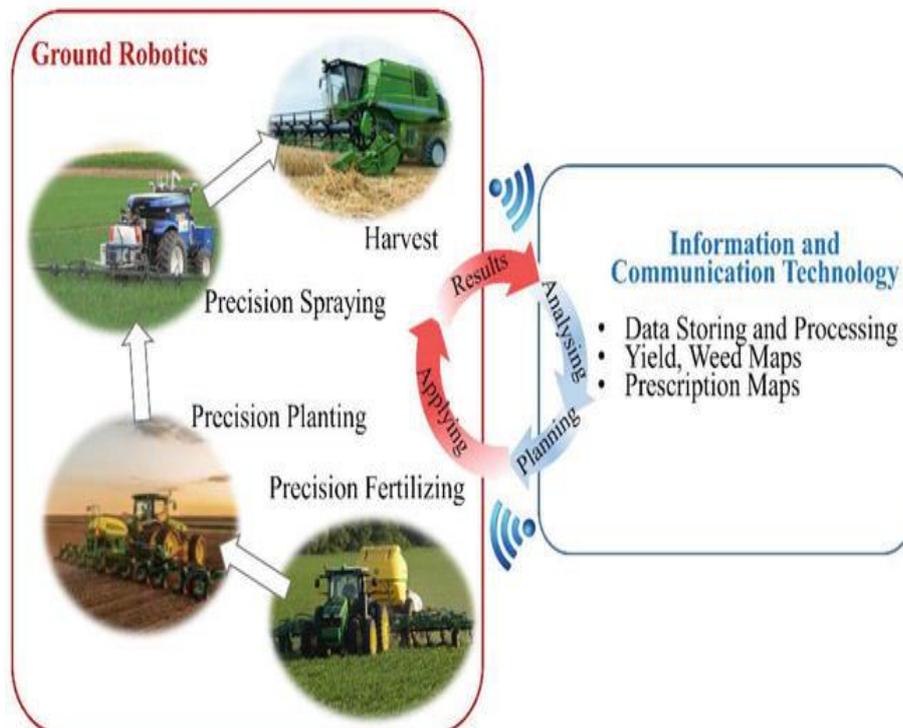
Elaborado por (Preti *et al.* 2021).

Anexo 5. Evaluación de recursos hídricos por mapeo



Elaborado por (kushwaha *et al.* 2022)

Anexo 6. Ciclo de la agricultura de precisión



Elaborado por Shreyas *et al.* (2019).