

**AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN EL MUNDO Y EN COLOMBIA: REVISIÓN
BIBLIOGRÁFICA**

LEIDY JOHANNA RODRIGUEZ GONZALEZ



**Universidad del Valle
Facultad de Ingeniería
Escuela de Recursos Naturales y del Ambiente – EIDENAR
Programa Ingeniería Agrícola
Santiago De Cali**

2020

AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN EL MUNDO Y EN COLOMBIA: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Proyecto de grado presentado para Optar al Título de
Ingeniera Agrícola

**DIRECTORA
OLGA LUCÍA BAQUERO MONTOYA**



**Universidad del Valle
Facultad de Ingeniería
Escuela de Recursos Naturales y del Ambiente – EIDENAR
Programa Ingeniería Agrícola
Santiago De Cali**

2020

Nota de Aceptación:

Aprobado por el comité de trabajo de grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Escuela de Ingeniería Agrícola de la Universidad del Valle, para optar el título de Ingeniera Agrícola.

OLGA LUCÍA BAQUERO MONTOYA
Directora del Proyecto

AGRADECIMIENTOS

Agradezco sinceramente a la profesora Olga Lucía Baquero, por depositar su confianza, apoyo y respaldo en mí y este proyecto. También, agradezco a María Fernanda Velásquez (Mafe) por su soporte, interés, paciencia y colaboración en todos los procesos relacionados a los tramites académicos.

Un franco agradecimiento a todos mis familiares, amigos, compañeros, profesores y a la comunidad universitaria en general, quienes de alguna forma aportaron a la evolución y progreso de mis estudios de pregrado y el desarrollo de este trabajo de grado.

Índice

Índice.....	5
Índice de tablas	8
Índice de imágenes.....	9
Abreviaciones	10
Glosario.....	12
Resumen.....	17
1. Introducción	18
2. Objetivos	19
2.1. Objetivo general.....	19
2.2. Objetivos específicos	19
3. Marco teórico	19
3.1. Agricultura	19
3.1.1. Evaluación del terreno y su entorno.....	19
3.1.2. Preparación del terreno	19
3.1.3. Sistemas de riego y drenaje.....	20
3.1.4. Siembra	20
3.1.5. Manejo y control del cultivo	20
3.1.6. Cosecha	20
3.2. Agricultura de precisión.....	21
3.2.1. Recolección de datos.....	21
3.2.2. Interpretación de datos	21
3.2.3. Toma de decisión y aplicación.....	21
3.3. Modelos conceptuales de la agricultura de precisión	21

4.	Agricultura de precisión.....	23
4.1.	Herramientas y tecnologías.....	24
4.1.1.	Tecnologías de dosis o tasa variable	24
4.1.1.1.	Manejo de sitio específico	25
4.1.1.2.	Tecnologías de tasa variable en la agricultura de precisión	25
4.1.2.	Sensores remotos	27
4.1.2.1.	Plataformas y sensores.....	27
4.1.2.2.	Sensores remotos y la agricultura de precisión	28
4.1.3.	Herramientas geoespaciales y tecnologías de la información y la comunicación ..	32
4.1.3.1.	Geoestadística.....	32
4.1.3.2.	Tecnología de la información y la comunicación.....	32
4.1.3.3.	Sistemas de información geográfica.....	33
4.1.3.4.	Introducción de los sistemas de información geográfica a la agricultura de precisión	34
4.1.4.	Monitores de rendimiento	36
4.1.4.1.	Mapas de rendimiento	37
4.1.4.2.	Aportes de los monitores de rendimiento a la agricultura	38
4.1.5.	Sistemas de navegación global por satélites	40
4.1.5.1.	Los sistemas de navegación global en la agricultura.....	41
4.1.6.	Gestión eficiente del agua.....	43
4.2.	Desarrollos y avances de la agricultura de precisión	44
4.2.1.	Agricultura de precisión en el mundo	45
4.2.1.1.	Agricultura de precisión en Latinoamérica	47
4.3.	Agricultura de precisión en Colombia	48

4.4. La Agricultura de precisión en el futuro	52
5. Resultados y discusiones.....	53
6. Conclusiones	54
7. Recomendaciones	55
8. Estudios futuros	55
Bibliografía	56

Índice de tablas

Tabla 1. <i>Participación de las VRT en la AP</i>	26
Tabla 2. <i>Participación de los sensores remotos en la AP</i>	29
Tabla 3. <i>Participación de los SIG en la AP</i>	35
Tabla 4. <i>Participación de los monitores de rendimiento en la AP</i>	39
Tabla 5. <i>Participación de los GNSS en la AP</i>	42
Tabla 6. <i>Herramientas de la AP en los sistemas de riego y drenaje.</i>	43
Tabla 7. <i>Proyectos e investigaciones en torno a la AP en Colombia</i>	48

Índice de imágenes

Imagen 1. Ilustración de la integración del sensor remoto, Sistemas de Información Geográfico (SIG) y Sistema de Posicionamiento Global (GPS), para aplicaciones de la AP. [Adaptación personal]. Tomado de (Brisco et al., 1998).....	23
Imagen 2. Fases de la Agricultura de precisión. [Adaptación personal]. Tomado de (de Carvalho-Pinto et al., 2007).	24
Imagen 3 Diversas plataformas y sensores utilizados para la teledetección. [Adaptación Personal]. Tomado de (Yamazaki & Liu, 2016).....	28
Imagen 4 Un SIG como una superposición de capas. [Adaptación Personal]. Tomado de (J. E. Campbell & Shin, 2012)	33
Imagen 5 Sensores de Rendimiento. [Adaptación Personal]. Tomado de (Agroing, 2012).....	36
Imagen 6 Mapa de rendimiento producido en formato recomendado. [Adaptación Personal]. Tomado de (Blackmore, 2003)	38
Imagen 7 Ejemplos de patrones de tráfico de campo que pueden seguir un vehículo equipado con GNSS. Cada patrón se caracteriza por una alineación de puntos con coordenadas geográficas conocidas. [Adaptación personal]. Tomado de (Ikokou, 2013).	41

Abreviaciones

Abreviatura	Significado
AP	Agricultura de Precisión
BANATURA	Programa de Gestión Social y Ambiental del Sector Bananero Colombiano
BPA	Buenas Prácticas Agrícolas
CENICAÑA	Centro de Investigación de la Caña De Azúcar de Colombia
CENIPALMA	Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite,
CGIS	Canada Geographic Information System
CIAT	Centro Internacional de Agricultura Tropical
CORPOICA	Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria
CVF	Cubierta de Vegetación Fraccional
CVI	Índice De Vegetación De Clorofila
DGPS	Differential Global Positioning System
DoD	Department of Defence
ECa	Conductividad Eléctrica Aparente
ET	Evapotranspiración
fAPAR	Fracción De La Radiación Fotosintéticamente Activa
FVC	Fracción De Suelo Cubierta Por Vegetación
GLONASS	Global Navigation Satellite System, Russia
GNSS	Global Navigation Satellite System
GNSS-R	Global Navigation Satellite Systems—Reflectometry
GPS	Sistema De Posicionamiento Global
IAF	Índice de Área Foliar
IC	Índice de Cosecha
INTA	Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
IoT	Internet de las Cosas
IOUT	El Internet De Las Cosas Subterráneas
IR	Infra Red - Infrarrojo
IRNSS	Indian Regional Navigation Satellite System
ITM	Instituto Tecnológico Metropolitano
LAI	Leaf Area Index
MARDI	Malaysian Agricultural Research and Development Institute
MR	Monitores de Rendimiento
NDVI	Índice de Vegetación de Diferencial Normalizada
OGC	Open Geospatial Consortium
PNT	Positioning, Navigation, and Timing
PUJ	Pontificia Universidad Javeriana
QZSS	Quasi-Zenith Satellite System
RH	Humedad Relativa

RTK	Real Time Kinematic - Cinemática En Tiempo Real
SENA	Servicio Nacional de Aprendizaje
SIG	Sistemas de Información Geográfica
SR	Sensores Remotos
TIC	Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
UAS	Unmanned Aerial Systems - Sistemas Aéreos No Tripulados
UdeA	Universidad de Antioquia
UMNG	Universidad Militar Nueva Granada
UNAD	Universidad Abierta y a Distancia
UNAL	Universidad Nacional de Colombia
UNICAUCA	Universidad del Cauca
UNILLANOS	Universidad de los Llanos
UPTC	Universidad Pedagógica y Tecnológica De Colombia
USCO	Universidad Surcolombiana
USTA	Universidad Santo Tomás
VI	Índice De Vegetación
VNIR	Visible Near Infrared Reflectance
VRT	Tecnologías de Tasa Variable
WSN	Wireless Sensor Network (Red de Sensores Inalámbricos)

Glosario

Termino	Definición
<i>Agricultura Extensiva</i>	Sistema agrícola empleado en amplias áreas de producción donde se usan las características de sus recursos naturales para la obtención de productos.
<i>Agricultura Intensiva</i>	Sistema agrícola desarrollando en espacios pequeños y controlados, donde se utilizan tanto recursos artificiales como naturales para obtener un mayor rendimiento a corto plazo.
<i>Agricultura tradicional</i>	Agricultura que usa métodos provenientes de prácticas y conocimientos indígenas que respetan el medio donde se emplee y sus recursos.
<i>Agrosilvicultura</i>	Integración de la agricultura y la silvicultura para aumentar la productividad o la sostenibilidad del sistema agrícola.
<i>Banderillero Satelital</i>	Herramienta que, con ayuda del GPS y una pantalla digital, guía al conductor del vehículo agrícola para seguir y permanecer sobre una línea de aplicación predeterminada.
<i>Biofertilizantes</i>	Fertilizantes hechos con material biológico como los residuos vegetales, bacterias y microorganismos.
<i>Biomasa</i>	Material orgánico contenido en un ecosistema o área específica.
<i>Brillo solar</i>	Indicador de luz del sol directa sobre un área, cuya medida se maneja con unidades de tiempo las cuales se toman desde el amanecer hasta el atardecer.
<i>Bucólica</i>	Hace referencia a la vida en el campo.
<i>Buenas prácticas agrícolas</i>	Sistema de producción agrícola que promueve el manejo inteligente de los recursos, la sostenibilidad, conservación y respeto del medioambiente; además, la salud y bienestar de los animales y personas.
<i>Cobertura del Suelo (Landcover)</i>	Descripción de la cantidad presente de árboles, pasto, plantas en general, rocas, además de estructuras modificadas por el hombre, en la superficie del suelo.
<i>Coeficiente del Cultivo</i>	Parámetro que indica la cantidad de agua superficial que consume el cultivo considerando la evapotranspiración.
<i>Conductividad Eléctrica del Suelo</i>	Medida de la cantidad de sales que contiene el suelo mediante su capacidad para conducir electricidad.

<i>Conductividad Hidráulica del Suelo</i>	Velocidad con la que un flujo de agua se mueve a través del suelo; también, se conoce como capacidad de infiltración del suelo.
<i>Cubierta de Vegetación Fraccional (FVC)</i>	Cantidad de vegetación vertical - hojas, ramas, tallos - por unidad de área en una superficie determinada.
<i>Cultivos Hidropónicos</i>	Son aquellos cultivos donde el suelo se sustituye por soluciones acuosas, arcilla, fibras vegetales como el coco o cualquier otro medio nutritivo para las plantas.
<i>Densidad Aparente</i>	Indicador de porosidad, capacidad de aireación y drenaje del suelo.
<i>Drenaje</i>	Acción de sacar la cantidad de agua que sobra de un terreno considerando las propiedades del suelo y su entorno.
<i>Ecosistema</i>	Entorno físico de interacción y/o convivencia de animales, plantas y otros seres vivos.
<i>Edafoclimático</i>	Hace referencia al suelo y Clima.
<i>Evapotranspiración</i>	Perdida de agua que fluye sobre la superficie del suelo y la transpiración de las plantas.
<i>Exactitud</i>	Nivel de una medición más cercano al valor verdadero de la cantidad medida.
<i>Fertilizar</i>	Acción de nutrir el suelo con material orgánico o inorgánico, natural o sintético, con el fin de ayudar al crecimiento de las plantas.
<i>Forraje</i>	Parte comestible de la planta, además del fruto, que en su mayoría se encuentra cerca de la superficie del suelo.
<i>GeoConcept</i>	Es un SIG que permite controlar objetos geográficos representados en un plano, a los que se asocian datos con atributos.
<i>Georreferenciar</i>	Termino que se le da a la relación entre las coordenadas de un mapa o imagen con las coordenadas puntuales del mundo real.
<i>Grilla</i>	Subdivisión de un terreno en unidades más pequeñas con el propósito de estudiar las características del suelo.
<i>Hierba Mala</i>	Plantas no deseadas que crecen en un cultivo.
<i>Humedad relativa</i>	Relación entre la cantidad de vapor de agua presente en el aire y la que el aire mantendría en un punto de saturación a la misma temperatura.

<i>Índice de Vegetación Normalizada (NDVI)</i> <i>Índice de Área Foliar (LAI)</i>	Indicador de salud de las plantas considerando la biomasa. Área total de la superficie superior de las hojas por área de unidad de terreno que se encuentre directamente debajo de la planta.
<i>Infiltración</i>	Introducción del agua al suelo por medio de poros o agujeros.
<i>IoT</i>	Integración del internet con objetos cotidianos de forma interactiva como cámaras, sensores, teléfonos, televisores, etc.
<i>IOUT</i>	Sensores y dispositivos de comunicación, enterrados parcial o completamente bajo tierra para la detección y monitoreo del suelo en tiempo real.
<i>Irrigar o Riego</i>	Suministrar agua al suelo con propósitos agrícolas; termino que también se aplica a la acción de regar.
<i>Labranza</i>	Preparar el suelo para la siembra.
<i>Lisímetro</i>	Instrumento para conocer el balance hídrico del suelo.
<i>Materia Orgánica</i>	Materia proveniente de los residuos de organismos vegetales o animales que estuvieron vivos.
<i>Microorganismos</i>	Organismos diminutos que pueden ser vistos solamente por medio de un microscopio.
<i>Modelo</i>	Representación de una situación hipotética en estudio, resultado de un conjunto de ecuaciones matemáticas, un programa informático o cualquier otro tipo de representación.
<i>Morfología</i>	Forma, configuración y estructura de las partes de las plantas y de las plantas completas.
<i>Muestreo</i>	Recolección de muestras representativas de suelo de un terreno determinado con el fin de estudiar y analizar sus propiedades.
<i>Paisaje</i>	Características propias de un espacio geográfico acorde a su composición biológica, ambiente físico y huellas resultantes de la presencia humana.
<i>Patógeno</i>	Microorganismos, virus y parásitos que causan enfermedades.
<i>Pedología</i>	Estudio del suelo en su estado natural.
<i>Percolación</i>	Movimiento del agua a través del suelo.

<i>Plaga</i>	Termino que se le da a todo aquel organismo que causa enfermedad o daño masivo a otro organismo vivo.
<i>Plaguicida</i>	Cualquier sustancia que ayude a prevenir, proteger, eliminar o reducir todo aquello que se le considere una enfermedad o plaga.
<i>Plántula</i>	Toda aquella planta joven o pequeña.
<i>Precipitación</i>	Agua que cae sobre la superficie terrestre en forma de lluvia, llovizna, nieve, agua nieve y/o granizo.
<i>Precisión</i>	Coincidencia entre valores numéricos de dos o más mediciones realizadas de una misma forma.
<i>Productividad</i>	Eficiencia con la que los insumos se transforman en productos.
<i>Propiedades Físicas del Suelo</i>	Cantidad de elementos físicos que describen una serie de características del suelo como textura, estructura, color, permeabilidad, porosidad, drenaje, consistencia, profundidad, etc.
<i>Propiedades Químicas del Suelo</i>	Serie de indicadores que caracterizan químicamente el suelo como el pH, conductividad eléctrica, intercambio catiónico y aniónico.
<i>Radiación</i>	Energía emitida por el sol a través de ondas.
<i>Reflectancia Foliar</i>	Proporción de la luz irradiada que es reflejada por la hoja de la planta.
<i>Regresión</i>	Procedimiento estadístico para calcular la relación entre distintas variables.
<i>Rendimiento</i>	Relación entre la producción total del cultivo y el área del terreno usada.
<i>Rotación de Cultivos</i>	Sistema de cultivo en el que diferentes productos se plantan en temporadas de cultivo consecutivas para mantener la fertilidad del suelo.
<i>RTK</i>	Sistema de navegación satelital cinético (en movimiento) en tiempo real.
<i>Salinidad</i>	Cantidad de sales minerales solubles en un suelo determinado.
<i>Silvicultura</i>	Formación y cultivo de bosques.

<i>Suelo</i>	Compuesto de minerales inorgánicos (arcilla, lodo y arena), materia orgánica en descomposición, agua, aire y organismos vivos.
<i>Tecnologías blandas</i>	Estas comprenden tecnologías intangibles como gestión del conocimiento, la economía y la política.
<i>Tecnologías duras</i>	Estas comprenden tecnologías tangibles como maquinaria y sensores remotos.
<i>Telecomunicación</i>	Sistema integrado de equipos e instrumentos de comunicación a distancia.
<i>Territorio</i>	Superficie terrestre que pertenece a cualquier forma de división política como un país, departamento, municipio, ciudad o pueblo.
<i>Uso de suelo</i>	Establecer o destinar áreas de tierra o suelo para llevar a cabo cualquier actividad humana o propósito definido.
<i>Variabilidad Espacial</i>	Hace referencia a toda aquella variación del tiempo, clima, topografía, organismos y material geológico fijo, en un espacio o región determinada.
<i>Variabilidad Temporal</i>	Hace referencia a toda aquella variación relacionada con los lapsos de tiempo bien sean diarios, semanales, mensuales, anuales, etc.

Resumen

El propósito de este trabajo es presentar una revisión bibliográfica sistemática de estudios y conceptualizaciones de la agricultura de precisión (AP) y su estado del arte en Colombia; se exponen las principales herramientas y tecnologías que conforman la AP para alcanzar su propósito en la producción. Asimismo, se reconoce que la AP aprovecha los avances tecnológicos para la gestión y toma de decisión, con el fin de obtener un mejor rendimiento de cosecha evitando pérdidas de recursos; además, en la agroindustria colombiana, se rescatan importantes investigación y artículos, enfocados en el estudio del suelo y el manejo por sitio específico de los cultivos. Se concluye que la AP es un instrumento que integra diferentes tecnologías para impulsar la rentabilidad agronómica de forma viable y sustentable; también, que la AP es el resultado de una sobre explotación de recursos producto de la revolución verde, y que la velocidad de su adopción dependerá del capital terrenal, económico y humano; finalmente, los proyectos e investigaciones sobre la AP en Colombia se encaminan a la variabilidad espacial de terrenos destinados a la industria agrícola.

Palabras clave: Agricultura de precisión, sitio específico, información geoespacial, geoestadística, sensores remotos, monitores de rendimiento, gestión y manejo de recursos.

1. Introducción

Gracias a la globalización que genera cada vez más nuevas tecnologías en distintos campos entre ellos el agrícola, se despierta interés en nuestro país por aplicar nuevas prácticas de producción como la agricultura de precisión (AP); la cual, a pesar de su trayectoria en varios países colindantes con Colombia, se considera que no hay claridad sobre su conceptualización, desarrollo y aplicabilidad en el país, generando la necesidad de explorar sobre el tema, empezando por una definición conveniente y la identificación de los diferentes componentes que la constituyen.

De ahí, la curiosidad por conocer, informarse y aclarar inquietudes sobre la AP como una tendencia innovadora en la producción agrícola, la cual es promovida por una previa revisión de investigaciones realizadas por Bongiovanni; quién ha venido desarrollando múltiples estudios sobre cultivos industriales en Argentina y Sudamérica, promoviendo la consulta de otros autores y estudios en relación con el tópico. Donde se entiende la Agricultura de Precisión como la participación recíproca de métodos, procesos y técnicas, que permiten mejorar la producción agrícola de forma controlada, focalizada y rentable; siendo una práctica que integra diferentes tecnologías, con el fin de aumentar el rendimiento agrícola, reducir pérdidas en las fases de producción y optimizar el manejo de los insumos y los recursos naturales como el agua y el suelo (Bongiovanni, 2003). Considerando la participación de diferentes componentes para la recolección de datos, interpretación y toma de decisión, se reconocen las tecnologías de dosis variables, sensores remotos, sistemas de información geográfica, monitores de rendimientos y sistemas de navegación satelital, para alcanzar dichos propósitos y darle el sentido a la AP como una agricultura precisa.

En otras palabras, la necesidad de profundizar en los estudios y avances de la AP y sus componentes, en el mundo y la intervención de estos en la industria agrícola colombiana, promueve una revisión sistemática de estudios y conceptualizaciones. Por ende, el objetivo de esta investigación es recopilar material bibliográfico que aclare el concepto de agricultura de precisión, donde se plantearán los principales componentes que la conforman para alcanzar su propósito en la producción; asimismo, estar al tanto de sus enfoques, comprender su evolución en el tiempo y reconocer su participación en Colombia.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Elaborar una revisión bibliográfica de la agricultura de precisión y su participación en la agricultura colombiana.

2.2. Objetivos específicos

- 2.2.1. Caracterizar las herramientas y tecnologías que constituyen la agricultura de precisión.
- 2.2.2. Identificar el desarrollo y avances de la agricultura de precisión en el mundo.
- 2.2.3. Realizar un resumen bibliográfico de la agricultura de precisión en Colombia.

3. Marco teórico

3.1. Agricultura

Se define la agricultura como “el arte y la ciencia de cultivar el suelo, producir vegetales y criar ganado” (Dunn, 1989), integrando recursos naturales, insumos de producción, personas y maquinaria (QLD Farmers’ Federation, 2016). En el momento de formalizar un proyecto agrícola, se debe hacer una planeación de este considerando índoles económicas, sociales, naturales, tecnológicas, etc.; una vez se tenga un plan solido se siguen procesos de evaluación del terreno, preparación del terreno, elaboración de sistemas de riego y drenaje, siembra, manejo y control del cultivo, y la cosecha.

3.1.1. Evaluación del terreno y su entorno

Antes de iniciar un proyecto agrícola es importante realizar investigaciones previas del lote, considerando los antecedentes del área a cultivar; evaluando las condiciones climatológicas como la precipitación, temperatura, humedad relativa, radiación y brillo solar; y estudiando las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, por ejemplo, análisis de infiltración, conductividad hidráulica, densidad aparente, salinidad, acidez, nutrientes, materia orgánica y microorganismos (Bustamante Muñoz, 1986)(Red de BPA, 2015).

3.1.2. Preparación del terreno

Es la adecuación del predio agrícola, que empieza por salvaguardarlo de inundaciones, con el fin de evitar pérdidas de producción, proteger las actividades agrarias e infraestructuras, y prevenir la contaminación dentro y fuera del sistema agrícola; seguido de la limpieza o desmonte del área,

nivelación, diseño de canales de drenaje y sistemas de riego, y finalmente, la labranza (Bustamante Muñoz, 1986).

3.1.3. Sistemas de riego y drenaje

Parte del éxito de un proyecto agrícola es el diseño congruente de un sistema de riego que se acople a las demandas de agua del cultivo, considerando la cantidad, ubicación, necesidad y el método de irrigación; dicho sistema es formado por un grupo de instalaciones, técnicas, procesos, fuentes de agua, canales y/o tuberías y conocimiento sobre las características típicas de territorio donde se lleve a cabo, y sobre las plantas protagonistas del cultivo; además, el tipo de riego, es decir, si es por gravedad o superficial, por aspersión, por goteo o subterráneo (Cisneros, 2003).

Conjuntamente, se encuentra el sistema de drenaje, cuya finalidad es conservar los niveles óptimos de humedad y salinidad del suelo quitando los excesos de agua presentes en el campo, para elevar la productividad, la calidad, la actividad orgánica y fertilidad del suelo; y regular el nivel freático, aireación ideal, excesos de sales, contaminación del suelo y prevención del ahogamiento de las raíces de las plantas. Los sistemas de drenaje pueden ser superficiales como los canales o zanjas, también pueden ser subterráneos mediante tuberías y/o mixtos (Cisneros, 2003).

3.1.4. Siembra

En esta etapa, se selecciona y planta la semilla, considerando la calidad de esta, la temperatura, la presencia de plagas, la estructura, el contenido de agua y la concentración de oxígeno en el suelo. Además, se recomienda tener en cuenta la fecha de siembra, densidad de plantación, método y profundidad de siembra, distribución de plantación, fertilización, riego, laboreo, diseño y planeación de rutas vehiculares y, la división y manejo del lote, para garantizar el éxito del proyecto (Villalobos et al., 2009).

3.1.5. Manejo y control del cultivo

Es la evaluación de factores influyentes en el cultivo para la toma de decisión por parte del agricultor en cuanto a entradas, salidas, estructura y función de producción agrícola (Malagón Manrique & Prager Morquera, 2001). Esta fase abarca la fertilización, manejo de malezas, plagas, enfermedades, irrigación y poda (Mardoqueo González, 2005), considerando índices como la radicación solar para estudiar la fotosíntesis y evapotranspiración; velocidad del viento, temperatura, humedad, presión y el coeficiente del cultivo, para comprender el intercambio de materia y energía entre el cultivo y la atmosfera; y la temperatura del suelo, siendo un indicador de contenido de agua, textura y compactación (Villalobos et al., 2009).

3.1.6. Cosecha

Se refleja el resultado de los anteriores pasos, donde se lleva a cabo la recolecta y se evalúa el rendimiento del cultivo según sea la cantidad extraíble de biomasa y/o parte aprovechable de la planta, es decir, el fruto, hojas, tallo y/o raíz; esta operación es definida como el índice de cosecha (IC). En esta etapa se determina la maquinaria adecuada de recolección y manejo de poscosecha,

en otras palabras, la clasificación, limpieza, embalaje y almacenamiento del producto agrícola (Red de BPA, 2015; Villalobos et al., 2009).

3.2. Agricultura de precisión

La Agricultura de Precisión (AP) se define como la gestión de datos para la toma de decisiones en la producción agrícola, como resultado de un proceso cíclico de recopilación de información, diagnósticos, análisis, operaciones agrarias, evaluación de datos, aplicación y planificación (Srinivasan, 2006); manejando Tecnologías de Tasa Variable, geo-estadística, Sistemas de Información Geográfica (SIG), Sensores Remotos, Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) y Sistemas Globales de Navegación por Satélite, entre otras (Gemtos et al., 2011). Para finalmente mejorar la productividad y rentabilidad de los cultivos (Shannon et al., 2018), recurriendo a mapas para el análisis y la planificación (Bernardi et al., 2014).

3.2.1. Recolección de datos

En este punto se acude a la observación, recopilación y obtención de datos a través de medición, imágenes, conteo, muestreo, sensores y equipos, los cuales obtienen la información del suelo, las plantas, enfermedades, plagas, temperatura, fauna y micro-fauna (Bernardi et al., 2014).

3.2.2. Interpretación de datos

El análisis e interpretación del banco de datos es posible gracias a los Sistemas de Información Geográfico, soportado por bases matemáticas y estadística espacial; ya que se encargan de la lectura de archivos, análisis, clasificación, planificación, recomendación y retroalimentación del almacén de información, ofreciendo un soporte de decisiones, análisis topográfico, geoestadístico, agronómico e histórico (Bernardi et al., 2014).

3.2.3. Toma de decisión y aplicación

En este proceso, las interacciones de los procesos anteriores se completan para el suministro de insumos, siembra, fertilización, irrigación y cosecha selectiva (Bernardi et al., 2014), concretando las tres etapas de la AP de recolección, interacción y aplicación, para “hacer lo correcto en el lugar correcto en el momento correcto”(Shannon et al., 2018).

3.3. Modelos conceptuales de la agricultura de precisión

- (Carlson & Ripley, 1997) Explicaron con ayuda de un modelo de interacción radiactiva de vegetación, suelo y atmosfera, el vínculo entre el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI por sus siglas en ingles), Índice de Área Foliar (LAI por sus siglas) y la Cubierta de Vegetación Fraccional (CVF); simulando el NDVI en función del LAI considerando parcialmente la CVF, en caso del que el LAI no sea del 100%. Además, sus cálculos sugieren una relación más confiable entre NDVI y la CVF, pues esta última puede obtenerse fácilmente de sensores satélites de forma precisa.

- (Mouazen & Ramon, 2003) Mapearon la variación espacial de la compactación del suelo utilizando un modelo matemático y parámetros medidos relevantes; ofreciendo al agricultor mapas de compactación de forma rápida y relativamente baratos, que ilustran la ubicación de las zonas de compactación extrema del suelo.
- (Paz Pellat et al., 2005) Proponen la estimación del crecimiento del cultivo empleando información proveniente de sensores capaces de identificar la reflectividad del follaje de las plantas, es decir, el índice de Área Foliar (IAF), separando espectralmente la reflectividad entre el suelo y la vegetación, mediante ecuaciones matemáticas para modelar el espacio espectral del cultivo.
- (Gebhardt & Kühbauch, 2007) Realizaron un análisis espacial de malezas de pastizales mixtos clasificando las hojas considerando la morfología, color y textura; con un algoritmo que organiza automáticamente y con precisión las imágenes digitales del terreno y las hojas de las plantas en colores, considerando la homogeneidad del área y las actividades morfológicas.
- (Hautala & Hakojärvi, 2011) Diseñaron un modelo sencillo del crecimiento de las plantas considerando la radiación solar y el agua que toman; el cual muestra la biomasa óptima y área foliar del cultivo. Este modelo se basa en parámetros físicos, químicos y fisiológicos, en función del tiempo y fases de crecimiento exponencial y lineal; llegando a la conclusión de que los valores simulados resultaron congruentes con los medidos.
- (Ge et al., 2011) Plantean que para obtener el rendimiento óptimo de los cultivos es necesario estudiar las características del suelo, con el fin de calcular la cantidad de insumos que se requieran para alcanzar dicho objetivo. Además, los sensores remotos permiten medir las propiedades agrícolas del suelo como la textura, contenido de carbono orgánico e inorgánico, macro y micronutrientes, contenido de humedad, capacidad de intercambio catiónico, conductividad eléctrica, pH y hierro; de forma ágil, económica, precisa y de alta resolución.
- (Guaus et al., 2013) Evaluaron un modelo simple de balance hídrico del suelo para la predicción de la dinámica del potencial hídrico foliar, con el propósito de usarlo en la toma de decisión para la gestión del agua considerando parámetros del suelo, vegetación, atmósfera y transferencia, apoyando la decisión en la programación y cantidad de riego.

4. Agricultura de precisión

El manejo de los insumos de producción a través de técnicas de gestión basadas en información del sitio específico se define como administración de sitio específico, prescripción agrícola, precisión agrícola o comúnmente, Agricultura de Precisión (Reddy, 2017). Esta gestión es posible gracias a los Sistemas de Posicionamiento, Sensores Remotos o Teledetección, Monitores de Rendimiento, Sistemas de Información Geográfica y Tecnologías de Dosis Variable (Reddy, 2017); cuya participación e interacción de estas herramientas con el campo es posible de reconocer en la siguiente Imagen 1.

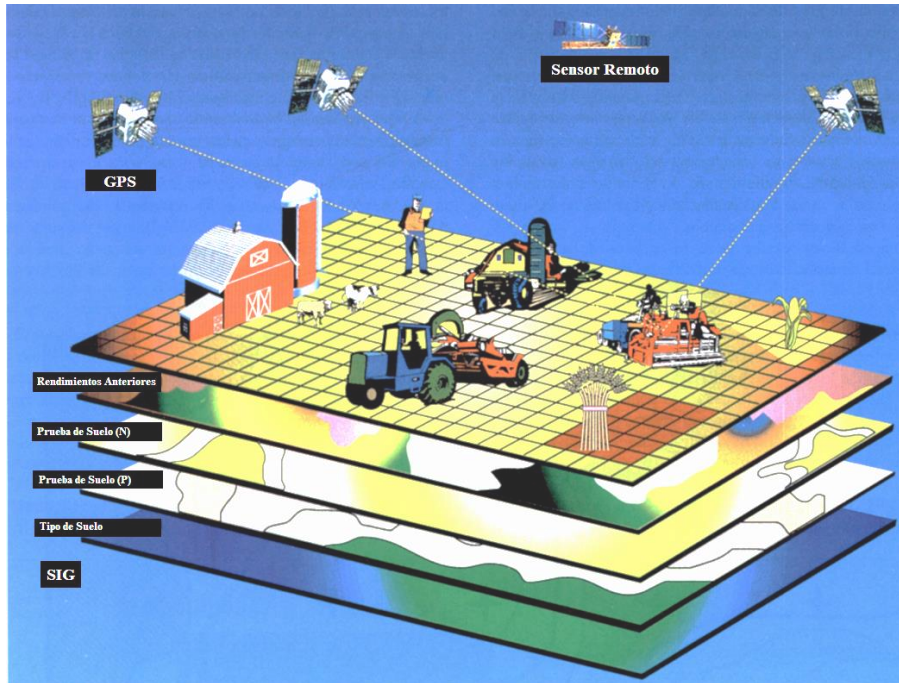


Imagen 1. Ilustración de la integración del sensor remoto, Sistemas de Información Geográfico (SIG) y Sistema de Posicionamiento Global (GPS), para aplicaciones de la AP. [Adaptación personal]. Tomado de (Brisco et al., 1998).

Para empezar, se encuentran los sistemas de posicionamiento, estos ofrecen información sobre la ubicación precisa de la maquinaria, el agricultor y/o el cultivo. Siguiendo, los sensores remotos, quienes a través de imágenes satelitales permiten definir zonas de muestreo y/o manejo, para medir índices de vegetación y productividad. Procediendo, los monitores de rendimiento, que calculan y almacenan el rendimiento, la humedad y cantidad de grano de la cosecha, generando mapas con esta información. Continuando, los sistemas de información geográfica, los cuales brindan datos de producción georreferenciados para la gestión y toma de decisión sobre los recursos. Finalmente, las tecnologías de dosis variable, que emplean la información recolectada por las anteriores tecnologías para suministrar la cantidad adecuada de insumos en el campo (Bongiovanni, 2003).

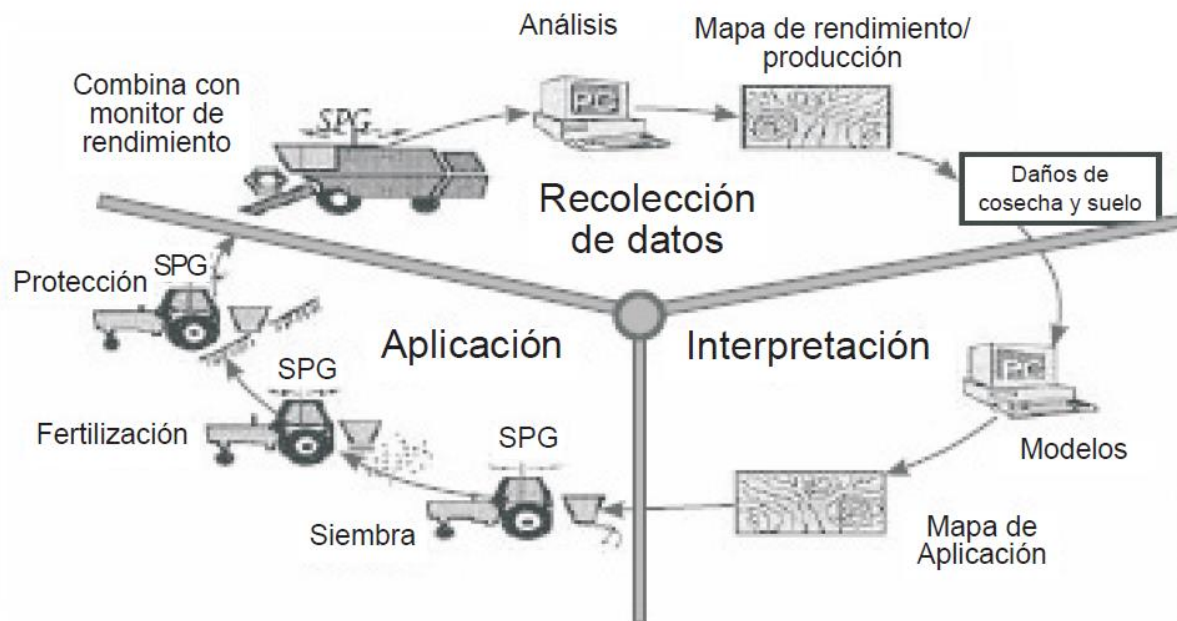


Imagen 2. Fases de la Agricultura de precisión. [Adaptación personal]. Tomado de (de Carvalho-Pinto et al., 2007).

Con estas herramientas, es posible comprender como se desenvuelve la Agricultura de Precisión en un conjunto de fases continuo y repetitivo de recolección, procesamiento e interpretación de datos, para finalmente concluir en la aplicación de insumos de acuerdo con los resultados arrojados por la toma de decisión (Vite C. et al., 2018); cuyo comportamiento se representa en la Imagen 2 como un sistema metódico interactivo entre la maquinaria agrícola, tecnología y campo de producción.

4.1. Herramientas y tecnologías

4.1.1. Tecnologías de dosis o tasa variable

Las Tecnologías de Tasa Variable (Variable-Rate Technology, VRT), tratan de un grupo de mecanismos que ofrecen mejoras en la aplicación de suministros a un lote agrícola, con el fin de potenciar el rendimiento y administración de recursos. La base de las VRT surgió a finales de 1930 con la proporción variable de fertilizantes para preparar el suelo y tratar de mantener sus características homogéneas, con ayuda de pequeños vehículos dotados de equipos rudimentarios de transmisión (Stafford, 2007) (Q. Zhang, 2016); para 1985 dichas máquinas evolucionaron hasta combinar en marcha las mezclas y la tasa de suministro, dando a conocer las primeras VRT (Oliver, 2010).

Las VRT comprenden un mecanismo formado por maquinaria agrícola, un controlador automático de aplicación de producto según se requiera, un sistema de navegación que permita determinar la ubicación del tractor, un controlador de velocidad y contenedores de suministros agrícolas (Monson & Bauer, 1993); sumado a ello, esta una base de datos que este en constante

realimentación de parámetros como las propiedades del suelo, los antecedentes climatológicos e informes de productividad, que son analizados, evaluados y procesados, para la distribución congruente de insumos (Ambuel, 1995).

4.1.1.1. Manejo de sitio específico

Desde el punto de vista agrícola, es el manejo puntual de las propiedades individuales del suelo y el cultivo, teniendo en cuenta el clima y la variabilidad del territorio en el campo, para la plantación y aplicación de insumos (Drysdale & Metternicht, 2003). Apoyándose en la información recopilada por los sistemas de navegación, sensores remotos, monitores de rendimiento y los SIG, ampliando una base de datos que brinda fundamentos confiables para la toma eficiente de decisiones por sitio específico; permitiendo calcular el rendimiento por parcelas, delimitar los campos de acuerdo con la productividad y suministrar fertilizantes, pesticidas y semillas a tasas variables (Atherton et al., 1999).

4.1.1.2. Tecnologías de tasa variable en la agricultura de precisión

Para la agricultura es substancial manejar la aplicación de fertilizantes, pesticidas, agua y semillas en cantidades necesarias, tratando de evitar desperdicios por exceso de material, cuyos residuos se traducen a pérdidas económicas, contaminación del cultivo y agua, degradación del suelo e impacto ambiental negativo. De ahí, la participación de las VRT en la distribución de fertilizantes y suministros, ofreciendo una viabilidad económica donde se logra hacer coincidir las entradas de insumos según la demanda (Murray & Yule, 2007).

Las tecnologías de dosis variables de insumos agrícolas en los distintos cultivos se atribuyen a sembradoras, esparcadoras de fertilizantes y sistemas de riego, para la gestión de nutrientes, malezas y plantación por sitio específico. Esta tecnología previene la distribución uniforme de suministros e incentivan la plantación de semillas por cantidad y ubicación variable, quien a su vez ofrece la posibilidad de sembrar varios cultivos en el mismo espacio (Koch & Khosla, 2003).

Entre algunos de los estudios que exponen el papel de las VRT en la AP se encuentran (Tremblay et al., 2008) quienes compararon el rendimiento de dos sensores comerciales en la aplicación a tasa variable de Nitrógeno en cultivos de maíz y trigo; (Havlin & Heiniger, 2009) desarrollaron una herramienta de soporte de decisión de tasa variable para evaluar rentabilidad e identificar la tasa de aplicación óptima; (Bullock et al., 2009) calcularon tasas de aplicación óptima de nitrógeno e importancia de la información por sitio específico en la adaptación de las VRT; (Chávez et al., 2010a, 2010b) analizaron el rendimiento de un sistema de riego remoto variable; (José Paulo Molin et al., 2010) llevaron a cabo un procedimiento basado en monitores de rendimiento para aplicar fertilizantes a tasa variable en cultivos de café; (Robertson et al., 2012) analizan la adopción de VRT de fertilizantes en la industria de granos en Australia; Finalmente, (Yamin et al., 2016) propusieron un aplicador de fertilizante líquido VRT incluyendo sensores de fertilidad del suelo, sensor de velocidad, válvulas de control de flujo, sensores de flujo y sensor de presión. A continuación, en la Tabla 1, se sintetizan algunos de los trabajos consultados con relación a investigaciones en torno a la intervención de las VRT en la AP.

Tabla 1. Participación de las VRT en la AP

Título	Resumen
Spatial Break-Even Variability for Custom Hired Variable Rate Technology Adoption (Mahajanashetti et al., 1999).	Un modelo teórico identificó los rangos de variabilidad espacial requeridos dentro de los campos de clase de tierra múltiple para la tecnología de tasa variable económicamente viable (VRT) y la variabilidad espacial requerida para el máximo retorno a VRT.
Evaluating management zone technology and grid soil sampling for variable rate nitrogen application (Fleming et al., 2000).	La investigación se realizó para determinar si los mapas de la zona de manejo (MZ) basados en el color del suelo de las fotografías aéreas, la topografía y la experiencia de manejo de los agricultores, pueden ser una alternativa efectiva al muestreo del suelo de la cuadrícula en el desarrollo de mapas de fertilizantes VRT para la aplicación de N. Las zonas de gestión se definieron como subregiones dentro de un campo de alta, media y baja productividad.
Adoption of Variable Rate Technology (Surjandari & Batte, 2003).	Este estudio analiza los factores que influyen en la adopción de VRT para la aplicación de fertilizantes para la producción de granos en Ohio.
Developing variable rate application technology: Modelling annual pasture production on hill country (Murray et al., 2007).	Discutieron algunos de los factores importantes de gobierno que los investigadores anteriores han encontrado, y también comenta sobre las técnicas de modelado utilizadas por otros al intentar modelar la producción anual de pasturas.
VRT Liquid Fertilizer Applicator for Soil Nutrient Management (Yamin et al., 2016).	Proponen un diseño de aplicador de fertilizante líquido VRT que incluye sensores de fertilidad del suelo, sensor de velocidad, válvulas de control de flujo, sensores de flujo y sensor de presión. El diseño considera la compensación variable del flujo de fertilizante con un cambio en la velocidad de avance de la máquina; además, ofrece la transferencia de datos del controlador electrónico a la computadora externa para el registro y las pruebas de rendimiento de la máquina al calcular los tiempos de retraso de las válvulas de control de flujo y el error de aplicación de la máquina.
Computer and Computing Technologies in Agriculture IX (Li & Lin, 2015)	Es un libro que maneja temas sobre la teoría y las aplicaciones de todo tipo de tecnología en la agricultura, incluyendo: modelos inteligentes de tecnología de detección, monitoreo y control automático; la tecnología clave y el modelo de Internet de las cosas; tecnología de equipos inteligentes agrícolas; visión por computador; gráficos por ordenador y realidad virtual; simulación, optimización y modelado por computadora; computación en la nube y aplicaciones agrícolas; macro-datos agrícolas; sistemas de apoyo a la toma de decisiones y sistema experto; Tecnología 3s y agricultura de precisión; la calidad e inocuidad de los productos agrícolas; tecnología de detección y rastreo; y tecnología de comercio electrónico agrícola.

Nota. La anterior tabla muestra un resumen de algunos selectos documentos relacionados con el aporte que hacen las VRT y a fin, al campo agrícola.

4.1.2. Sensores remotos

Los sensores remotos (SR) son instrumentos diseñados para la recolección de datos a distancia; es decir, aprovecha las emisiones electromagnéticas de la superficie de la tierra para monitorear su respectivo comportamiento (J. B. Campbell & Wynne, 2011). Durante la primera y segunda guerra mundial se desarrollaron los primeros sensores remotos aerotransportados que permitían realizar registros aéreos valiosos para un reconocimiento, levantamiento, mapeo y vigilancia militar de un terreno específico (Dwivedi, 2017).

En la década de 1950 el uso de sensores remotos empezó a desprenderse de objetivos exclusivamente militares, y comenzó a dirigirse a gubernamentales y civiles; como ejemplo de ello se encuentra el uso de sensores de película infrarroja para estudiar las condiciones de los cultivos de cereales de grano pequeño. Después, en los 1960s se empezaron a elaborar proyectos ambiciosos como el lanzamiento del primer satélite meteorológico, marcando el punto de partida del estudio a una mayor distancia de la superficie terrestre. En 1972, se lanza el primer satélite en órbita del planeta tierra, Landsat, cuyo propósito es monitorear amplias áreas de la tierra de forma continua, sistemática y digital. A principios de la década de 1980, evolucionan los sensores remotos generando imágenes digitales a detalle del planeta, mediante sensores hiperspectrales; lo que permitió que a partir de 1990 el uso civil de los sensores remotos se incrementara, impulsando el lanzamiento de Terra-1, el primer satélite en ofrecer una cobertura global de los cambios de la naturaleza y de los ecosistemas del planeta tierra. Finalmente, para el siglo XXI se implementa a esta herramienta el Internet, el cual permite un acceso público a las imágenes satelitales de forma práctica, recíproca, didáctica y eficaz. Con el lanzamiento de Google Earth en 2005, llega una representación mundial virtual geográfica, que puede y es aprovechada por casi cualquier usuario con un conocimiento básico (J. B. Campbell & Wynne, 2011).

4.1.2.1. Plataformas y sensores

El registro a distancia de los acontecimientos ocurridos en la superficie terrestre se rige por varias plataformas y sensores, algunos de ellos representados gráficamente en la Imagen 3. Las *plataformas* son bases fijas o móviles donde se sitúan los sensores; la ubicación de dichas bases depende de la zona o lugar que se desee estudiar o monitorear, y además también, depende de las mediciones que se pretendan hacer. Entre las plataformas fijas se encuentran las torres, edificios altos y/o andamios; en cuanto a las móviles están las plataformas aerotransportadas por aviones, globos, helicópteros, drones (vehículos aéreos no tripulados o UAV por sus siglas en inglés), cohetes, etc. Dentro de las plataformas móviles se encuentran las espaciales, quienes se sitúan en satélites que aprovechan las órbitas cercanas a la tierra y las órbitas geoestacionarias; siendo las primeras aquellas entre 600 o 2000 km de distancia del suelo, permitiéndose así completar la órbita en un periodo estimado de 100 minutos; mientras que las geoestacionarias, son aquellas que se encuentran a alturas de 35.786 km aproximadamente, permitiendo que el periodo de los satélites coincida intencionalmente con un día sideral, dando la impresión de que el satélite se encuentra en el mismo punto con respecto a un receptor ubicado en la superficie de la tierra (Dwivedi, 2017).

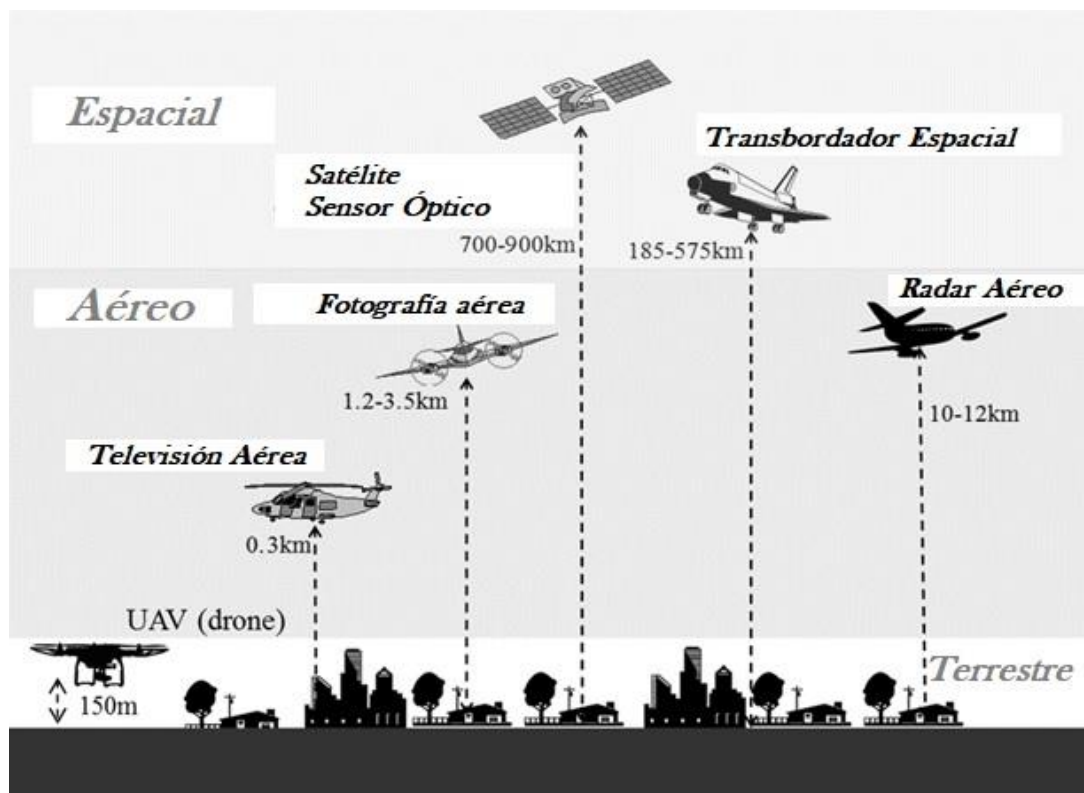


Imagen 3 Diversas plataformas y sensores utilizados para la teledetección. [Adaptación Personal]. Tomado de (Yamazaki & Liu, 2016)

En cuanto a los *sensores*, son los encargados de medir las radiaciones electromagnéticas de la superficie, los cuales dependiendo de sus métodos se clasifican en activos y pasivos. Siendo los activos aquellos que emiten por sí mismos pulsos de energía, mientras que los pasivos aprovechan los generados por la tierra y/o el sol. Existen diversos tipos de sensores, entre ellos encontramos los *sensores ópticos* quienes reciben y analizan las radiaciones a través de tecnologías ópticas como las cámaras fotográficas, de video, radiómetros (medidor de intensidad electromagnética) y escáneres electro-ópticos; continuando, los *sensores de microondas*, que capturan o producen las microondas del espectro electromagnético para recopilar información de un área; los *Light Detection and Ranging* ó *LIDAR*, quienes emiten una luz ultravioleta, visible o infrarroja, dirigida hacia un cuerpo sobre la superficie para medir el tiempo y la cantidad de energía que se dispersa desde él (Dwivedi, 2017).

4.1.2.2. Sensores remotos y la agricultura de precisión

Los sensores remotos juegan un papel importante en la agricultura de precisión, gracias a esta herramienta es posible el manejo de suelos, cultivos y plagas; empezado con indicadores infrarrojos, quienes logran medir índices del área foliar (LAI), biomasa, contenido de clorofila y/o contenido de nitrógeno, entre otros. De manera que los sensores remotos contribuyen a la AP con datos de rendimiento de los cultivos, nutrientes, estrés hídrico, infestaciones de malezas, plagas y condiciones del suelo (Mulla, 2013).

Siguiendo con la teledetección óptica, que permite hacer modelos de crecimiento de cultivos donde se asignan parámetros fisiológicas de la planta (LAI, biomasa, clorofila y contenido de agua) a valores medidos de reflectividad; con el fin de estudiar la variabilidad espacial de un terreno, el ciclo de fertilización y nitrógeno del cultivo, entre otros (Bach et al., 2003).

Continuando con los sistemas aéreos no tripulados (UAS), los cuales hacen un aporte significativo en seguimiento de evolución y desarrollo del cultivo, ya que de estos instrumentos se obtiene mediciones del índice del área foliar, la altura de la planta y la cubierta de vegetación fraccional, parámetros que permiten cuantificar indicadores de crecimiento y rendimiento de la planta. A diferencia de las otras plataformas de Sensores Remotos, los UAS ofrecen resoluciones propicias para pequeñas parcelas o sitios específicos (Shafian et al., 2018).

Prosiguiendo, las imágenes satelitales (LANDSAT), con las cuales es posible calcular la evapotranspiración (ET) mediante un balance de energías; además brindan datos para delimitar un área cultivada. Por último, Sensores térmicos para calcular la temperatura de la superficie del suelo y la vegetación de un campo (Ruiz et al., 2017). En conclusión, en la Tabla 2 se exponen algunos informes desarrollados en distintos países enfocados en los aportes que han hecho y hacen los sensores remotos a los proyectos agrícolas.

Tabla 2. Participación de los sensores remotos en la AP

Título	Resumen
Sun-induced fluorescence - a new tool for precision farming (Maier & Günther, 2001).	El objetivo de este trabajo es presentar una nueva técnica de teledetección que permita controlar la fluorescencia de clorofila inducida por el sol, de la vegetación verde superpuesta a los espectros de reflectancia; esta técnica utiliza la característica de absorción espectral del oxígeno atmosférico que se ajusta mejor a la longitud de onda de la fluorescencia de clorofila que la línea de absorción de Fraunhofer.
A Review on Remote Sensing of Weeds in Agriculture (Thorp & Tian, 2004).	Discuten sobre la interacción irradiante de la luz en las copas de las plantas y el efecto del fondo variable del suelo sobre la respuesta espectral del dosel. Además, presentan las técnicas actuales para la eliminación de los efectos del suelo, incluidos los índices de vegetación y el análisis de mezclas espectrales, muestra que estas técnicas no se han desarrollado adecuadamente para su uso en aplicaciones de detección de malezas basadas en sensores remotos.
Wireless sensor networks in precision agriculture (Baggio, 2005).	Presentó la configuración inicial del proyecto Lofar Agro que se concentra en el monitoreo de microclimas en un campo de cultivo. Además del experimento agronómico, Lofar Agro tiene como objetivo recopilar estadísticas sobre la propia red de sensores inalámbricos.
Estimación de parámetros biofísicos de vegetación utilizando el método de la cámara hemisférica (Martínez et al., 2006).	En este trabajo abordó el problema de la estimación in-situ de los principales parámetros biofísicos de la cubierta vegetal, LAI, FVC y fAPAR, a partir de la fracción de huecos en la cubierta obtenida mediante el procesamiento digital de las fotografías hemisféricas.

Título	Resumen
Colour based detection of volunteer potatoes as weeds in sugar beet fields using machine vision (Nieuwenhuizen et al., 2007).	Este artículo analiza una técnica basada únicamente en colores para detectar plantas de papa en campos de remolacha azucarera mediante visión artificial; con un método basado en un proceso de clasificación de píxeles de la imagen y las plantas de ese campo.
Digital infrared thermography for monitoring canopy health of wheat (Lenthe et al., 2007).	Este estudio tuvo como objetivo probar el uso de un sistema de termografía IR de imágenes como una herramienta para monitorear las condiciones microclimáticas que promueven la incidencia y la gravedad de las enfermedades dentro de los campos de trigo.
Delineation of vine parcels by segmentation of high resolution remote sensed images (Da Costa et al., 2007).	Propuesta de un nuevo algoritmo para la segmentación de los viñedos basados en imágenes de alta resolución con sensores remotos; este algoritmo tiene en cuenta las propiedades de textura de las imágenes, permitiendo discriminar entre píxeles de campo de viñedo y no viñedo.
Development of an agricultural crops spectral library and classification of crops at cultivar level using hyperspectral data (Rao et al., 2007).	Desarrollo de una biblioteca espectral para cultivos en la fase de crecimiento utilizando datos de imágenes y mediciones hiperespectrales in situ; también, probar el potencial de la biblioteca para la identificación y clasificación de algunos cultivares importantes de arroz, caña de azúcar, chile y algodón.
Active remote sensing and grain yield in irrigated maize (Inman et al., 2007).	El objetivo de este estudio fue evaluar un instrumento manual de teledetección activa para estimar el potencial de rendimiento en el maíz regado.
A broad-band leaf chlorophyll vegetation index at the canopy scale (Vincini et al., 2008).	Propone una versión optimizada del CVI, donde se tiene en cuenta los diferentes comportamientos espectrales debido a los tipos de cultivo y suelo, la resolución espectral del sensor y el ángulo cenital del sol. Se proporciona una estimación del valor del factor de corrección y del valor de aplicabilidad del índice mínimo de área foliar (LAI) para cada condición considerada.
Determining nugget: sill ratios of standardized variograms from aerial photographs to kriging sparse soil data (Kerry & Oliver, 2008).	Este estudio trabaja en mapas de las propiedades del suelo para la agricultura de precisión, basados en variogramas estimados a partir de muy pocos datos.
Combining chlorophyll meter readings and high spatial resolution remote sensing images for in-season site-specific nitrogen management of corn (Miao et al., 2009).	Análisis de la posibilidad de estimar las lecturas de CM utilizando imágenes de detección remota hiperespectrales y multiespectrales simuladas en diferentes etapas de crecimiento del maíz.
Electrical conductivity mapping for precision farming (Lück et al., 2009).	Realizaron diferentes experimentos tanto en el laboratorio como en el campo para estimar los factores que afectan la conductividad eléctrica, las relaciones entre el empuje directo y las mediciones de superficie; la estabilidad estacional de los patrones de conductividad eléctrica; y, la relación entre el rendimiento de la planta y la electricidad del suelo.
Detection of the tulip breaking virus (TBV) in tulips using optical sensors (Polder et al., 2010).	Evaluaron cuatro técnicas de detección óptica proximal para la detección de TBV en plantas de tulipán y se compararon con una evaluación visual realizada por expertos en cultivos, así como con

Título	Resumen
	un análisis ELISA (inmunoensayo enzimático) de las mismas plantas.
A comparison of three methods for estimating leaf area index of paddy rice from optimal hyperspectral bands (F. Wang et al., 2011).	Este artículo sigue una investigación previa que identificó 15 bandas de ondas hiperspectrales que fueron adecuadas para estimar el índice de área de la hoja de arroz con cáscara.
Development, evaluation, and application of a spectral knowledge base to detect yellow rust in winter wheat (J. Zhang et al., 2011).	Este documento presenta un proceso de correspondencia con una base de conocimiento espectral (SKB), para evaluar la gravedad de la enfermedad con un índice de enfermedad (DI) y los grados de gravedad de la enfermedad. El enfoque propuesto se validó tanto con datos simulados como con datos de campo.
A Review: The Role of Remote Sensing in Precision Agriculture (Liaghat & Balasundram, 2010).	Esta revisión destacó la tecnología de teledetección y describe cómo se puede utilizar como una herramienta eficaz en la agricultura de precisión.
Application of day and night digital photographs for estimating maize biophysical characteristics (Sakamoto et al., 2012).	En este estudio, se aplicó un sistema económico de observación de cámara llamado Sistema de grabación de fenología de cultivos (CPRS), que consiste en una cámara digital en color estándar (cámara RGB) y una cámara digital de infrarrojo cercano (NIR). para estimar el índice de área de hoja verde (LAI), LAI total, biomasa de hoja verde y biomasa seca total de tallos y hojas de maíz.
Airborne multi-spectral imagery for mapping cruciferous weeds in cereal and legume crops (de Castro et al., 2012).	Realizaron una investigación sobre el sensor remoto en siete campos infestados de forma natural ubicados en Córdoba y Sevilla, en el sur de España. Se utilizaron imágenes aéreas multiespectrales y de infrarrojo para evaluar la viabilidad de mapear parches en cultivos de invierno (trigo, habas y guisantes) y comparar la precisión de los diferentes métodos de clasificación supervisados (índices de vegetación, mapeo de máxima probabilidad y ángulo espectral).
The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review (C. Zhang & Kovacs, 2012).	Este estudio habla sobre la aplicación de pequeños sistemas aéreos no tripulados, técnicas y sensores geoespaciales aplicados en la AP, para identificar variaciones en el campo y tratarlas mediante estrategias alternativas.
Assessment of the spatial variability of anthocyanins in grapes using a fluorescence sensor: relationships with vine vigour and yield (Baluja et al., 2012).	Trabajaron la variabilidad espacial en el contenido de pigmentación en las uvas y cuantificar su relación con el vigor y el rendimiento en un viñedo comercial. Se usó un nuevo sensor proximal, manual, no destructivo basado en fluorescencia para monitorear el contenido de antocianinas en las uvas durante el envero y la cosecha.
Low Cost Weather Station for Climate-Smart Agriculture (Tenzin et al., 2017).	En este documento se diseñó e implementó una estación meteorológica en una granja y sus datos meteorológicos se comparan con una estación comercial instalada en la misma granja. Los resultados muestran que el sistema de monitoreo del clima hecho en laboratorio es igualmente eficiente para medir varios parámetros climáticos.

Título	Resumen
Unmanned aerial systems-based remote sensing for monitoring sorghum growth and development (Shafian et al., 2018)	El objetivo de este estudio fue evaluar el rendimiento de un sistema de teledetección basado en UAS para la cuantificación de los parámetros de crecimiento del cultivo de sorgo, incluido el índice de área foliar, la cobertura de vegetación fraccional y el rendimiento.

Nota. Los datos contenidos en esta tabla hacen referencia a experiencias agrícolas de plataformas y sensores remotos, desde el 2001 hasta el 2018 en varios países del mundo.

4.1.3. Herramientas geoespaciales y tecnologías de la información y la comunicación

De la necesidad de analizar el comportamiento de cualquier proceso que compite datos espaciales y la interacción de estos con el medio donde se desenvuelvan, surgen las herramientas geoespaciales con el fin de describir, identificar, determinar y predecir la ubicación, los tipos y la relación entre datos espaciales, es decir, información sobre cualquier característica de un territorio y/o paisaje ubicado en el espacio. Según sea el tipo de datos espaciales, estos se clasifican en datos geoestadísticos, datos en grillas o regiones, y patrones de puntos; siendo el primero con un dominio continuo y fijo, mientras el siguiente cuenta con un dominio discreto y fijo; y el ultimo, con un dominio aleatorio (Benítez, 2010).

4.1.3.1. Geoestadística

La geoestadística es presentada por (Matheron, 1963) como una ciencia orientada hacia la estimación de reservas minerales, la cual se enfoca en el análisis de distribución espacial de valores geológicos de depósitos. Donde el autor considera la necesidad de integrar la estadística clásica con atributos espaciales, contemplando procedimientos previamente propuestos por Krige y Sichel, para elaborar fórmulas matemáticas y métodos propios de la Geoestadística.

Esta doctrina usa métodos probabilísticos en variables geográficas para cuantificar incertidumbres espaciales, donde la estadística facilita la representación significativa de valores posibles de un parámetro en un territorio con diversas características, tomando muestras ejemplares, reduciendo costos y facilitando el estudio del área. Entre las variables de interés de la Geoestadística se encuentran las propiedades de un depósito mineral, la profundidad y espesor de una corteza terrestre, porosidad y permeabilidad de una capa geológica, densidad de una especie de árboles en un bosque, propiedades del suelo, precipitación sobre una cuenca, presión, temperatura y velocidad del viento, y concentración de contaminantes en una zona contaminada, entre otros (Chilés & Delfiner, 1999).

4.1.3.2. Tecnología de la información y la comunicación

Las Tecnologías de la Información y Comunicación o TICs, es el resultado de la interacción activa entre la telecomunicación (radio, televisión, teléfono, computador, etc.) y la tecnología informática (sistemas operativos, software, internet, etc.); según sea el propósito o el campo donde se empleen las TICs, dependerá los procesos de interacción entre las herramientas tecnológicas y los usuarios, dejando claro que se usan solo aquellas tecnologías que el beneficiario considere necesarias para llevar a cabo una tarea (Bouwman et al., 2005).

La adaptación de las TICs en asuntos cotidianos civiles o privados, conllevan a la acción recíproca de innovación, adopción, implementación, renovación, propagación y evolución de la tecnología (Bouwman et al., 2005); integrando información significativa recolectada, reduciendo al mismo tiempo la cantidad de datos procesados evitando el reingreso de los mismo a través de transferencia de información en tiempo real gracias al internet (Peansupap & Walker, 2005). Finalmente, el éxito de las TICs se halla en la armonía entre el conocimiento de las necesidades del usuario y las posibilidades de tecnología que puedan satisfacerlas (Bouwman et al., 2005)(Lavtar, 2013).

4.1.3.3.Sistemas de información geográfica

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) es una herramienta que recolecta, almacena, procesa, analiza y comparte información georreferenciada a través de softwares y hardware que generan como resultados mapas que contienen diferentes tipos datos geográficos según sea el propósito o interés de quienes lo estén ejecutando, un ejemplo de ello se observa en la Imagen 4, donde estos mapas se exponen como una superposición de capas de representación de comportamientos en diferentes escenarios; con la intención de, dar respuesta a preguntas de hechos hipotéticos o científicos sobre el cómo, cuándo, dónde y porque, de algún comportamiento o situación determinada (J. E. Campbell & Shin, 2012).



Imagen 4 Un SIG como una superposición de capas. [Adaptación Personal]. Tomado de (J. E. Campbell & Shin, 2012)

Los SIG cuentan con la ventaja de manipular y unir datos espaciales de edificaciones, vías, zonas verdes, acuíferos, ciudades, campos, etc., con atributos como nombre, antecedentes (históricos, climatológicos, ambientales), cantidad, número o población. Al recolectar y vincular esta información se hace posible la construcción y evaluación de diferentes contenidos geográficos consolidados en uno o varios mapas (J. E. Campbell & Shin, 2012).

(Kolios et al., 2017) proponen los SIG como una herramienta de interés para la defensa, gerencia gubernamental, construcción, investigación geofísica, protección y gestión del medio ambiente, ciencias atmosféricas, agricultura, comercio, transporte, gestión de recursos sanitarios y médicos, y arqueología; también, expone cinco partes que constituyen sistemáticamente un SIG como hardware, software, usuarios, datos espaciales, ráster y atributos, y gestión de la información.

De acuerdo con el concepto básico de un SIG, es decir, recolección y análisis de datos geoespaciales a través de mapas, se considera que la primera aplicación de un SIG fue en Francia en 1832 por el geógrafo Charles Picquet, quien diseño mapas epidemiológicos de Cólera en París usando colores distintivos por zonas. En 1854 el medico inglés John Snow uso mapas con puntos que representaban las víctimas del cólera en Londres. Posteriormente, a mediados del siglo XIX Sir Henry James llevo a cabo una técnica de impresión importante para el desarrollo de SIG conocida como fotozincografía (Kolios et al., 2017), la cual aprovecha la reacción química de la luz del sol sobre placas de zinc para imprimir y reproducir imágenes (Sanz & Gallego, 2001) (Servicio Topográfico Nacional de India, 2018). Después, a mediados de los años 1960 el geólogo Roger Tomlinson elabora el Sistema de Información Geográfica de Canadá (CGIS por sus siglas en Ingles) (Pérez Navarro, 2011), una aplicación operativa encargada de recolectar, depositar y evaluar información sobre el manejo y cobertura de la tierra, motivo por el cual es reconocido como el padre de los SIG (Kolios et al., 2017). En 1969 el profesor Ian L. McHarg en su obra “Design with Nature” (McHarg, 1995) propuso lo que se conoce como superposición y junto con ello los cuatro principios básicos de los SIG que son medir, mapear, monitorear y modelar (Kolios et al., 2017).

La evolución de los SIG continua con el lanzamiento del satélite Landsat 1 en 1972 y el GPS en 1978; en la década de 1980s, se implementan, desarrollan y ejecutan nuevos softwares y equipos como sistemas de navegación terrestre y de posicionamiento por satélite; para los 1990s se pone en órbita el satélite canadiense RADARSAT cuyo propósito es hacer seguimiento al cambio climático, en 1993 Europa pone a su disposición EUROGI para gestionar la información geográfica europea, en 1994 aparece Open Geospatial Consortium (OGC) una sociedad con el fin de incrementar la interoperabilidad y uso de los SIG (Pérez Navarro, 2011). Desde entonces los SIG han venido transformarse, complementándose y progresando con tecnologías y métodos que estén a la vanguardia (Fonseca & Egenhofer, 1999).

4.1.3.4. Introducción de los sistemas de información geográfica a la agricultura de precisión

Los SIG crean un sistema retroalimentado de componentes tecnológicos que facilitan la toma de decisión en la producción agrícola, proveyendo bases de datos, generación de mapas, programación lineal, modelado y simulación, estadísticas y análisis económicos y, controladores VRT entre otros, todos aquellos elementos soportan y promueven la Agricultura de Precisión (Wilson, 1999). Entre las funciones más destacadas de los SIG desde el marco de la AP, se encuentran el manejo integrado de plagas, distribución de fertilizantes, monitoreo de rendimiento y análisis de las propiedades del suelo, entre otros (Pierce & Clay, 2007).

Citando algunas de las investigaciones con base en el papel que juega los SIG en la agricultura se encuentran (Knox & Weatherfield, 1999), quienes presentan los SIG como una herramienta que se adopta en la administración de recursos hídricos de riego considerando las tasas de crecimiento, variaciones climáticas locales, el tipo de suelo, uso del territorio y prácticas de riego; así mismo, (Bastian et al., 2002) Trabajaron en la estimación de valores de la tierra por acre según las características paisajísticas y de producción agrícola; también, (Qin et al., 2009) determinaron el Índice de Humedad Topográfica de una cuenca agrícola de bajo relieve; mientras, (Palaniswami et al., 2011) exponen la aplicación de los SIG para hacer seguimiento de los beneficios de la cosecha de caña de azúcar; por último, (Pierce, 2011) introduce los SIG para identificar, monitorear, analizar y tratar especies invasoras o malezas. Concluyendo, se presenta la Tabla 3 con información provechosa respecto al tema.

Tabla 3. Participación de los SIG en la AP

Título	Resumen
Applications of open geospatial web services in precision agriculture: a review (Nash et al., 2009).	Este documento presenta el trabajo sobre la aplicación de estándares del Consorcio Geoespacial Abierto e iniciativas relacionadas para automatizar el procesamiento de datos agrícolas.
Assessing the impact of site-specific spraying on control of Eurygaster integriceps (Hemiptera: Scutelleridae) damage and natural enemies (Karimzadeh et al., 2011).	Estudiaron el impacto de la fumigación en sitio específico en el control del daño por plagas solares y la densidad de los enemigos naturales; además, se comparó con el método de fumigación de campo completo.
Integrating remote sensing and GIS for prediction of rice protein contents (Ryu et al., 2011).	Determinaron el contenido de proteína (PC) del arroz integral antes de la cosecha por medio de sensores remotos (RS), y se analizaron los factores clave que causan la variación de la PC utilizando una base de datos SIG.
Combined use of hyperspectral VNIR reflectance spectroscopy and kriging to predict soil variables spatially (Bilgili et al., 2011).	Evaluaron si VNIR o la geoestadística, o su uso combinado, podrían proporcionar enfoques eficientes para evaluar el suelo espacialmente y las reducciones asociadas en el tamaño de la muestra utilizando muestras de suelo de un área de 32 ha (800 9 400 m). Las variables de suelo consideradas fueron CaCO ₃ , materia orgánica, contenido de arcilla, arena y limo, pH, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio de cationes (CEC) y cationes intercambiables (Ca, Mg, Na y K).
A geospatial Web application to map observations and opinions in environmental planning (Rinner et al., 2011).	Exponen una herramienta basada en Google Maps que permite a los usuarios de la Web contribuir con dos tipos de información: anotaciones y sus ubicaciones de referencia. Además, diferencian las anotaciones en observaciones y opiniones sobre lugares específicos.
Web-based collaboration and decision making in GIS-built virtual environments (Stock et al., 2011).	Este documento se centra en las extensiones de SIEVE basadas en tecnologías web colaborativas para compartir datos. SIEVE Builder Web permite a los usuarios acceder a datos SDI remotos a través de un servicio de mapeo web para crear y descargar entornos 3D.

Nota. La información presentada en esta tabla es sobre investigaciones que exponen las herramientas geoespaciales en un marco útil para la AP.

4.1.4. Monitores de rendimiento

Los monitores de rendimiento (MR) son aquellos cuya función es medir la productividad de un cultivo considerando su ubicación (Pedersen & Lind, 2017). Inicialmente para monitorear la cantidad de cosecha que provenía de una finca, los granjeros ejecutaban mediciones de peso y volumen a través de camiones o carros de carga; desde entonces, se han ido mejorando la forma de regular la utilidad a través de nuevas herramientas y tecnologías para recolectar información que permita establecer un control de rendimiento más preciso. Los más comunes para este fin son, los sensores que ajustan y regulan el flujo de granos, los sistemas de navegación que generan datos de posicionamiento, y los computadores u ordenadores que permiten la interacción entre el usuario y la maquinaria (Shannon et al., 2018).

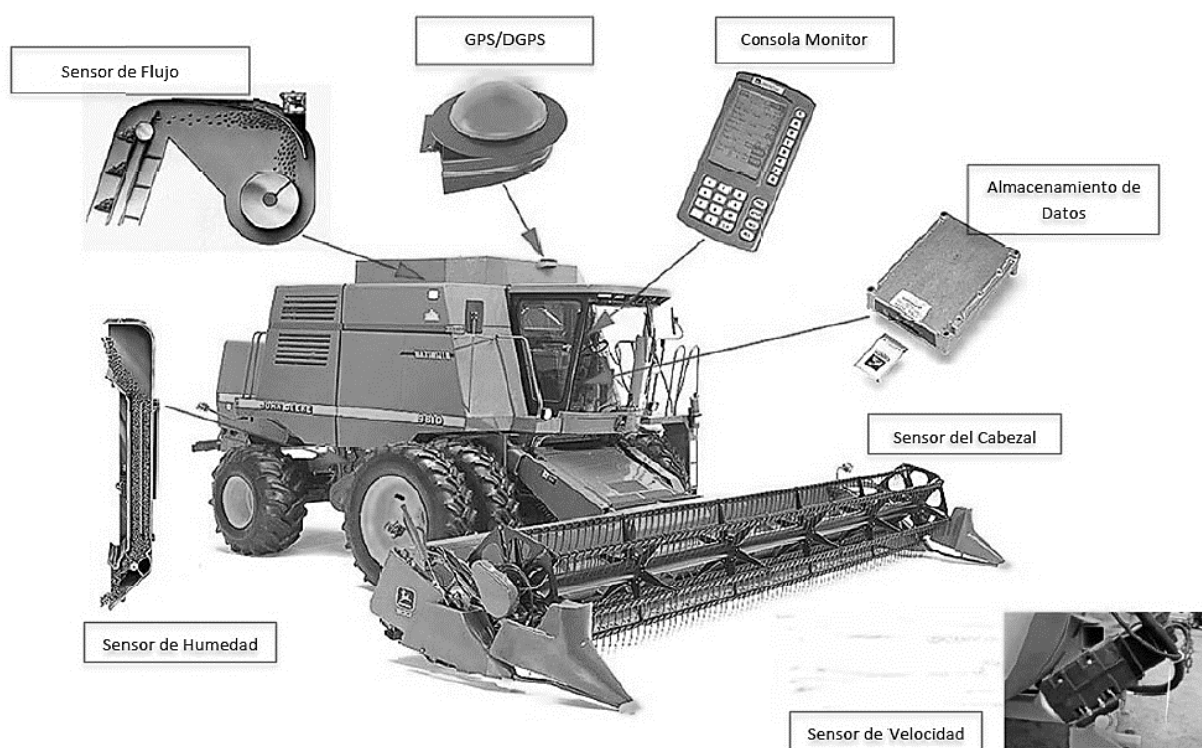


Imagen 5 Sensores de Rendimiento. [Adaptación Personal]. Tomado de (Agroing, 2012)

Los parámetros necesarios para realizar un monitoreo de rendimiento son recolectados por sensores de humedad, de flujo de grano, de velocidad del vehículo, sensores de cabezal (velocidad y ancho de corte), receptores DGPS (Differential Global Positioning System) y mapas de rendimiento (Arslan & Colvin, 2002). Estos sensores son adaptados a la cosechadora como se puede observar en la Imagen 5, donde también se aprecia la consola monitor y el almacenamiento de datos, ubicados en la cabina del vehículo.

Cada uno de estos sensores cumplen con funciones que en conjunto o de manera individual producen indicadores cuantificables para un posterior análisis, evaluación y producción de mapas de rendimiento. Por ejemplo, para determinar la masa de grano se toma las medidas generadas por los sensores de flujo, humedad, pendiente – para terrenos con talud o inclinaciones – y el sensor del cabezal; los cuales arrojan la velocidad de recolección de grano en kilogramos por segundo, y el rendimiento por área expresado en kilogramos por hectárea (Arslan & Colvin, 2002). Asimismo, para determinar el área de un lote agrícola se requiere del sensor de velocidad y del ancho de cabezal; en cuanto al rendimiento del flujo de grano respecto a su ubicación, es necesario el receptor DGPS (Arslan & Colvin, 2002).

4.1.4.1. Mapas de rendimiento

Los mapas de rendimiento son el producto de la combinación entre la información generada por un sistema de posicionamiento global y un sistema de registro de rendimiento, unidos a través de un vehículo agrícola, los cuales empezaron a comercializarse de forma integrada por Massey Ferguson desde 1992 (Blackmore, 2003) (Sahoo, 2010). Estos mapas son representaciones gráficas y cuantificables de rendimiento elaborados por softwares especializados a través de colores, símbolos y caracteres, que ofrecen al agricultor información sobre la producción (Arslan & Colvin, 2002); en los cuales se muestran proyecciones de la variabilidad espacial de un lote, donde se exponen las atributos agronómicos del suelo a través de “indicadores de productividad” (Bongiovanni et al., 2006).

De acuerdo con lo planteado por el PhD Simon Blackmore en su tesis doctoral “*The role of yield maps in Precision Farming*”, los mapas de rendimiento deben llevar unos lineamientos fundamentales para una correcta interpretación, tales como se ejemplifican en la Imagen 6. Donde las coordenadas están referenciadas en metros para facilitar la relación en el campo; en el título se vincula el tipo de mapa, el nombre de la suerte o lote, el nombre de la finca y el año; las unidades, en este caso toneladas por hectáreas (t/ha), áreas de rendimiento resaltadas por dos colores, donde el rojo es un alto rendimiento y el azul es uno bajo; como adición el mapa incluye el tamaño del lote, el cultivo, la variedad, la fecha de siembra, la fecha de cosecha y algunos parámetros de producción (Blackmore, 2003).



Mapa de rendimiento de cebada de invierno Campo de Trento, Granja Westover 1997

Tamaño del campo: 8,76 ha
Cultivo: cebada de invierno
Variedad: Melanie
Fecha de siembra: 21/09/96
Fecha de recolección: 21/07/97
Métodos
1) Filtro experto
2) Kriged a 10 m con 0,05 pepitas
3) estríado suavizado a 2 m
Unidades: t / ha

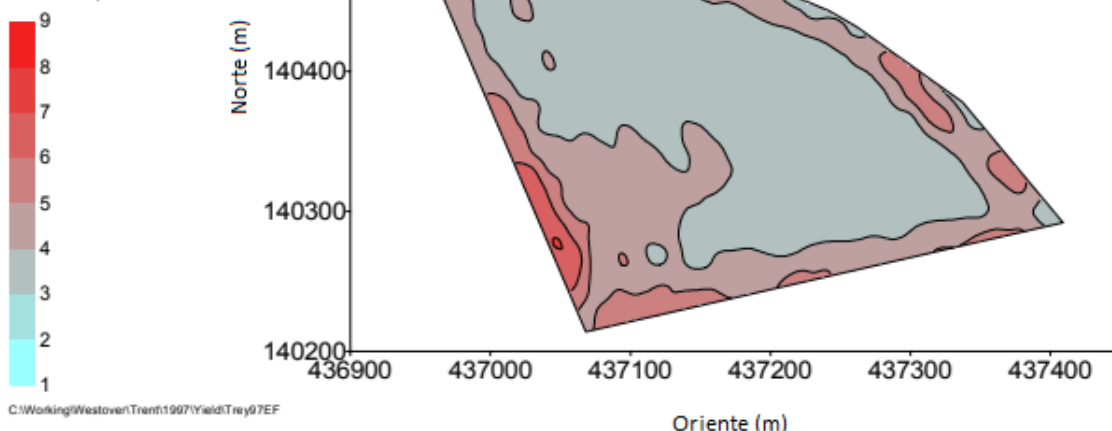


Imagen 6 Mapa de rendimiento producido en formato recomendado. [Adaptación Personal]. Tomado de (Blackmore, 2003)

A medida que se realizan mapas de rendimiento durante un periodo de varios años de una misma hacienda, se almacenan datos de variabilidad espacial que permiten una mejor caracterización de utilidad agrícola; pasando por un previo proceso de recopilación de datos, selección e interpolación de los mismos, agrupación geográfica de parámetros de rendimiento, estudio de una representación significativa, depuración de mapas de rendimiento, organización espacio temporal de variables de rendimiento y clasificación (Ping & Dobermman, 2005).

4.1.4.2. Aportes de los monitores de rendimiento a la agricultura

Con ayuda de los mapas de rendimiento se puede estudiar la capacidad de retención de humedad en el suelo, pues este es un parámetro que permite describir y caracterizar un suelo; también a variables de precipitación, evapotranspiración y pendiente. Con múltiples mapas de rendimiento se pueden deducir las cualidades hidrológicas de un área, reuniendo varios a lo largo de un periodo considerable de años, con los cuales se desarrollan modelos de simulación que ayudan a predecir el comportamiento del agua en el terreno (Timlin et al., 2001). Además, son útiles para cuantificar los efectos de compactación del suelo debido a los hábitos de labor agrícola.

Con estos mapas se elaboran patrones que imitan el impacto que tiene la labranza sobre la materia orgánica del suelo y las propiedades físicas del mismo; gracias a estos modelos se puede proponer

métodos de labranza de acuerdo a las necesidades de la granja, que aporten beneficios económicos, ecológicos, prácticos y sistemáticos (Basso, Sartori, et al., 2003).

Por otra parte, los mapas de rendimiento también ofrecen la posibilidad visual de comparar la variabilidad de producción del cultivo, de propiedades físicas del suelo y de condiciones meteorológicas, las cuales cambian según el cultivo y su ubicación; llevando a cabo la correlación de condiciones de producción que permiten establecer qué tipo de cultivo es viable o no en un espacio determinado, pues los factores que afectan el rendimiento de un plantío no son los mismo que afectan a otro diferente (Vieira & Gonzalez, 2003). Por lo demás, en la Tabla 4 se exponen algunos de los artículos que demuestran de forma directa e indirecta la importancia de los monitores de rendimiento para comprender lo que ocurre en los campos de producción.

Tabla 4. Participación de los monitores de rendimiento en la AP

Título	Resumen
On-the-go mapping of soil properties using ion-selective electrode (Adamchuck et al., 2003).	Hablan sobre el sistema automatizado de detección de suelos para el mapeo sobre la marcha del pH del suelo, el potasio y el nitrato residual. El método se basa en el uso de electrodos comerciales selectivos de iones de superficie plana para realizar mediciones de las actividades iónicas correspondientes en muestras de suelo naturalmente húmedas.
Assessing and modelling spatial variability of yield and grain quality of durum wheat under extreme dry conditions (Basso, De Vita, et al., 2003).	Evaluaron las causas de la variabilidad del rendimiento a escala de campo para comprender los efectos del estrés hídrico en el rendimiento y la calidad del grano, y para validar espacialmente el modelo de cultivo de trigo.
Airborne hyperspectral imagery and linear spectral unmixing for mapping variation in crop yield (Yang et al., 2007).	En este estudio se utilizaron imágenes hiperespectrales en el aire y datos del monitor de rendimiento registrados de dos campos de sorgo. Se aplicaron modelos de desmezcla espectral lineal no restringida y restringida a las imágenes hiperespectrales con plantas de sorgo y suelo desnudo como dos miembros finales.
A yield mapping system for hand-harvested fruits based on RFID and GPS location technologies (Ampatzidis et al., 2009).	Proponen utilizar la tecnología de identificación por radiofrecuencia (RFID) para superar las limitaciones de los sistemas de mapeo de rendimiento existentes para la cosecha manual de fruta fresca.
Colheita de citros e obtenção de dados para mapeamento da produtividade (Jose P. Molin & Mascarin, 2007).	Buscaban comprender correctamente los sistemas de cosecha existentes, sus características y limitaciones útiles. A partir de entonces, se desarrolló y probó una propuesta de generación de datos para obtener mapas de productividad sin interferir con el proceso actual.
Delineating site-specific management zones for pH-induced iron chlorosis (Kyaw et al., 2008).	En este estudio, se evaluó el uso de los índices de vegetación (VI) derivados de las imágenes aéreas, la medición sobre la marcha del pH del suelo y la conductividad eléctrica aparente del suelo (ECa) por su potencial para delinear las zonas de manejo de la clorosis.

Título	Resumen
Delineating productivity zones in a citrus grove using citrus production, tree growth and temporally stable soil data (Mann et al., 2011).	Trabajaron en la productividad de un huerto de cítricos con variación en el crecimiento de los árboles, este se mapeó para delinear zonas de productividad basadas en varias propiedades indicadoras. Estas propiedades fueron el rendimiento del fruto, el volumen de la copa de los árboles medido ultrasónicamente, el NDVI, la elevación y la ECa.
A plant based sensing method for nutrition stress monitoring (Tomkiewicz & Piskier, 2012).	Probaron la información proporcionada por la espectroscopía de impedancia eléctrica correlacionada con el estrés de la planta de tomate causado por la falta de nutrientes minerales en el medio de crecimiento.
Yield mapping, soil fertility and tree gaps in an orange orchard (José P. Molin et al., 2012).	El objetivo del presente estudio fue caracterizar la variabilidad espacial de tres factores: rendimiento de frutos, fertilidad del suelo y la aparición de huecos de plantas causados por el tizón de los cítricos o el huanglongbing (HLB) en un huerto comercial.
Development of forest-yield maps generated from Global Navigation Satellite System (GNSS)-enabled harvester StanForD files: preliminary concepts (Olivera & Visser, 2016).	Investigaron conjuntos de datos de cuatro rodales y la ubicación precisa de árboles disponibles; los datos de ubicación de los árboles fueron tomados por un recolector y contenían algunas imprecisiones asociadas con el registro del Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) bajo el dosel del bosque y la dislocación física del GNSS.
Monitoring variability in cash-crop yield caused by previous cultivation of a cover crop under a no-tillage system (Damian et al., 2017).	El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la variabilidad causada por la materia seca y el ciclo de nutrientes del cultivo de cobertura, sobre el rendimiento del cultivo comercial siguiente, mediante el NDVI, calculado por un sensor de suelo portátil y utilizando un vehículo aéreo no tripulado (UAV).

Nota. El contenido de esta tabla es la síntesis de diferentes estudios cuyo propósito fueron analizar, evaluar y estudiar el rendimiento por medio de distintas herramientas y en diferentes cultivos.

4.1.5. Sistemas de navegación global por satélites

Es un grupo de tecnologías que indican la ubicación espacio temporal de un punto sobre la tierra, aprovechando las señales emitidas por los satélites que se encuentran orbitando el planeta tierra, las estaciones sobre la tierra que toman dichas señales y los equipos receptores que entregan la información a los usuarios (García Álvarez, 2008).

Los Global Navigation Satellite Systems o GNSS, marcaron su punto de partida en 1978 con el lanzamiento del primer satélite orbital del Global Positioning System o GPS (García Álvarez, 2008)(Pérez Navarro, 2011). El GPS se creó inicialmente con objetivos militares por el U.S.A Department of Defence (DoD) a principios de los años 70's; el cual tiempo después, se convirtió no solo en una herramienta de ocupación militar, si no también, civil (El-Rabbany, 2002).

Desde entonces, se han venido introduciendo nuevos sistemas de navegación por nación, con el fin de tener independencia y control de la información que los GPS proporcionan (Editors et al., 2011). Empezando por el sistema de navegación ruso GLONASS (Global Navigation Satellite System), cuya aparición fue en octubre de 1982, para uso único de la Military Space Forces of

Russian Military of Defence o MSF (Kazantsev et al., 1994); hasta marzo de 1995 que el gobierno ruso presentó y ofreció a la ciudadanía el sistema mejorado de GLONASS (Polischuk et al., 2002). Continuando con GALILEO, el sistema de navegación europeo que empezó a transmitir señales de posicionamiento el 12 de enero de 2006 (Beidleman, 2006) (Hofmann-Wellenhof et al., 2008). Siguiendo, aparece el sistema de navegación chino nombrado BEIDOU, quién principalmente ofrece sus servicios a Asia – Pacífico (Montenbruck & Steigenberger, 2013); nace experimentalmente en 1994, pero para el 2012 se lanza BeiDou-2, un sistema completamente reformado brindando además de Posicionamiento, Navegación y Sincronización, o PNT por sus siglas en inglés, un plus de anti-interferencia (anti-jamming) y anti-engaño o suplantación (anti-spoofing) lo que lo hace más llamativo ante el público (Sun et al., 2012). Finalmente, esta Quasi-Zenith Satellite System (QZSS) e Indian Regional Navigation Satellite System (IRNSS); el primero es un sistema de navegación japonés que empezó sus operaciones en el 2010 y se lleva a cabo en Asia Oriental y Oceanía (Hofmann-Wellenhof et al., 2008); el segundo es de origen indio, puesto en funcionamiento en mayo del 2006 y ofrece sus servicios a la India (Hofmann-Wellenhof et al., 2008).

4.1.5.1. Los sistemas de navegación global en la agricultura

Los GNSS son utilizados en la industria agrícola para la automatización de maquinaria, aplicación de dosis variada de insumos, irrigación de plantaciones, monitoreo de la producción, manejo de suelos y distribución de los cultivos (Ikokou, 2013). Un ejemplo de estas actividades es la que se logra con guías prediseñadas de tráfico vehicular representadas en la Imagen 7, que muestra diversos trazos que un tractor dotado con un sistema de navegación puede seguir según las coordenadas geográficas, de manera controlada y organizada (Ikokou, 2013).

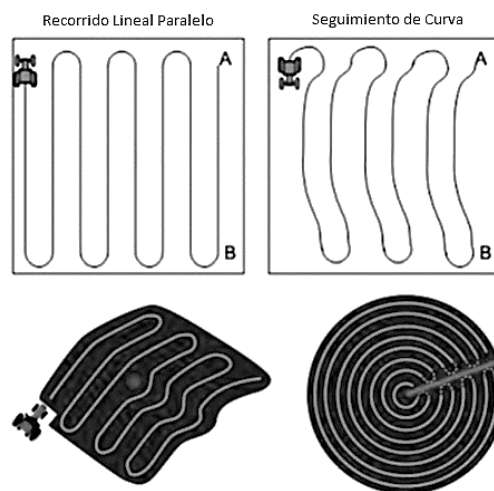


Imagen 7 Ejemplos de patrones de tráfico de campo que pueden seguir un vehículo equipado con GNSS. Cada patrón se caracteriza por una alineación de puntos con coordenadas geográficas conocidas. [Adaptación personal]. Tomado de (Ikokou, 2013).

Enfatizando la aplicación de los sistemas de navegación en la agricultura, se encuentra el GPS, el cual ofrece orientación y accionamiento de la dirección automatizada en la agricultura de

precisión. Gracias al servicio principal que ofrece el GPS, el sector agrícola cuenta con maquinaria autoguiada, facilitando las labores de campo no solo en la automatización de los vehículos, si no también integrando actividades agrícolas como el manejo de la aplicación variada de semillas, agua, adecuación del terreno, aplicación de fertilizantes, insecticidas, distribución de las plantaciones y control de rendimiento, entre otras (Berglund & Buick, 2005).

Desde la implementación del auto-guía en la maquinaria agrícola, el campo a presentado cambios en la forma de producción tales como la reducción de tiempo en las labores agrarias, coordinación precisa de semillas y fertilizantes, control de tráfico para evitar la compactación del suelo, autorregulación de las boquillas de aplicación de químicos de forma precisa, y la colocación de cintas de goteo en cultivos de alto valor (como las hortalizas) con ayuda del RTK (Berglund & Buick, 2005).

También, los sistemas de navegación son útiles en la detección de vegetación y humedad de un territorio determinado a través de un sensor reflecto métrico conocido como GNSS-R; que, con antenas de polarización, recolectan señales directas y reflejadas. El GNSS-R, cuenta con la capacidad de estimar parámetros como “humedad del suelo, biomasa del suelo, altura de las olas, velocidad del viento y la profundidad de la nieve” (Jia & Savi, 2017). Tener conocimiento de las condiciones ambientales anteriores, permiten desarrollar una producción agrícola optima, considerando las amenazas a las cuales se puede enfrentar y evitando perdidas cuantitativas. Adicionalmente, en la Tabla 5, se muestran otros campos donde es posible ver las funciones de los GNSS en actividades relacionas a la agricultura.

Tabla 5. Participación de los GNSS en la AP

Título	Resumen
Assessing GNSS correction signals for assisted guidance systems in agricultural vehicles (Pérez-Ruiz et al., 2011).	Este estudio ha evaluado el error de señal diferencial de una estación base y una asistida por satélite. Estas señales se utilizaron en sistemas de asistencia para aplicaciones agrícolas, como la labranza, la cosecha, la siembra y la pulverización, en las que se utilizaron receptores GPS en condiciones dinámicas. Las simulaciones de operaciones agrícolas en diferentes días y en diferentes franjas horarias y al mismo tiempo grabar la posición geográfica del tractor desde un receptor DGPS y la posición geográfica del tractor desde un GPS cinemático en tiempo real (RTK) permitieron la comparación de las señales de corrección GPS.
GNSS in Precision Agricultural Operations (Perez-Ruiz & K., 2012).	El enfoque de este capítulo está en las aplicaciones de GPS en operaciones agrícolas como el posicionamiento de máquinas operativas, muestreo de suelo, aplicación de velocidad variable y orientación del vehículo.
Application technical GNSS applications for agricultural practices (Ikoku, 2013).	Este artículo estudia los conceptos básicos de GPS que se aplican a la producción agrícola y proporciona un análisis detallado de los desarrollos recientes en esta área con un enfoque en la funcionalidad y la eficiencia.

Sensing soil moisture and vegetation using GNSS-R polarimetric measurement (Jia & Savi, 2017).

Con el fin de investigar las propiedades de polarización de dispersión de diferentes tipos de entornos de superficie, se realizó una medición en el aire, equipada con un nuevo prototipo de 4 canales para recoger las señales de polarización circular directa reflejada hacia la izquierda (LHCP) y la polarización circular hacia la derecha (RHCP). Ambas señales reflejadas de LHCP y RHCP fueron adquiridas al mismo tiempo por una antena de doble polarización.

Nota. El contenido presente en esta tabla son algunos documentos enfocados en la participación de tecnologías GNSS en los procesos agrícolas.

4.1.6. Gestión eficiente del agua

Teniendo en consideración la importancia que el uso inteligente y sustentable del agua tiene en las actividades de riego y drenaje agrícola, es oportuno contemplar las opciones de empleo preciso y conservación de este mineral a través de instrumentos tecnológicos válidos para alcanzar este fin; siendo los SIG una de las herramientas empleadas para la manutención y conservación de las redes de riego y drenaje, mediante un análisis de datos espaciales y de imágenes satelitales (Ciancaglini et al., 2005). Además, es posible automatizar el tiempo de riego con ayuda de redes neuronales que ofrecen una humedad de calidad siguiendo las exigencias cambiantes del suelo y el cultivo (Capraro et al., 2008); mientras tanto, los sensores remotos mantienen en tiempo real el constante monitoreo de la humedad del suelo y del nivel freático del campo, fomentando así la irrigación inteligente (Xiao et al., 2010). Por ende, en la Tabla 6 se relacionan algunos artículos recuperados que demuestran la posibilidad de gestionar el agua a través de elementos de la AP.

Tabla 6. Herramientas de la AP en los sistemas de riego y drenaje.

Titulo	Resumen
Uso del GeoConcept en la planificación de la finca de transferencia de tecnología del instituto de investigaciones de riego y drenaje. (González Robaina et al., 2004)	Investigación que muestra las posibilidades que brinda el GepConcept y sus aplicaciones agrícolas relacionadas con la actividad del Riego y el Drenaje; donde demuestran la utilidad del sistema para la organización, planificación y análisis de la información existente en un área de estudio.
Opportunities for conservation with precision irrigation. (Sadler et al., 2005)	Definieron y describieron el riego por sitio específico; además, discutieron las oportunidades para la conservación de agua y presentaron estudios de casos de campos de producción e investigación que ilustran estas oportunidades.
Automatización de un sistema de riego dedicado a la producción florícola basado en las Tecnologías de Agricultura de Precisión y en Telemetría utilizando la plataforma de Comunicaciones de telefonía móvil GPRS. (Narvaez Ortiz, 2008)	Propone el diseño de una red de transmisión de datos GPRS para que los sistemas de riego automatizados dirigido a las empresas florícolas, se comuniquen inalámbricamente con un centro de control y monitoreo en donde se realice un procesamiento de la información en forma automática.
Software para la emisión de recomendaciones de riego y drenaje en	Presentan un software con finalidad de emitir recomendaciones de riego y drenaje en caña de azúcar y otros cultivos, teniendo en cuenta las condiciones climáticas, especificaciones del suelo y

caña de azúcar y otros cultivos. (Vázquez-Acuña & Lamelas, 2011)	características de cada cultivo. El software está basado en métodos matemáticos que determinan las condiciones de riego y drenaje de los cultivos.
Autonomous Precision Agriculture Through Integration of Wireless Underground Sensor Networks with Center Pivot Irrigation Systems. (Dong et al., 2013)	Experimento de un sistema de riego de pivote central asistido por sensor subterráneo inalámbrico que proporcionará capacidades de gestión de riego autónomas al monitorear las condiciones del suelo en tiempo real utilizando sensores subterráneos inalámbricos
Sistema de instrumentación para lisímetros de maceta con monitorización precisa del riego. (Jimenez Carvajal et al., 2016)	Informe sobre un sistema de instrumentación de bajo coste para lisímetros de maceta que facilitan determinar con precisión el balance hídrico en los periodos de riego, cuantificando el volumen de agua aportada, estudiando así el comportamiento hídrico (determinación de la evapotranspiración), en condiciones normales en los intervalos de riego.
Implementación de un prototipo de WSN con nodos inteligentes para el sistema de riego aplicado a la agricultura de precisión para el CER – ESPOCH. (Paredes Vinuesa, 2017)	Diseño e implementación de una red inalámbrica de sensores inteligentes para la supervisión y control de riego; el cual consiste en un sistema electrónico de sensores inalámbricos que permite medir la humedad del suelo y la temperatura ambiente teniendo la capacidad de tomar decisiones de cuándo y cuánto regar.
Herramientas modernas de gestión en riego de precisión basadas en dispositivos electrónicos, programas informáticos y técnicas de control automático. (Capraro & Tosetti, 2020)	Descripción de “Riego de Precisión” y “Telemetría Agrícola” como parte de las nuevas tecnologías disponibles para la gestión de la agricultura.

Nota. El material registrado en esta tabla fue en su mayoría dirigido por centros de investigación ubicados en Latinoamérica, con propósitos de comprender y mencionar la posición de la AP en los sistemas de riego y drenaje.

4.2.Desarrollos y avances de la agricultura de precisión

En el siglo XX para las décadas 60s, 70s y 80s, ante el mundo se presentó la necesidad de incrementar la producción acelerada de alimentos para evitar una crisis alimentaria, llegando de este modo la conocida revolución verde, que implicaba la adopción de nuevas herramientas y tecnologías que garantizaran el aumento del rendimiento en la cosecha (Barrera, 2011); dando pie a la aplicación dinámica de sensores remotos, vehículos guiados por sistemas de posicionamiento, Sistemas de Información Geográfica, Tecnologías de Dosis Variable y las Tecnologías de Información y Comunicación, para la gestión de insumos en las prácticas agrícolas promoviendo un nuevo método de producción llamado Agricultura de Precisión (Krishna, 2013).

Sin embargo, el principio de la AP se ha empleado desde inicios de la misma agricultura, pues los primeros agricultores realizaban sus trabajos de labranza en pequeñas parcelas de tierra, permitiéndose gestionar los cultivos de forma precisa y por sitio específico, considerando las características apropiadas para una cosecha prospera y de buena calidad (Oliver, 2010), donde la información y ubicación de esas parcelas eran conservadas en sus memorias (Pedersen & Lind, 2017).

Ahora bien, los fundamentos científicos de la AP fueron tomados de Linsley y Bauer, quienes en 1929 desarrollaron un mapa de variabilidad espacial de la acidez del suelo de una parcela

experimental; concluyendo en la aplicación dosificada de calcio según las necesidades del suelo en cada subárea, para alcanzar el equilibrio del pH en la zona de estudio (Rafull et al., 2001); dicha investigación inicio la aplicación de fertilizantes con vehículos terrestres para 1938. Continuando con la toma de muestras representativas de suelo en la década de los años 1950, de terrenos delimitados por divisiones agrícolas y lo más homogéneas posibles, adquiriendo conciencia de la variabilidad espacial que se puede hallar en un territorio (Q. Zhang, 2016); siguiendo con la llegada de los sensores remotos a la agricultura (J. B. Campbell & Wynne, 2011), quienes hicieron posible determinar las propiedades físicas, biofísicas y el estrés del cultivo (Mulla, 2013).

Con la aparición de instrumentos como la geoestadística (Matheron, 1963), se fomentó la creación de CENTROL - Farm Management Services para finales de 1970, cuyo propósito fue construir una base de datos sobre las características y propiedades del suelo y el cultivo por aérea, para mejorar la gestión y rendimiento de una hacienda (Robert, 1999); también, el análisis de variabilidad espacial según las propiedades del suelo para la elaboración de las VRT a finales de 1980 (Q. Zhang, 2016), aunque no fue sino hasta 1995 que se empezó a comercializar maquinaria agrícola capaz de mezclar y aplicar de forma variable fertilizantes mientras esta se encontraba en marcha (Robert, 1999).

Finalmente, en la década de los 90s surge la preocupación por las consecuencias de la sobre explotación de recursos incentivada por la revolución verde; de ahí la necesidad de controlar y administrar los elementos agrícolas con las mismas tecnologías que ya se venían desarrollando, pero tratando los cultivos por sitio específico, revelándose un método de producción denominado agricultura por sitio específico o agricultura de precisión (Barrera, 2011; Oliver, 2010).

4.2.1. Agricultura de precisión en el mundo

La adopción de la AP por las actividades de producción agrícola se presentaron en el globo paulatinamente siguiendo el comportamiento descrito por (Robert, 1999), quien dice que “La historia agrícola muestra que cualquier mejora tecnológica significativa de la gestión agrícola requirió mucho desarrollo, educación y tiempo antes de ser utilizada por la mayoría de los productores. Tomó, por ejemplo, más de 30 años para ver los tractores totalmente utilizados. Debería esperarse un curso similar para la agricultura de precisión, un sistema holístico que requiere nuevas herramientas y habilidades sustanciales” (p.6); haciendo hincapié en los tropiezos que han tenido los diferentes avances de la industria agrícola y deja en claro que la AP no es la excepción, pues la adopción de este nuevo método de producción en distintos países se viene dando a diferentes ritmos según el poder adquisitivo de cada uno (Krishna, 2013).

Empezando por América del Norte y Europa, donde a principios de la década de los 90s en su búsqueda de maximizar la rentabilidad de sus cultivos y reducir pérdidas de insumos, desarrollaron y emplearon monitores de rendimiento y aplicadores de tasa variable (Krishna, 2013); en el que Estados Unidos, Canadá, Reino Unido y Dinamarca, dirigieron estos instrumentos a cultivos de grandes áreas como maíz, arroz, algodón, trigo y soja (Daberkow & McBride, 2003; Swinton & Lowenberg-Deboer, 2001). Además, países como Alemania encaminan la AP a cultivos pastoriles, canola y cebada (Paustian & Theuvsen, 2017); así mismo, países como Hungría, optan por la AP como una estrategia económicamente viable, aunque con ciertas desventajas como el incremento

de una inversión inicial en herramientas e insumos, pero con la promesa de un aumento de rendimiento que impulsa su adopción de forma lenta y constante (Oláh & Popp, 2018).

Continuando esta Australia, en el que la AP nace a finales de los noventa con mapas del territorio, vehículos con sistemas de navegación integrados, monitores de rendimiento y VRT, destinados principalmente a cultivos de trigo; también, Australia toma la AP para mitigar el impacto ambiental resultado de las actividades agrícolas, reduciendo actividades de labranza, tráfico agrícola y excesos de aplicación de fertilizantes (Gilles Rochecouste, 2016; Krishna, 2013). Luego China, donde la adopción de la AP es manejada en cultivos de maíz, soja y arroz (H. Wang et al., 2006; Xie et al., 2003); y toma en consideración que se maneja un sistema de cultivo muy diferente del resto del mundo y poca tecnología, es decir, está sujeto a los niveles de tecnología y condiciones de los recursos, subclasificando así la AP en tradicional, moderna y de alta tecnología, donde la AP tradicional abarca experiencias, resultados de experimentos e índices de cultivos, usando SIG y mapas representativos de zonas montañosas; mientras que la AP moderna considera los GPS, SIG, sistemas de control ambiental y mecanización de la maquinaria, orientados a granjas situadas en suburbios; por última, la AP de alta tecnología, que hace referencia a la robotización y automatización, la cual no se aplica en este país porque no es práctica ni viable (Liu et al., 2003).

Sin embargo, en otros países asiáticos como Japón, Corea, Taiwán, Filipinas, Vietnam y Tailandia la AP de alta tecnología es una opción apetecida, aplicada a cultivos de arroz principalmente (Malaysian Agricultural Research and Development Institute (MARDI) et al., 2019); adicionalmente en Japón, se utiliza la AP con el fin de incrementar ingresos, reducir gastos, promover seguridad laboral en el campo y manejo de microclimas en los invernaderos; así mismo, impulsa la maquinaria autónoma en labores y procesos repetitivos, dando pie a la evolución de la robótica para auxilio y/o trabajo de actividades agrícolas (Sasao & Shibusawa, 2000; Science and Technology Office Tokyo, 2018). Mientras, en Malaysia la AP se dirige a las plantaciones de caucho y palma de aceite, Turquía a cultivos de algodón y maíz, Indonesia a la producción de hongos o champiñones; recurriendo a sensores de humedad, sistemas de riego con tecnologías de aplicación por sitio específico de fertilizante y guía automática de vehículos (Takeshima & Joshi, 2019).

Prosiguiendo India, quien es uno de los mayores productores de té junto con China, Sri Lanka y Tanzania; y toma las herramientas que ofrece la AP para hacerlo más rentable, empezando por los sistemas de posicionamiento para estudiar e identificar los plantíos, seguido de los mapas de rendimiento para el control y registro de la cosecha, finalmente los SIG para adjuntar el manejo integral de la plantación, generando y mejorando mapas del suelo, uso y manejo de la tierra, y mapas de sistemas de drenaje (Mondal & Basu, 2009); aparte de los cultivos de té, India destina tecnologías de riego y nivelación del terreno con láser, sensores remotos, medición del área e indicadores foliares y control de plagas, a cultivos de yuca, caña de azúcar y hortalizas (Takeshima & Joshi, 2019).

Continuando África, donde a principios de la década de 2000 acoge la AP como una moderna herramienta agrícola, iniciando con la mecanización y sistematización de la producción, enfocándose en la nutrición del suelo, la fertilización del cultivo, la productividad, las ventajas económicas y la minimización del impacto ambiental producto de las labores de campo (Krishna,

2013); también, la gestión y manejo de semillas, distribución de plantación, control de siembra y administración de los recursos, en cultivos de cereales como el sorgo, mijo y maní, entre otros (Aune et al., 2017).

4.2.1.1. Agricultura de precisión en Latinoamérica

Se han estado desarrollando en América latina proyectos de investigación y acogimiento de la AP, siendo Argentina, Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay los primeros países en realizar estudios de esta disciplina, apoyados principalmente por universidades, centros investigativos e industrias privadas; como consecuencia de las contribuciones importantes a la producción y exportación mundial de soja, azúcar, café, carne vacuna, miel, naranja, limón, ajo, tabaco, maíz y girasol, donde se promueve la reinversión y mejoramiento de herramientas de producción para incrementar la utilidad, teniendo en cuenta sus ventajas en cuanto a recursos naturales, manejo del suelo, organización de producción y la oportunidad de adquisición de nuevas tecnologías (Batista Pamplona & Rodrigues Silva, 2018; García, 2002; Piñeiro & Elverdin, 2017).

En el caso de Argentina, la AP empezó desde 1996 promovida por INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria), arrancando con los monitores de rendimiento, siguiendo con GPS, monitores de siembra, banderillero satelital y las VRT, destinados a la producción de cereales (Bongiovanni et al., 2006; Melchiori et al., 2013). Mientras tanto en Brasil, la adopción de la AP se aprecia gracias a las mayores participaciones de los sistemas de navegación y las VRT, en actividades de labranza, rendimiento y calidad de la cosecha, conducida por una sociedad joven, educada, propensa a usar tecnologías a la vanguardia y manejar cultivos de áreas extensas como los de azúcar, soya, maíz, trigo y frijoles (Bernardi et al., 2014; Bernardi Campos et al., 2008).

También, la AP en Chile tuvo su punto de partida a mediados de la década de los noventa, con el manejo por sitio específico de huertos y viñedos, abriéndose camino hacia cultivos de trigo, maíz, arroz y remolacha; con el propósito de obtener una mayor rentabilidad de las cosechas, disminuir costos de producción, optimización de procesos, ahorro hídrico y disminución del impacto ambiental (León G. & Best S., 2007; ODEPA, 2009). Entretanto, Paraguay acoge los banderilleros satelitales, los monitores de rendimiento, tecnologías de dosis variable de sólidos y pilotos automáticos en tractores, con el fin de fomentar la productividad, la recuperación de suelos degradados, los sistemas de riego, modelos de cultivos y mejoría en las prácticas agrícolas que se mueven en torno a la soja, maíz, trigo, sorgo, girasol, caña de azúcar, mandioca, algodón, frutas y hortalizas entre otros (Ferreira & Vázquez, 2015; Villalba, n.d.). Asimismo, Uruguay se inclina por los GPS, sensores electrónicos y SIG, para el manejo del suelo, modelación de rendimiento, delimitaciones del territorio y georreferenciación de los lotes de arroz y sorgo (Polak, 2013; Pravia Nin, 2009; Roel, 2005).

Por otra parte, en Bolivia la AP inicio en 2002 en cultivos extensivos ubicados en Santa Cruz con el banderillero satelital, después se fueron introduciendo gradualmente los SIG, controladores de caudal, monitores de rendimiento y sensores remotos (Bongiovanni et al., 2006); en Guatemala se tomó como una herramienta para la optimización de tareas agrarias y la reducción de costos en las operaciones (Salazar Barrios, 2010); en México se están llevando a cabo investigaciones al respecto en distintas entidades universitarias, dirigidas al desarrollo de sistemas y equipos de la

AP (Negrete, 2017); y en Cuba, las cualidades de la AP son modestamente dedicadas a cultivos de caña de azúcar, arroz, hortalizas, frijoles y algunos cultivos frutales (Antúnez Sánchez, 2019).

4.3. Agricultura de precisión en Colombia

Sin ser la excepción, en Colombia también se ha adquiriendo poco a poco la AP, inicialmente en la producción de banano y caña de azúcar para la gestión de plagas, enfermedades de plantación y análisis de las propiedades del suelo; no obstante, la adopción de este método agrícola ha sido lenta debido a la carencia de un sistema de recopilación, suministro y manipulación de información, acoplamiento de las tecnologías al agroecosistema del país y los elevados costos de inversión inicial para su adquisición; pese a eso, es necesaria la adopción de la AP para hacer de la agronomía del país una industria competitiva y viable (Leiva, 2003).

Ahora bien, un motivo incipiente que promueve la acogida de este método en el territorio es el hecho de que exista un área considerable con pocos o nulos datos sobre la productividad, lo que conlleva a un plan de adopción similar al que se ha trabajado en Argentina y Brasil, puesto que Colombia comparte características edafoclimáticas semejantes con estas naciones; un ejemplo de ello se refleja en cultivos de caña de azúcar donde se utilizan herramientas de la AP previamente evaluadas en Brasil. No obstante, es difícil definir un proceso de adopción de la AP congruente y detallado del país (Batista Pamplona & Rodrigues Silva, 2018; Leiva, 2003; OECD, 2015).

Aun así, la AP no solo se ha quedado en los cultivos de caña de azúcar sino también, se ha estado desplegando a los de palma de aceite y café entre otros, cuya evidencia se cita en la Tabla 7, que contiene algunos de los documentos recuperados de las bases de datos consultadas en el presente trabajo sobre investigaciones, conferencias y estudios enfocados a proyectos relacionados con la contribución de la AP en la industria agrícola colombiana.

Tabla 7. *Proyectos e investigaciones en torno a la AP en Colombia*

Titulo [Organización]	Descripción (Autor, Año)
Fundamentos básicos de agricultura de precisión aplicables al manejo integral del cultivo de banano. [BANATURA]	Exposición breve de los últimos avances en investigaciones sobre la AP en el país, aplicadas en el cultivo de banano. (Gutiérrez & Romero Z, 2006)
Site specific agriculture and productivity in the Colombian sugar industry. [CENICAÑA]	Desarrollo de un sistema de información utilizando un enfoque agrícola del sitio específico para promover la innovación tecnológica y mejorar la competitividad en la agroindustria azucarera colombiana. (Isaacs et al., 2007)
Determinación de factores abióticos que definen las zonas de mejor oferta ambiental para la producción y calidad de fibra con énfasis en potasio para el algodón en el Valle Cálido del Alto Magdalena, Colombia. [CORPOICA]	Identificación de las zonas que proporcionen la mejor oferta ambiental para la producción y calidad de fibra del algodón en el Valle Cálido del Alto Magdalena, utilizando el análisis geoestadístico. (Barragá et al., 2007)

Título [Organización]	Descripción (Autor, Año)
Agricultura de precisión aplicada a la estimación del comportamiento hidráulico de los suelos con fines de riego y drenaje. [USCO]	Análisis del ambiente fisiográfico general de la zona a partir de fotografías aéreas e imágenes satelitales, estableciendo una grilla de muestreo Geo-referenciado para la determinación y modelación de la variabilidad espacial de algunas propiedades físico-químicas del suelo del distrito de riego. (Pachón Bejarano & Chavarro, 2008)
Experiencia del sector cañicultor en agricultura específica por sitio. [CENICAÑA]	Conferencia donde Cenicaña expone sus estudios y sus avances en procesos de georreferenciación y zonificación de áreas sembradas, que permiten hacer un análisis por sitio específico y durante un tiempo determinado de la eficiencia productiva y económica del cultivo. (Carbonell G., 2008)
La agricultura de precisión en el manejo del cultivo de la palma de aceite [CENIPALMA]	Síntesis de las experiencias en agricultura de precisión en el cultivo de la palma de aceite en Colombia y presentación al gremio palmicultor de lo que constituirá el programa de investigación en Agricultura de Precisión de Cenipalma. (Romero et al., 2008)
Agricultura de precisión: Análisis exploratorio de evolución espacio-temporal de la incidencia de Pudrición del Cogollo (PC) de la palma de aceite (<i>Elaeis guineensis</i> Jacq.). Núcleo productivo de San Andrés de Tumaco. [CORPOICA & CENIPALMA]	Análisis exploratorio de la evolución espacio-temporal de la PC de la palma de aceite, que pretende convertirse en una herramienta útil de los productores para la toma de decisiones. (Hurtado Camacho et al., 2009)
Efecto de la variabilidad espacial de algunas propiedades físicas y químicas del suelo sobre el rendimiento del cultivo de maíz en choclo (<i>zea mays</i> l.) En la sabana de Bogotá. [UNAL]	Caracterización de la variabilidad espacial de algunas propiedades físicas y químicas del suelo sobre el rendimiento del cultivo de maíz en choclo. El análisis se realizó mediante el uso de la estadística univariada, geoestadística, técnica multivariada y análisis de conglomerados. (Rengifo Estrada, 2009)
Sistemas de adquisición, almacenamiento y análisis de información fenológica para el manejo de plagas y enfermedades de un duraznero mediante tecnologías de agricultura de precisión. [UPTC]	Aclaración de los aspectos generales de un sistema capaz de seguir el comportamiento espacial y temporal de las enfermedades del durazno usando las tecnologías de la AP, empleando una red inalámbrica de sensores para monitorear el clima, un sistema de adquisición de datos basado en PDA (Asistente Digital Personal) y un sistema de procesamiento y visualización. (Jiménez et al., 2010)
Variabilidad espacial de propiedades físicas y químicas en suelos de la granja experimental de la Universidad del Magdalena (Santa Marta, Colombia). [UNAL & UNIMAGDALENA]	Clasificación de las propiedades del suelo mediante un análisis Geoestadístico que visualizó y graficó la variabilidad de cada propiedad evaluada para los suelos en estudio y con ello facilitar la implementación de prácticas de manejo agronómico acordes con las características de cada zona. (Vázquez Polo et al., 2010)

Titulo [Organización]	Descripción (Autor, Año)
Aplicaciones de la agricultura de precisión en palma de aceite “ <i>Elaeis Guineensis</i> ” e híbrido O x G. [CENIPALMA]	Exposición de la perspectiva y los conceptos de agricultura de precisión que se están desarrollando en el sector de la palma de aceite en Colombia, donde se presentan dos aplicaciones que resuelven las limitaciones asociadas a las prácticas agrícolas convencionales: una, relacionada con el trazado de una plantación; y otra referida al manejo de plagas y enfermedades. (Lizarazo Salcedo & Carvajal, 2011)
Desarrollo e implementación del diseño tecnológico para el proyecto de agricultura de precisión en un cultivo de tomate en Sutamarchán, Boyacá (Colombia). [USTA]	Bosquejo tecnológico de la infraestructura de comunicación e implementación en un sistema de Agricultura de Precisión en un cultivo de tomate. (Orjuela Álvarez, 2012)
Calibración y Validación del Modelo SIMBA-POP en la Zona Bananera del Urabá Antioqueño, Colombia. [UNAL]	Adaptación de un modelo que simula la dinámica poblacional de plantaciones de banano, para las condiciones de temperatura media habituales en el Urabá Antioqueño; la más importante zona productora de banano en Colombia. (Guarín Giraldo & Ochoa, 2012)
Redes de Sensores Inalámbricos Aplicadas a Optimización en Agricultura de Precisión para Cultivos de café en Colombia. [UNICAUCA]	Diseño preliminar de una red de sensores inalámbricos para cultivos de café en Colombia usando sensores para temperatura y humedad del suelo, temperatura de las hojas, radiación solar y flujo fotosintético. (Urbano-Molano, 2013)
Procesamiento digital de imágenes de sensores remotos para aplicaciones de agricultura de precisión. [UPTC]	Elaboración de modelos espaciales del comportamiento de variables fenológicas de las regiones cultivables mediante el uso del procesamiento digital de imágenes adquiridas por sensores remotos satelitales y el desarrollo de un algoritmo que relaciona la información espectral adquirida de las imágenes, con el comportamiento fenológico de plantas enfermas y sanas. (Jiménez López et al., 2013)
Apoyo a la agricultura de precisión en Colombia a partir de imágenes adquiridas desde Vehículos Aéreos No Tripulados (UAV’S). [PUJ]	Formulación de un método matemático que permite realizar el dimensionamiento de áreas de cultivos a partir de fotografías aéreas tomadas desde un Vehículo Aéreo no Tripulado (UAV). (Fajardo Junco, 2014)
Variabilidad espacial de la resistencia mecánica a la penetración del suelo. “Caso Estudio: Centro Agropecuario Marengo - Sabana De Bogotá”. [UMNG]	Estudio de la compactación del suelo mediante la evaluación y medición de la resistencia mecánica a la penetración usando técnicas estadísticas y geoestadísticas. (Orduz Salamanca, 2014)

Título [Organización]	Descripción (Autor, Año)
Desarrollo de un sistema multiespectral para aplicaciones en agricultura de precisión usando dispositivos embebidos. [UNILLANOS]	Descripción del diseño y desarrollo de un sistema de adquisición de información multiespectral con el objetivo de analizar coberturas vegetales, inicialmente en plantaciones de palma de aceite. (Torres Galindo et al., 2015)
Sistemas de información enfocados en tecnologías de agricultura de precisión y aplicables a la caña de azúcar, una revisión. [Universidad Icesi]	Investigación acerca de sistemas de información para AP, junto con sus principales características y posibles requerimientos de los actores presentes en el ciclo de vida del cultivo, donde se propone un sistema orientado a la industria azucarera colombiana. (Orozco & Llano Ramírez, 2016)
Diseño de Patrones de Estratificación de Cultivos en el Departamento del Huila Colombia, Minería de Datos para una Agricultura de Precisión.	Planificación de las áreas a ser sembradas en cada municipio de acuerdo con sus potencialidades, con el procesamiento de datos, las simulaciones y el establecimiento de patrones. (Medina Rojas et al., 2016)
Implementación de la agricultura de precisión para optimizar la producción del algodón en Cereté, Córdoba. [UNAD]	Incrementar la producción de los cultivos de algodón implementando la maquinaria y las herramientas tecnológicas de la agricultura de precisión. (Roa Merlano, 2017)
Monitoreo y control de variables ambientales mediante una red inalámbrica para agricultura de precisión en invernaderos. [SENA]	Elaboración de una plataforma de monitoreo remoto y control de variables ambientales con redes inalámbricas de sensores, compuesta por un nodo central (coordinador) y dos nodos donde se encuentran conectados los sensores para las lecturas de las variables medioambientales. (Ossa Duque, 2017)
Las nuevas tecnologías aplicadas a la fase Agrícola de la cadena productiva del arroz, en el departamento del Casanare. [UNAD]	Presentación y análisis de las diferencias entre las rutinas de cultivo tradicionales y las operaciones y procesos de la tecnología moderna caracterizando las estrategias de cultivo, identificando las prácticas, el uso de insumos, la preparación de la tierra para la fase de siembra, recolección y las estrategias post cosecha. (Campos & Meza, 2018)
Fertilización nitrogenada a tasa variada en seis campos de caña de azúcar: hacia un manejo ambiental sostenible bajo el concepto de agricultura de precisión. [UNAL]	Análisis estadístico y espacial de los registros de la operación en seis lotes de cultivo de caña de azúcar para cuatro años diferentes, con el propósito de mostrar las bondades de la aplicación mecánica de nitrógeno fertilizante a tasa variada frente a los impactos ambientales asociados a esta práctica en un escenario de fertilización a tasa fija. (Saavedra Rincón, 2018)

Titulo [Organización]	Descripción (Autor, Año)
Aplicación del Internet de las cosas a través de una red de sensores inalámbricos en un cultivo de café para monitorear y controlar sus variables ambientales. [ITM]	Utilización del Internet de las cosas (IoT), como herramienta tecnológica para el desarrollo de una red inalámbrica de sensores, con el objetivo de monitorear y controlar una serie de variables ambientales que inciden en el cultivo del café y su calidad final. (Ruíz Martínez et al., 2019)
Agricultura de precisión: una contribución a la gestión de los agronegocios desde la modelación. [UdeA]	Conferencia para mostrar una mirada a las ciencias agrarias frente a los desafíos del siglo XXI, desde la visión del análisis estructural de la agricultura de precisión mediante el uso de tecnologías duras y blandas, sin desconocer el papel que juega el “ser” y el “recurso natural”. (Cerón Muñoz & Barrios, 2019)

Nota. Referencia sobre centros de investigación, universidades y entidades públicas y privadas que han estado dirigiendo proyectos investigativos en torno a la AP en Colombia, desde el 2006 hasta el 2019.

4.4. La Agricultura de precisión en el futuro

Se estima para los años venideros un aumento entre el 14% y 15% del consumo de alimentos vegetales y provenientes de animales, el cual va sujeto al incremento de la población mundial; lo que resultaría en una elevada producción de soya, trigo, maíz y productos cárnicos, donde la participación de las tecnologías de la AP se convertirá en un recurso vital para satisfacer esa demanda (Bernardi et al., 2014; Piñeiro & Elverdin, 2017).

La infraestructura de la industria agrícola se proyecta con avances que permitan no solo incrementar el rendimiento, también, que respete el medio ambiente y se mantenga a la vanguardia en relación al cambio climático, el consumo y el comercio, a través de prácticas como biofertilizantes, plaguicidas naturales, elección de cultivos y rotaciones, cultivos intercalados, agrosilvicultura con árboles maderables, frutales o nogales e integración de elementos del paisaje seminatural a escala de campo o finca; además de, la fertilización orgánica, la fertilización dividida, la labranza reducida, el riego por goteo y el control biológico de plagas (Wezel et al., 2014).

De manera que, dentro de la constante evolución de la AP se promueve la alimentación de macrodatos o big data con las TICs, pues se incrementa la recolección, generación, procesamiento y visualización de un grupo importante y sustancial de información, lo que conllevaría a mejorar la toma de decisiones en tiempo real en los cultivos, potenciar el rendimiento y optimizar la gestión de los recursos (Bendre et al., 2015). Por esta razón, en el futuro se ve la AP como un método de producción agrícola común y ampliamente utilizado alrededor del mundo, donde la robótica, las grandes bases de datos, la automatización, la internet, los teléfonos móviles, el Internet de las cosas subterráneas (IOUT) y el IoT, se manejarán de forma estándar (Gonzales, 2018; Vite C. et al., 2018; Vuran et al., 2018).

Particularmente, en Colombia se está promoviendo la implementación del IoT para reducir las pérdidas de la producción que se generan anualmente, proponiendo para el futuro la implementación de este instrumento para optimizar los procesos agrícolas en los cultivos con mayores demandas del país; que a su vez, se mantengan al margen con las agresiones ambientales y sea asequible a los pequeños y medianos productores (Bertolotti Rivera et al., 2019; Duran Cantillo, 2019).

5. Resultados y discusiones

La AP es una herramienta que como su nombre lo indica actúa de forma precisa en las labores agrícolas, es decir, gestiona, analiza y resuelve problemas cotidianos relacionados a la producción como la abundancia o carencia de nutrientes en las plantas y/o suelo, y el exceso o déficit de utilidad en la cosecha; considerando la variabilidad espacial que existe en un territorio con fines agropecuarios. Dicha herramienta pretende aprovechar los avances tecnológicos en sistemas de posicionamiento, información geográfica, instrumentos de distribución de insumos de forma variable, sensores, vehículos de transporte (aéreos y/o terrestres) y demás herramientas de monitoreo, análisis y evaluación de datos; para la gestión y toma de decisión, con el fin de obtener un mejor rendimiento de cosecha evitando gastos innecesarios.

Entre las tecnologías más destacadas que ayudan a cumplir con las fases de recolección, interpretación y aplicación de mejoras, en la AP se reconocen las VRT, GNSS, SR, MR y SIG. De manera que, las VRT suministran fertilizantes, pesticidas, agua y semillas en dosis variadas según la necesidad; los GNSS complementan las VRT y permiten la automatización de la maquinaria agrícola; los SR recopilan a distancia detalles topográficos, meteorológicos, de suelos y cultivos; los MR estudian y evalúan el rendimiento del cultivo; los SIG almacenan, gestionan y sugieren soluciones, empleando mapas, gráficos y modelos.

En cuanto a su adopción, la AP ofrece ventajas en el manejo inteligente de los recursos, bienes y materiales; además, es un método que mejora a medida que se van implementando nuevos avances tecnológicos como el IoT, la robótica, la inteligencia artificial y la constante revolución científica en general, conservándose actualizada. De igual forma, su acogida carga desventajas como el alto costo de inversión inicial con relación a la adquisición, calibración y capacitación; también, la necesidad de un nivel educativo se hace imperativo para su correcto aprovechamiento.

Respecto a la intervención de la AP en la agroindustria colombiana, se rescatan importantes investigación y estudios sobre el impacto que esta tiene en el país, enfocándose en el estudio del suelo, el manejo por sitio específico de los cultivos y las enfermedades que afectan la salud de las plántulas.

6. Conclusiones

En conclusión, la AP es un instrumento que integra diferentes tecnologías de observación, recolección, análisis, evaluación, operación de campo, geoestadística y simulación, para impulsar la rentabilidad agronómica de forma viable y sustentable. No obstante, la mayoría de los equipos y tecnologías que dan sentido a la AP, no solo se aplican con fines agrícolas, sino también en distintas áreas de estudio del comportamiento de la naturaleza y la evolución de la humanidad y sus consecuencias; pues muchas de ellas recogen información útil para otras disciplinas. Por ejemplo, los sensores remotos, quienes al ofrecer un monitoreo parcial o constatación de la superficie terrestre, permiten la estimación y análisis del impacto de desastres naturales en la comunidad afectada (Hoque, 2017; Yamazaki & Liu, 2016).

Además, se reconoce que la AP es el resultado de una sobre explotación de recursos producto de la revolución verde, época en la que nació la exigencia y modificación de los campos, labores y plántulas para alcanzar las elevadas demandas de alimentos. De igual forma, se identifica que a medida que transcurre el tiempo y la humanidad cambia sus hábitos, se va acoplando a lo que estas modificaciones traen consigo, es decir, mejora con las nuevas tecnologías que aparecen y a su vez se convierte en una herramienta amigable con el medio ambiente, sistemática e integral. Como prueba de lo anterior, se estima para el futuro la manipulación a distancia de la maquinaria agrícola, como resultado de la automatización, robotización e inteligencia artificial (Science and Technology Office Tokyo, 2018).

También, se resuelve que la velocidad con que la AP se adopte en una nación como una herramienta frecuente en las actividades agrícola dependerá del capital terrenal, económico y humano; es decir, en países como Estados Unidos, Canadá, Australia, Brasil y parte de Argentina, donde se cumplen estos requisitos, la AP se acoge rápida y exitosamente; sin embargo, en Europa Occidental donde se cuenta con un alto nivel humano y financiero, pero con áreas pequeñas, la AP se adopta de modo lento a menos que se prueben beneficios ambientales reales. Igualmente, la participación de la AP en la producción agrícola en países como Sudáfrica y México, resultará del manejo adecuado del territorio y el capital (Swinton & Lowenberg-Deboer, 2001). Al mismo tiempo, la viabilidad y alcance de esta técnica va sujeta a la capacitación de los usuarios, al tipo de predio – si es público, privado, con único dueño o múltiples – y las investigaciones en torno a ella, pues de eso depende el correcto manejo de las herramientas, la recolección, manipulación y toma de decisión acorde a las bases de datos, impulsando una mayor rentabilidad en su adopción y propuestas de nuevas mejoras según las experiencias (Gil, 2002).

Asimismo, se expone material bibliográfico con relación a los proyectos e investigaciones sobre la agricultura de precisión en Colombia; el cual es orientada a estudios de la variabilidad espacial georreferenciando, planificando, clasificando, delimitando y valorando aquellas tierras destinadas a la industria agrícola.

Finalmente se concluye que, durante la revisión bibliográfica llevada a cabo en el presente trabajo, se encontró que la mayoría de los autores consultados coinciden en que la AP busca mitigar las consecuencias de la agricultura invasiva promoviendo actividades focalizadas, con el propósito de obtener el mayor beneficio de los recursos reduciendo pérdidas económicas y ambientales.

7. Recomendaciones

- Se recomienda prestar especial atención a la adopción de la AP y sus consecuencias en países como Argentina, Brasil, Chile y Perú, debido a que estas naciones cuentan con similitudes territoriales, sociales, culturales, políticas y económicas con Colombia; considerando las experiencias y equívocos que estas naciones hayan tenido, con el fin de desarrollar una adecuada capacitación sobre los componentes tecnológicos de la AP y evitar la propagación de errores en la calibración, manipulación y ejecución de equipos que involucran la AP en la producción agrícola
- Estudiar la posibilidad de adicionar un valor agregado a la información recopilada por instrumentos empleados en la AP mientras estos se estén usando en las labores de campo, pues es posible con ella desarrollar investigaciones en otras disciplinas como la arquitectura, hidrología, sociología y epidemiología, entre otras.
- Considerar las desventajas originadas por la acogida de la AP, es decir, asumir el alto costo de la adquisición de las tecnologías, la calibración de los mecanismos según el área donde se vayan a emplear y, el tiempo de capacitación y familiarización de los usuarios y/o beneficiarios.
- Promover la investigación teórica y práctica en la universidad en relación con la AP y sus componentes; brindado apoyo científico a través de bases de datos sólidas, amplias y actualizadas.

8. Estudios futuros

- Para una posterior investigación se aconseja realizar encuestas y entrevistas a las personas que pertenecen al sector agrario que estén o pretenden ejecutar la Agricultura de Precisión; ya que ese material brinda información actualizada sobre el nivel de conocimiento sobre el tema, los intereses que se tenga y el estado de adaptación de esta.
- Estudiar la participación de la AP en diferentes tipos de cultivos como el hidropónico o en cultivos verticales, con el fin de analizar la integración y comportamiento de esta herramienta en actividades y escenarios agrícolas diferente a los tradicionales.
- Se recomienda realizar un análisis económico de la adopción de la AP, adquiriendo una o varias o todos los instrumentos que la competen; con el propósito de evaluar la rentabilidad y las ventajas de su obtención parcial o completa.
- Investigar sobre el papel que cumple la AP alrededor del cambio climático, debido a que en este trabajo se mencionan beneficios de este método relacionados con la administración inteligente de recursos como el agua y los fertilizantes para reducir el impacto ambiental resultado de un abuso de estos; sin embargo, no se cuenta con cifras que demuestren tal beneficio.

Bibliografía

- Adamchuck, V. I., Lund, E., Dobermann, A., & Morgan, M. T. (2003). On-the-go mapping of soil properties using ion-selective electrodes. In *Precision Agriculture* (pp. 27–33). Wageningen Academic Publishers.
- Agroing. (2012). *Agricultura de Precisión: Monitores de Rendimiento*. Enero 9, 2012.
- Ambuel, J. R. (1995). *Knowledge and decision support for variable rate application of materials in prescription farming*. Iowa State University.
- Ampatzidis, Y. G., Vougioukas, S. G., Bochtis, D. D., & Tsatsarelis, C. A. (2009). A yield mapping system for hand-harvested fruits based on RFID and GPS location technologies: field testing. *Precision Agriculture*, 10(1), 63–72. <https://doi.org/10.1007/s11119-008-9095-8>
- Antúnez Sánchez, A. (2019). La Agricultura de Precisión en la Empresa Agraria de Cuba. *Revista Jurídica Direito & Paz*, 40, 258–285. <https://doi.org/ISSN 2359-5035>
- Arslan, S., & Colvin, T. S. (2002). Grain yield mapping: Yield sensing, yield reconstruction, and errors. *Precision Agriculture*, 3(2), 135–154. <https://doi.org/10.1023/A:1013819502827>
- Atherton, B. C., Morgan, M. T., Shearer, S. A., Stombaugh, T. S., & Ward, A. D. (1999). Site-specific farming: A perspective on information needs, benefits and limitations. *Journal of Soil and Water Conservation*, 54(2), 455–461.
- Aune, J. B., Coulibaly, A., & Giller, K. E. (2017). Precision farming for increased land and labour productivity in semi-arid West Africa. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 37(3), 16. <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0424-z>
- Bach, H., Mauser, W., & Schneider, K. (2003). The use of radiative transfer models for remote sensing data assimilation in crop growth models. In *Precision Agriculture*, J. Stafford, A. Werner (ed.), ISBN.
- Baggio, A. (2005). Wireless sensor networks in precision agriculture. *ACM Workshop on Real-World Wireless Sensor Networks (REALWSN 2005)*, 20, 1567–1576.
- Baluja, J., Diago, M. P., Goovaerts, P., & Tardaguila, J. (2012). Assessment of the spatial variability of anthocyanins in grapes using a fluorescence sensor: relationships with vine vigour and yield. *Precision Agriculture*, 13(4), 457–472. <https://doi.org/10.1007/s11119-012-9261-x>
- Barragá, E., Caicedo, A., Rivera, J., & Cadena, J. (2007). Determinación de factores abióticos que definen las zonas de mejor oferta Ambiental para la producción y calidad de fibra con énfasis en potasio para El algodónero en el valle cálido del alto magdalena, Colombia. *VI Congreso*

Brasileiro Do Algodão.

- Barrera, A. (2011). Nuevas realidades, nuevos paradigmas: la nueva revolución agrícola. *Comunica Online*, 8, 10–21.
- Basso, B., De Vita, P., Basso, F., De Franchi, A. S., Faraone Mennella, R., Pisante, M., Nigro, F., & Di Fonzo, N. (2003). Assessing and modelling spatial variability of yield and grain quality of durum wheat under extreme dry conditions. *Precision Agriculture. Wageningen Academic Publishers, Wageningen*, 53–59.
- Basso, B., Sartori, L., Bertocco, M., & Oliviero, G. (2003). Evaluation of variable depth tillage: economic aspects and simulation of long term effects on soil organic matter and soil physical properties. *Precision Agriculture. Wageningen Academic Publisher, Wageningen, Netherlands*, 61–67.
- Bastian, C. T., Mcleod, D. M., Germino, M. J., Reiners, W. A., & Blasko, B. J. (2002). Environmental amenities and agricultural land values: a hedonic model using geographic information systems data. *Ecological Economics*, 40(March 2002), 337–349. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(01\)00278-6](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(01)00278-6)
- Batista Pamplona, J., & Rodrigues Silva, M. A. (2018). ADOÇÃO DA AGRICULTURA DE PRECISÃO NA AMÉRICA DO SUL: O ESTADO DA ARTE EM ARGENTINA, BRASIL E COLÔMBIA. *Gestão & Regionalidade*, 35, 218–244. <https://doi.org/10.13037/gr.vol35n105.5555>
- Beidleman, S. W. (2006). *GPS versus Galileo*.
- Bendre, M. R., Thool, R. C., & Thool, V. R. (2015). Big data in precision agriculture: Weather forecasting for future farming. *2015 1st International Conference on Next Generation Computing Technologies (NGCT)*, 744–750. <https://doi.org/10.1109/NGCT.2015.7375220>
- Benítez, H. D. (2010). *Reconocimiento de patrones espaciales sísmicos en el suroccidente colombiano* (p. 29).
- Berglund, S., & Buick, R. (2005). Guidance and automated steering drive resurgence in precision farming. *Precision Agriculture* 05.
- Bernardi, A. C. de C., Naime, J. de M., Resende, Á. V. de, Bassoi, L. H., & Inamasu, R. Y. (2014). *Agricultura de precisao: Resultados de um novo Olhar* (1st ed.). Embrapa. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Bernardi Campos, A. C., Pedro Vaz, C. M., Vilela de Resende, A., Bassoi, L. H., Nascimento Abreu, V. M., Junior, A. L., Cruz, J., & Inamasu, R. Y. (2008). Agricultura de precisão no Brasil: adoção, resultados e perspectivas. *CURSO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA DE PRECISIÓN*, 8, EXPO DE MÁQUINAS PRECISAS, 3, 167–172.

- Bertolotti Rivera, A. A., Casapía Nue, G. F., Flórez Izquierdo, E., Pérez González, L. A., & Rubio González, A. F. (2019). *Planeamiento Estratégico para el Uso de Digital Farming en Colombia*. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Bilgili, A. V., Akbas, F., & van Es, H. M. (2011). Combined use of hyperspectral VNIR reflectance spectroscopy and kriging to predict soil variables spatially. *Precision Agriculture*, 12(3), 395–420. <https://doi.org/10.1007/s11119-010-9173-6>
- Blackmore, S. (2003). *The role of yield maps in Precision Farming A PhD thesis by papers* (Issue February). Cranfield University at Silsoe.
- Bongiovanni, R. (2003). La Agricultura de precisión en la cosecha. *IDIA Del INTA Manfredi Argentina*, 1–10.
- Bongiovanni, R., Montovani, E., Best, S., & Roel, A. (2006). *AGRICULTURA DE PRECISIÓN: Integrando Conocimientos para una agricultura moderna y sustentable*. PROCISUR/IICA.
- Bouwman, H., Hooff, B. Van Den, Wijngaert, L. Van De, & Dijk, J. Van. (2005). *Information and Communication Technology in Organizations: Adoption , Implementation , Use and Effects Processes and Factors*. SAGE Publications Ltd.
- Brisco, B., Brown, R. J., Hirose, T., McNair, H., & Staenz, K. (1998). Precision Agriculture and the Role of Remote Sensing: A Review. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 24(November), 315–327. <https://doi.org/10.1080/07038992.1998.10855254>
- Bullock, D., Ruffo, M., Bullock, D., & Bollero, G. (2009). The value of variable rate technology: an information-theoretic approach. *American Journal of Agricultural Economics*, 91(February), 209–223. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8276.2008.01157.x>
- Bustamante Muñoz, H. (1986). Conceptos sobre adecuacion de tierras agricolas. *Revista Facultad Nacional de Agronomia*, XXXIX(1), 5–35.
- Campbell, J. B., & Wynne, R. H. (2011). *Introduction to Remote Sensing* (Firth Edit). Guilford Press.
- Campbell, J. E., & Shin, M. (2012). *Geographic Information System Basics* (1st ed.). Creative Commons CC.
- Campos, E. D., & Meza, G. A. (2018). *Las nuevas tecnologías aplicadas a la fase Agrícola de la cadena productiva del arroz, en el departamento del Casanare*. Universidad Abierta y a Distancia.
- Capraro, F., Patino, D., Tosetti, S., & Schugurensky, C. (2008). Neural Network-Based Irrigation Control for Precision Agriculture. *2008 IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control*, 357–362. <https://doi.org/10.1109/ICNSC.2008.4525240>

- Capraro, F., & Tosetti, S. (2020). Herramientas modernas de gestión en riego de precisión basadas en dispositivos electrónicos, programas informáticos y técnicas de control automático. *Electronic Journal of SADIO*, 19(1), 5–31.
- Carbonell G., J. A. (2008). Experiencia del sector cañicultor en agricultura específica por sitio. *Congreso Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite. Bucaramanga, Colombia. XXXVI Mayo 28-30, 2008.*, 65–70.
- Carlson, T. N., & Ripley, D. A. (1997). On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index. *Remote Sensing of Environment*, 62(3), 241–252. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(97\)00104-1](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(97)00104-1)
- Cerón Muñoz, M., & 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.
- Chávez, J., Pierce, F., Elliott, T., & Evans, R. (2010a). A remote irrigation monitoring and control system (RIMCS) for continuous move systems. Part B: Field testing and results. *Precision Agriculture*, 11, 11–26. <https://doi.org/10.1007/s11119-009-9110-8>
- Chávez, J., Pierce, F., Elliott, T., & Evans, R. (2010b). A Remote Irrigation Monitoring and Control System for continuous move systems. Part A: description and development. *Precision Agriculture*, 11, 1–10. <https://doi.org/10.1007/s11119-009-9109-1>
- Chilés, J. P., & Delfiner, P. (1999). *Geostatistics, Modeling Spatial Uncertainty*. John Wiley & Sons, INC.
- Ciancaglini, N., Schilardi, C., Tozzi, F., Ortiz Maldonado, G., Rearte, E., Rodriguez Plaza, L., Atencio, L., & Zuleta, J. (2005). Desarrollo de un soporte informático para la gestión de la conservación de redes de riego. *Conference: Congreso Nacional Del Agua*, 10.
- Cisneros, R. (2003). Apuntes de la Materia Riego y Drenaje. *Universidad Autonoma de San Luis de Potosi*, 164. <http://www.ingenieria.uaslp.mx/Documents/Apuntes/Riego y Drenaje.pdf>
- Da Costa, J. P., Michelet, F., Germain, C., Lavialle, O., & Grenier, G. (2007). Delineation of vine parcels by segmentation of high resolution remote sensed images. *Precision Agriculture*, 8(1–2), 95–110. <https://doi.org/10.1007/s11119-007-9031-3>
- Daberkow, S. G., & McBride, W. D. (2003). Farm and operator characteristics affecting the awareness and adoption of precision agriculture technologies in the US. *Precision Agriculture*, 4, 163–177.
- Damian, J. M., Santi, A. L., Fornari, M., Da Ros, C. O., & Eschner, V. L. (2017). Monitoring variability in cash-crop yield caused by previous cultivation of a cover crop under a no-tillage system. *Computers and Electronics in Agriculture*, 142, 607–621. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.11.006>

- de Carvalho-Pinto, F. de A., de Queiroz, D. M., Chartuni, E., & Ruz, E. (2007). Agricultura de precisión: nuevas herramientas para mejorar la gestión tecnológica en la empresa agropecuaria. *Revista Palmas*, 28(4), 29–34.
- de Castro, A. I., Jurado-Expósito, M., Peña-Barragán, J. M., & López-Granados, F. (2012). Airborne multi-spectral imagery for mapping cruciferous weeds in cereal and legume crops. *Precision Agriculture*, 13(3), 302–321. <https://doi.org/10.1007/s11119-011-9247-0>
- Dong, X., Vuran, M. C., & Irmak, S. (2013). Autonomous precision agriculture through integration of wireless underground sensor networks with center pivot irrigation systems. *Ad Hoc Networks*, 11(7), 1975–1987.
- Drysdale, G., & Metternicht, G. (2003). *REMOTE SENSING FOR SITE-SPECIFIC CROP MANAGEMENT: EVALUATING THE POTENTIAL OF DIGITAL MULTI-SPECTRAL IMAGERY FOR MONITORING CROP VARIABILITY AND WEEDS WITHIN PADDOCKS*. 17.
- Dunn, M. G. (Ed.). (1989). *Exploring Your World: The Adventure of Geography*. National Geographic Society.
- Duran Cantillo, E. O. (2019). *Análisis de la implementación del internet de las cosas en la agroindustria colombiana para optimizar y aumentar los procesos de producción*. Universidad Cooperativa de Colombia.
- Dwivedi, R. S. (2017). Remote Sensing of Soils. In *Remote Sensing of Soils* (497th ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-53740-4>
- Editors, S., Murphy, R. J., & Rulkens, W. H. (2011). Environmental Science and Engineering Environmental Engineering. In *Environ. Sci. Eng.* (Vol. 3). <https://doi.org/10.1007/978-3-642-29384-9>
- El-Rabbany, A. (2002). *Introduction to GPS: The Global Positioning System*. Artech House. <https://books.google.com.au/books?id=U2JmghrrB8cC>
- Fajardo Junco, J. C. (2014). *Apoyo a la agricultura de precisión en Colombia a partir de imágenes adquiridas desde Vehículos Aéreos No Tripulados (UAV'S)*. Pontificia Universidad Javeriana.
- Ferreira, M., & Vázquez, F. (2015). *Agricultura y desarrollo en Paraguay* (Investor (Ed.)). U.G.P.
- Fleming, K. L., Westfall, D. G., & Bausch, W. C. (2000). Evaluating management zone technology and grid soil sampling for variable rate nitrogen application. *Proceedings of the 5th International Conference on Precision Agriculture*, 16–19.
- Fonseca, F. T., & Egenhofer, M. J. (1999). Ontology-driven geographic information systems. In C. Bauzer Medeiros (Ed.), *Proceedings of the 7th ACM international symposium on Advances*

in geographic information systems (Issue November, pp. 14–19).

- García Álvarez, D. A. (2008). *Sistema GNSS (GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM)*. 1–124.
- García, F. O. (2002). Beneficios potenciales del uso de las herramientas de Agricultura de Precisión en el diagnóstico y aplicación de fertilizantes. *3er Taller de Agricultura de Precisión Del Cono Sur*, 6.
- Ge, Y., Thomasson, J. A., & Sui, R. (2011). Remote sensing of soil properties in precision agriculture : A review. *Front, Earth Sci.*, 5(3), 229–238. <https://doi.org/10.1007/s11707-011-0175-0>
- Gebhardt, S., & Kühbauch, W. (2007). A new algorithm for automatic *Rumex obtusifolius* detection in digital images using colour and texture features and the influence of image resolution. *Precision Agriculture*, 8(1–2), 1–13. <https://doi.org/10.1007/s11119-006-9024-7>
- Gemtos, T. A., Fountas, S., & Aggelopoulou, K. (2011). Precision agriculture applications in horticultural crops in greece and worldwide. *CEUR Workshop Proceedings*.
- Gil, E. (2002). *Situación actual y posibilidades de la Agricultura de Precisión*. 47.
- Gilles Rochecouste, J.-F. (2016). *An analysis of conservation agriculture as a response to climate change in Australian dryland farming systems*. The University of Queensland.
- Gonzales, M. (2018). La agricultura de precisión como fuente de alimento global para 2050. *Review of Global Management*, 3(2), 86–88. <https://doi.org/https://doi.org/10.19083/rgm.v3i2.781>
- González Robaina, F., López Seijas, T., González Baucells, P. A., & Cisneros Zayas, E. (2004). Uso del GeoConcept en la planificación de la finca de transferencia de tecnología del instituto de investigaciones de riego y drenaje. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 13(2).
- Guarín Giraldo, G. W., & Ochoa, A. (2012). Calibración y Validación del Modelo SIMBA-POP en la Zona Bananera del Urabá Antioqueño, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 65(1), 6419–6429.
- Guaus, A., Bsaibes, A., Cartailier, T., Prieur, C., Lebon, E., Gerard, F., & Jallas, E. (2013). A model-driven decision support system for vineyard water status management: a time-dependent sensitivity analysis. In *Precision agriculture 13* (pp. 451–457). Wageningen Academic Publishers.
- Gutiérrez, J. C., & Romero Z, M. F. (2006). *Fundamentos básicos de agricultura de precisión aplicables al manejo integral del cultivo de banano* (p. 32). Comunicaciones AUGURA.
- Hautala, M., & Hakojärvi, M. (2011). An analytical C3-crop growth model for precision farming.

- Precision Agriculture*, 12(2), 266–279. <https://doi.org/10.1007/s11119-010-9174-5>
- Havlin, J. L., & Heiniger, R. W. (2009). A variable-rate decision support tool. *Precision Agriculture*, 10–4, 356–369. <https://doi.org/10.1007/s11119-009-9121-5>
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., & Wasle, E. (2008). *GNSS – Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more*. SpringerWienNewYork.
- Hoque, M. A.-A. (2017). *Cyclone disaster mapping, monitoring and management using satellite remote sensing and spatial analysis* [The University of Queensland]. <https://doi.org/10.14264/uql.2017.908>
- Hurtado Camacho, R. E., Rincón Romero, V., Mercado Marino, H. M., & Gómez Latorre, D. (2009). Agricultura de precisión: Análisis exploratorio de evolución espacio-temporal de la incidencia de Pudrición del Cogollo (PC) de la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.). Núcleo productivo de San Andrés de Tumaco. *Palmas*, 30(2), 35–52.
- Ikokou, G. B. (2013). Application technical GNSS applications for agricultural practices. *Position IT*. http://www.ee.co.za/wp-content/uploads/legacy/positionit_2013/gnss-applications.pdf
- Inman, D., Khosla, R., Reich, R. M., & Westfall, D. G. (2007). Active remote sensing and grain yield in irrigated maize. *Precision Agriculture*, 8(4–5), 241–252. <https://doi.org/10.1007/s11119-007-9043-z>
- Isaacs, C. H., Carbonell, J. A., Amaya, A., Torres, J. S., Victoria, J. I., Quintero, R., Palma, A. E., & Cock, J. H. (2007). Site specific agriculture and productivity in the Colombian sugar industry. *Proceedings of the Congress International Society of Sugar Cane Technologists (ISSCT)*, 26, 339–350.
- Jia, Y., & Savi, P. (2017). Sensing soil moisture and vegetation using GNSS-R polarimetric measurement. *Advances in Space Research*, 59(3), 858–869. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2016.11.028>
- Jiménez, A., Ravelo, D., & Gómez, J. (2010). Sistema de adquisición, almacenamiento y análisis de información fenológica para el manejo de plagas y enfermedades de un duraznero mediante tecnologías de agricultura de precisión. *Revista Tecnura*, 14(27), 51.
- Jimenez Carvajal, C., Antonilo, A., Vera, J. A., Jimenez Buendia, M., Ruiz Peñalver, L., & Molina Martinez, J. M. (2016). *Sistema de instrumentación para lisímetros de maceta con monitorización precisa del riego* (pp. 91–94). II Simposio Nacional de Ingeniería Hortícola, Automatización y TICS en agricultura.
- Jiménez López, A. F., Jiménez López, F. R., & Fagua Pérez, E. (2013). Procesamiento digital de imágenes de sensores remotos para aplicaciones de agricultura de precisión. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 1(21), 19–26.

- Karimzadeh, R., Hejazi, M. J., Helali, H., Iranipour, S., & Mohammadi, S. A. (2011). Assessing the impact of site-specific spraying on control of *Eurygaster integriceps* (Hemiptera: Scutelleridae) damage and natural enemies. *Precision Agriculture*, 12(4), 576–593. <https://doi.org/10.1007/s11119-010-9202-5>
- Kazantsev, V. N., Reshetnev, M. K., Kozlov, A. G., & Cheremisin, V. E. (1994). Overview and design of the Glonass system. *Satellite Communications*.
- Kerry, R., & Oliver, M. A. (2008). Determining nugget: sill ratios of standardized variograms from aerial photographs to kriging sparse soil data. *Precision Agriculture*, 9(1–2), 33–56. <https://doi.org/10.1007/s11119-008-9058-0>
- Knox, J. W., & Weatherfield, E. K. (1999). The application of GIS to irrigation water resource management in England and Wales. *Geographical Journal*, 165(March), 90–98.
- Koch, B., & Khosla, R. (2003). The role of precision agriculture in cropping systems. *Journal of Crop Production*, 9, 361–381.
- Kolios, S., Vorobev, A. V., Vorobeva, G. R., & Stylios, C. (2017). *GIS and Environmental Monitoring - Applications in the Marine, Atmospheric and Geomagnetic Fields* (20th ed.). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-53086-4>
- Krishna, K. R. (2013). *Precision farming: soil fertility and productivity aspects*. Apple Academic Press, Inc.
- Kyaw, T., Ferguson, R. B., Adamchuk, V. I., Marx, D. B., Tarkalson, D. D., & McCallister, D. L. (2008). Delineating site-specific management zones for pH-induced iron chlorosis. *Precision Agriculture*, 9(1–2), 71–84. <https://doi.org/10.1007/s11119-008-9059-z>
- Lavtar, R. (2013). Ways and Side Ways of Using the Information and Communication Technology (ICT) in Knowledge Sharing in Organizations. *LEX LOCALIS - JOURNAL OF LOCAL SELF-GOVERNMENT*, 4(11), 871–882. [https://doi.org/10.4335/11.4.871-882\(2013\)ISSN](https://doi.org/10.4335/11.4.871-882(2013)ISSN)
- Leiva, F. R. (2003). La agricultura de precisión : una producción más sostenible y competitiva con visión futurista. *Conferencia Presentada En El VIII Congreso de La Sociedad Colombiana de Fitomejoramiento y Producción de Cultivos, julio*, 997–1006.
- Lenthe, J.-H., Oerke, E.-C., & Dehne, H.-W. (2007). Digital infrared thermography for monitoring canopy health of wheat. *Precision Agriculture*, 8(1–2), 15–26. <https://doi.org/10.1007/s11119-006-9025-6>
- León G., L., & Best S., S. (2007). Aplicación de Agricultura de Precisión en Chile : Nuevos desafíos en cultivos tradicionales. *Inia, BOLETIN* 16(d), 12–15.
- Li, D., & Lin, Z. (2015). *Computer and Computing Technologies in Agriculture IX* (IX). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-48354-2>

- Liaghat, S., & Balasundram, S. K. (2010). A Review: The Role of Remote Sensing in Precision Agriculture. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 5(1), 50–55.
- Liu, J., Sun, S., Ninomiya, S., & Cai, H. (2003). Three Precision Agriculture patterns based on technology and resources in China. *EFITA 2003 Conference*, 5–9.
- Lizarazo Salcedo, I. A., & Carvajal, O. A. A. (2011). Aplicaciones de la agricultura de precisión en palma de aceite “*Elaeis Guineensis*” e híbrido O x G. *Revista de Ingeniería*, 33, 124–130.
- Lück, E., Gebbers, R., Ruehlmann, J., & Spangenberg, U. (2009). Electrical conductivity mapping for precision farming. *Near Surface Geophysics*, 15–35.
- Mahajanashetti, S. B., English, B. C., & Roberts, R. K. (1999). Spatial Break-Even Variability for Custom Hired Variable Rate Technology Adoption. In Department of Agricultural Economics and Rural Sociology (Ed.), *American Agricultural Economics Association Meeting* (p. 16). The University of Tennessee.
- Maier, S., & Günther, K. (2001). *Sun-induced fluorescence: A new tool for precision farming* (pp. 90–93).
- Malagón Manrique, R., & Prager Morquera, M. (2001). *El enfoque de Sistemas: Una opción para el análisis de las unidades de producción agrícola*. FERIVA S.A.
- Malaysian Agricultural Research and Development Institute (MARDI), Food, & (FFTC), and F. T. C. for the A. and P. R. (2019). *INTERNATIONAL WORKSHOP ON ICTs FOR PRECISION AGRICULTURE* (p. 130).
- Mann, K. K., Schumann, A. W., & Obreza, T. A. (2011). Delineating productivity zones in a citrus grove using citrus production, tree growth and temporally stable soil data. *Precision Agriculture*, 12(4), 457–472. <https://doi.org/10.1007/s11119-010-9189-y>
- Mardoqueo González, J. (2005). *Guía Técnica: Cultivo de Jiquilite (Indigofera spp.) en El Salvador* (O. Bonilla & N. Chalabi (Eds.); p. 55). IICA.
- Martínez, B., Camacho-de Coca, F., & García, F. J. (2006). Estimación de parámetros biofísicos de vegetación utilizando el método de la cámara hemisférica. *Revista de Teledetección*, 26, 5'17.
- Matheron, G. (1963). Principles of Geostatistics. In *Economic Geology* (Vol. 58, pp. 1246–1266). Bureau de Recherches Geologique et Minières.
- McHarg, I. L. (1995). *Design with Nature* (P. L. Corporation (Ed.); 1st ed.). Perfection Learning Corporation.
- Medina Rojas, F., Arguello Fuentes, H., & Gómez, C. (2016). Diseño de Patrones de Estratificación de Cultivos en el Departamento del Huila Colombia, Minería de Datos para

- una Agricultura de Precisión. *Proceedings of the 14th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: "Engineering Innovations for Global Sustainability,"* 1–7. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2016.1.1.104>
- Melchiori, R. J. M., Albarenque, S. M., & Kemerer, A. C. (2013). Uso, adopción y limitaciones de la agricultura de precisión en Argentina. *Curso Int. Agric. Precisión*, 12(2013), 7.
- Miao, Y., Mulla, D. J., Randall, G. W., Vetsch, J. A., & Vintila, R. (2009). Combining chlorophyll meter readings and high spatial resolution remote sensing images for in-season site-specific nitrogen management of corn. *Precision Agriculture*, 10(1), 45–62. <https://doi.org/10.1007/s11119-008-9091-z>
- Molin, José P., Colaço, A. F., & Carlos, E. F. (2012). Yield mapping, soil fertility and tree gaps in an orange orchard. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 34(4), 1256–1265.
- Molin, Jose P., & Mascarín, L. S. (2007). Colheita de citros e obtenção de dados para mapeamento da produtividade. *Engenharia Agrícola*, 27(1), 259–266.
- Molin, José Paulo, Viegas, A., Frasson, F. R., Di Chiacchio, G., & Tosta, W. (2010). Test procedure for variable rate fertilizer on coffee. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 32, 569–575. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v32i4.5282>
- Mondal, P., & Basu, M. (2009). Adoption of precision agriculture technologies in India and in some developing countries: Scope, present status and strategies. *Progress in Natural Science*, 19(6), 659–666. <https://doi.org/10.1016/j.pnsc.2008.07.020>
- Monson, R. J., & Bauer, N. A. (1993). VARIABLE RATE APPLICATION SYSTEM (Patent No. 5220876). In BASF Aktiengesellschaft (No. 5220876). <https://doi.org/US00548591A>
- Montenbruck, O., & Steigenberger, P. (2013). The BeiDou Navigation Message. *Journal of Global Positioning Systems*, 12(1), 1–12. <https://doi.org/10.5081/jgps.12.1.1>
- Mouazen, A. M., & Ramon, H. (2003). Derivation of dry bulk density maps using a soil compaction model. In *Precision agriculture* (p. 433).
- Mulla, D. J. (2013). Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. *Biosystems Engineering*, 114(4), 358–371. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.08.009>
- Murray, R. I., & Yule, I. J. (2007). *Developing variable rate application technology: Economic impact for farm owners and topdressing operators*. 50, 65–72. <https://doi.org/10.1080/00288230709510283>
- Murray, R. I., Yule, I. J., & Gillingham, A. G. (2007). *Developing variable rate application technology: Modelling annual pasture production on hill country*. 50, 41–52. <https://doi.org/10.1080/00288230709510281>

- Narvaez Ortiz, G. C. (2008). *Automatización de un sistema de riego dedicado a la producción florícola basado en las Tecnologías de Agricultura de Precisión y en Telemetría utilizando la plataforma de Comunicaciones de telefonía móvil GPRS*. Escuela Politécnica Nacional.
- Nash, E., Korduan, P., & Bill, R. (2009). Applications of open geospatial web services in precision agriculture: a review. *Precision Agriculture*, 10(6), 546–560. <https://doi.org/10.1007/s11119-009-9134-0>
- National Agricultural Library, U. (n.d.). *The National Agricultural Library's Agricultural Thesaurus and Glossary*. 2002. <https://agclass.nal.usda.gov/>
- Negrete, J. C. (2017). Precision Agriculture in Mexico; Current Status and Perspectives. *International Journal of Horticulture*, Vol. 7(No. 10), 75–81. <https://doi.org/10.5376/ijh.2017.07.0010>
- Nieuwenhuizen, A. T., Tang, L., Hofstee, J. W., Müller, J., & van Henten, E. J. (2007). Colour based detection of volunteer potatoes as weeds in sugar beet fields using machine vision. *Precision Agriculture*, 8(6), 267–278. <https://doi.org/10.1007/s11119-007-9044-y>
- ODEPA, O. de E. y P. A. (2009). *Alcance de la agricultura de precisión en Chile: estado del arte, ámbito de aplicación y perspectivas* (p. 114). Gobierno de Chile, ODEPA.
- OECD. (2015). *OECD Review of Agricultural Policies: Colombia 2015*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264227644-en>
- Oláh, J., & Popp, J. (2018). The Outlook of precision farming in Hungary. *Network Intelligence Studies*, VI(12), 91–99.
- Oliver, M. A. (Ed.). (2010). *Geostatistical Applications for Precision Agriculture*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-90-481-9133-8>
- Olivera, A., & Visser, R. (2016). Development of forest-yield maps generated from Global Navigation Satellite System (GNSS)-enabled harvester StanForD files: preliminary concepts. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 46(1), 3. <https://doi.org/10.1186/s40490-016-0059-x>
- Ordúz Salamanca, K. E. (2014). *Variabilidad espacial de la resistencia mecánica a la penetración del suelo. “Caso Estudio: Centro Agropecuario Marengo - Sabana De Bogotá.”* Universidad Militar Nueva Granada.
- Orjuela Alvarez, J. L. (2012). *Desarrollo e implementación del diseño tecnológico para el proyecto de agricultura de precisión en un cultivo de tomate en Sutamarchán, Boyacá (Colombia)*. Universidad Santo Tomás.
- Orozco, Ó. A., & Llano Ramírez, G. (2016). Sistemas de Información enfocados en tecnologías de agricultura de precisión y aplicables a la caña de azúcar, una revisión. *Revista Ingenierías*

- Universidad de Medellín, 15(28), 103–124. <https://doi.org/10.22395/rium.v15n28a6>
- Ossa Duque, S. I. (2017). Monitoreo y control de variables ambientales mediante una red inalámbrica para agricultura de precisión en invernaderos. *Revista Vector*, 12, 51–60. <https://doi.org/10.17151/vect.2017.12.6>
- Pachón Bejarano, R., & Chavarro, J. I. (2008). Agricultura de precisión aplicada a la estimación del comportamiento hidráulico de los suelos con fines de riego y drenaje. *Ingeniería y Región*, 5, 15–23.
- Palaniswami, C., Gopalasundaram, P., & Bhaskaran, A. (2011). Application of GPS and GIS in Sugarcane Agriculture. *Sugar Tech*, 13(December), 360–365. <https://doi.org/10.1007/s12355-011-0098-9>
- Paredes Vinuesa, M. N. (2017). *Implementación de un prototipo de WSN con nodos inteligentes para el sistema de riego aplicado a la agricultura de precisión para el CER – ESPOCH*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Paustian, M., & Theuvsen, L. (2017). Adoption of precision agriculture technologies by German crop farmers. *Precision Agriculture*, 18(5), 701–716. <https://doi.org/10.1007/s11119-016-9482-5>
- Paz Pellat, F., Palacios Vélez, E., Mejía Sáenz, E., Martínez Menes, M., & Palacios Sánchez, L. A. (2005). Análisis De Los Espacios Espectrales De La Reflectividad Del Follaje De Los Cultivos. *Agrociencia*, 39, 293–301.
- Peansupap, V., & Walker, D. H. T. (2005). FACTORS ENABLING INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY DIFFUSION AND ACTUAL IMPLEMENTATION IN CONSTRUCTION ORGANISATIONS. *ITcon*, 10(July), 193–219.
- Pedersen, S. M., & Lind, K. M. (2017). *Precision Agriculture: Technology and Economic Perspectives*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-68715-5>
- Pérez-Ruiz, M., Carballido, J., Agüera, J., & Gil, J. A. (2011). Assessing GNSS correction signals for assisted guidance systems in agricultural vehicles. *Precision Agriculture*, 12(5), 639–652. <https://doi.org/10.1007/s11119-010-9211-4>
- Perez-Ruiz, M., & K., S. (2012). GNSS in Precision Agricultural Operations. In *New Approach of Indoor and Outdoor Localization Systems*. InTech. <https://doi.org/10.5772/50448>
- Pérez Navarro, A. (2011). *Introducción a los sistemas de información geográfica y geotelemática* (A. Pérez Navarro (Ed.)). Editorial UOC.
- Pierce, F. J. (2011). *GIS Applications in Agriculture, Volume Three: Invasive Species* (S. A. Clay (Ed.)). CRC Press.

- Pierce, F. J., & Clay, D. (Eds.). (2007). *GIS Applications in Agriculture*. CRC Press.
- Piñeiro, V., & Elverdin, P. (2017). *La Agricultura en el Cono Sur, una contribución global*. Grupo de Países Productores del Sur.
- Ping, J. L., & Dobermman, A. (2005). *Processing of Yield Map Data* - [viewcontent.cgi. http://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1365&context=agronomyfacpub](http://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1365&context=agronomyfacpub)
- Polak, G. (2013). *Agricultura de precisión para la corrección de ambientes con elevado valor de sodio intercambiable*. Universidad de Buenos Aires.
- Polder, G., van der Heijden, G. W. A. M., van Doorn, J., Clevers, J. G. P. W., van der Schoor, R., & Baltissen, A. H. M. C. (2010). Detection of the tulip breaking virus (TBV) in tulips using optical sensors. *Precision Agriculture*, 11(4), 397–412. <https://doi.org/10.1007/s11119-010-9169-2>
- Polischuk, G. M., Kozlov, V. I., Ilitchov, V. V., Kozlov, a G., Bartenev, V., Kossenko, V. E., Anphimov, N. a, Revnivkykh, S., Pisarev, S. B., Tyulyakov, a E., Shebshaevitch, B. V, Basevitch, a B., & Vorokhovsky, Y. L. (2002). The Global Navigation Satellite System GLONASS: Development And Usage In The 21st Century. *34th Annual Precise Time and Time Interval (PTTI) Meeting*, 151–160. <http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?Location=U2&doc=GetTRDoc.pdf&AD=ADA484380>
- Pravia Nin, M. V. (2009). *Uso de los elementos de agricultura de precisión y modelos de simulación para la incorporación de la dimensión espacio-temporal en la investigación de cultivos agrícolas: A) impacto de prácticas de manejo de suelos y atributos del terreno en la productivi*. Universidad de la Republica Oriental del Uruguay.
- Qin, C.-Z., Zhu, A.-X., Pei, T., Li, B.-L., Scholten, T., Behrens, T., & Zhou, C.-H. (2009). An approach to computing topographic wetness index based on maximum downslope gradient. *Precision Agriculture*, 12, 32–43. <https://doi.org/10.1007/s11119-009-9152-y>
- QLD Farmers' Federation. (2016). *What is Agriculture?* 1 November.
- Rafull, L., Zulys, L., De, S. A., Márcio, C., & Carlos, R. (2001). Redalyc.Agricultura de precisión. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 10(1010–2760). <http://www.redalyc.org>
- Rao, N. R., Garg, P. K., & Ghosh, S. K. (2007). Development of an agricultural crops spectral library and classification of crops at cultivar level using hyperspectral data. *Precision Agriculture*, 8(4–5), 173–185. <https://doi.org/10.1007/s11119-007-9037-x>
- Red de BPA (Ed.). (2015). *Buenas Prácticas Agrícolas : Lineamientos de Base*. CASAFE ORG.
- Reddy, P. P. (2017). *Agro-ecological Approaches to Pest Management for Sustainable Agriculture*. Springer.

- Rengifo Estrada, G. A. (2009). *Efecto de la variabilidad espacial de algunas propiedades físicas y químicas del suelo sobre el rendimiento del cultivo de maíz en choclo (ZeaMays L.) En la sabana de Bogotá*. UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE PALMIRA.
- Rinner, C., Kumari, J., & Mavedati, S. (2011). A geospatial Web application to map observations and opinions in environmental planning. In D. ević & V. Li (Ed.), *Advances in Web-based GIS, Mapping Services and Applications* (pp. 277–291). Taylor & Francis Group.
- Roa Merlano, R. R. (2017). *Implementación De La Agricultura De Precisión Para Optimizar La Producción Del Algodón En Cereté, Córdoba*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia.
- Robert, P. C. (1999). Precision Agriculture: An Informative Revolution In Agriculture. *Agricultural Outlook Forum*, 6. [https://doi.org/No. 1443-2016-119093](https://doi.org/No.1443-2016-119093)
- Robertson, M. J., Llewellyn, R. S., Mandel, R., Lawes, R., Bramley, R. G. V., Swift, L., Metz, N., & O'Callaghan, C. (2012). Adoption of variable rate fertiliser application in the Australian grains industry: status, issues y prospects. *Precision Agriculture*, 13, 181–199. <https://doi.org/10.1007/s11119-011-9236-3>
- Roel, Á. (2005). Agricultura de Precisión, una herramienta para innovar. *Revista INIA*, 3, 36–37.
- Romero, H. M., Araque, L., & Forero, D. (2008). La agricultura de precisión en el manejo del cultivo de la palma de aceite. *Revista Palmas*, 29(1), 13–21.
- Ruiz, L. Á., Estornell, J., & Erena, M. (2017). *TELEDETECCIÓN Nuevas plataformas y sensores aplicados a la gestión del agua, la agricultura y medio ambiente* (L. Á. Ruiz, J. Estornell, & M. Erena (Eds.)). Editorial Universitat Politècnica de València. www.lalibreria.upv.es
- Ruíz Martínez, W., Díaz-Gutiérrez, Y., Ferro-Escobar, R., & Pallares, L. (2019). Application of the Internet of Things through a Network of Wireless Sensors in a Coffee Crop for Monitoring and Control its Environmental Variables. *TecnoLógicas*, 22(46), 155–170. <https://doi.org/10.22430/22565337.1485>
- Ryu, C., Suguri, M., Iida, M., Umeda, M., & Lee, C. (2011). Integrating remote sensing and GIS for prediction of rice protein contents. *Precision Agriculture*, 12(3), 378–394. <https://doi.org/10.1007/s11119-010-9179-0>
- Saavedra Rincón, S. (2018). *Fertilización nitrogenada a tasa variada en seis campos de caña de azúcar: hacia un manejo ambiental sostenible bajo el concepto de agricultura de precisión*. Universidad Nacional de Colombia.
- Sadler, E. J., Evans, R. G., Stone, K. C., & Camp, C. R. (2005). Opportunities for conservation with precision irrigation. *Journal of Soil and Water Conservation*, 60(6), 371–378.
- Sahoo, R. N. (2010). *Geoinformatics for Precision Agriculture*. June 2010, 14–15. https://www.researchgate.net/publication/265421827_Geoinformatics_for_Precision_Agric

ulture

- Sakamoto, T., Gitelson, A. A., Wardlow, B. D., Arkebauer, T. J., Verma, S. B., Suyker, A. E., & Shibayama, M. (2012). Application of day and night digital photographs for estimating maize biophysical characteristics. *Precision Agriculture*, 13(3), 285–301. <https://doi.org/10.1007/s11119-011-9246-1>
- Salazar Barrios, R. D. (2010). *Sistemas de informática y automatización aplicados a la agricultura: Bondades y limitantes*. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Sanz, J. C., & Gallego, R. (2001). *Diccionario Akal del Color* (ilustrada). Ediciones AKAL.
- Sasao, A., & Shibusawa, S. (2000). *Prospects and Strategies for Precision Farming in Japan* (p. 6). Japan Agriculture Research Quarterly.
- Science and Technology Office Tokyo. (2018). *Agriculture in Japan: New developments in Smart Agriculture* (p. 8). Embassy of Switzerland in Japan.
- Servicio Topográfico Nacional de India. (2018). *Mapa esquemático de Afganistán y la frontera de Punjab*. Enero 9.
- Shafian, S., Rajan, N., Schnell, R., Bagavathiannan, M., Valasek, J., Shi, Y., & Olsenholler, J. (2018). Unmanned aerial systems-based remote sensing for monitoring sorghum growth and development. *PLoS ONE*, 13(5). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196605>
- Shannon, D. K., Clay, D. E., & Kitchen, N. R. (Eds.). (2018). *Precision Agriculture Basics*. ACSESS publications. <https://doi.org/10.2134/precisionagbasics>
- Srinivasan, A. (2006). Handbook of precision agriculture: Principles and applications. In *Euphytica*. CRC Press. <https://doi.org/10.1007/s10681-006-9350-x>
- Stafford, J. V. (Ed.). (2007). *Precision Agriculture '07*. Wageningen Academic Publishers.
- Stock, C., Bishop, I. D., Chen, H., Nino-Ruiz, M., & Wang, P. (2011). Web-based collaboration and decision making in GIS-built virtual environments. In D. ´evic´ & V. Li (Ed.), *Advances in Web-based GIS, Mapping Services and Applications* (pp. 293–310). Taylor & Francis Group.
- Sun, F. P., Liu, S., Zhu, X. H., & Men, B. H. (2012). Research and progress of Beidou satellite navigation system. *Science China Information Sciences*, 55(12), 2899–2907. <https://doi.org/10.1007/s11432-012-4724-2>
- Surjandari, I., & Batte, M. T. (2003). Adoption of Variable Rate Technology. *Makara Teknologi*, 7(3), 119–124.
- Swinton, S. M., & Lowenberg-Deboer, J. (2001). Global adoption of precision agriculture

- technologies: who, when and why? *Proceedings of the 3rd European Conference on Precision Agriculture*, 2, 557–562.
- Takeshima, H., & Joshi, P. K. (2019). *Protected agriculture, precision agriculture, and vertical farming: Brief reviews of issues in the literature focusing on the developing region in Asia*. Intl Food Policy Res Inst.
- Tenzin, S., Siyang, S., Pobkrut, T., & Kerdcharoen, T. (2017). Low Cost Weather Station for Climate-Smart Agriculture. *9th International Conference on Knowledge and Smart Technology (KST)*, 172–177. [https://doi.org/978-1-4673-9077-4/17/\\$31.00](https://doi.org/978-1-4673-9077-4/17/$31.00)
- Thorp, K. R., & Tian, L. F. (2004). A Review on Remote Sensing of Weeds in Agriculture. *Precision Agriculture*, 5, 477–508.
- Timlin, D., Pachepsky, Y., Walthall, C., & Loechel, S. (2001). The use of a water budget model and yield maps to characterize water availability in a landscape. *Soil and Tillage Research*, 58(3–4), 219–231. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(00\)00170-7](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(00)00170-7)
- Tomkiewicz, D., & Piskier, T. (2012). A plant based sensing method for nutrition stress monitoring. *Precision Agriculture*, 13(3), 370–383. <https://doi.org/10.1007/s11119-011-9252-3>
- Torres Galindo, A. K., Gómez Rivera, A. F., & Jiménez López, A. F. (2015). Desarrollo de un sistema multiespectral para aplicaciones en agricultura de precisión usando dispositivos embebidos. *Sistemas y Telemática*, 13(33), 27–44. <https://doi.org/10.18046/syt.v13i33.2079>
- Tremblay, N., Wang, Z., Ma, B.-L., Belec, C., & Vigneault, P. (2008). A comparison of crop data measured by two commercial sensors for variable-rate nitrogen application. *Precision Agriculture*, 10–2, 145–161. <https://doi.org/10.1007/s11119-008-9080-2>
- Urbano-Molano, F. A. (2013). Redes de Sensores Inalámbricos Aplicadas a Optimización en Agricultura de Precisión para Cultivos de café en Colombia. *Journal de Ciencia e Ingeniería*, 5(1), 46–52.
- Vázquez-Acuña, C., & Lamelas, C. F. (2011). Software para la emisión de recomendaciones de riego y drenaje en caña de azúcar y otros cultivos. *Ciencia En Su PC*, 4, 14–31.
- Vázquez Polo, J. R., Baena Garcia, D., & Menjivar Flores, J. C. (2010). Variabilidad espacial de propiedades físicas y químicas en suelos de la granja experimental de la Universidad del Magdalena (Santa Marta, Colombia). *Acta Agronómica*, 59(4), 449–456.
- Vieira, S. R., & Gonzalez, A. P. (2003). Analysis of the spatial variability of crop yield and soil properties in small agricultural plots. *Bragantia*, 62(1), 127–138. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052003000100016>
- Villalba, H. (n.d.). *Evolución de la agricultura de precisión en el Paraguay* (p. 9). INTA.

- Villalobos, F. J., Mateos, L., Orgaz, F., & Fereres, E. (2009). *FITOTECNIA : Bases y tecnologías de la producción agrícola* (Segunda ed.). Ediciones Mundi-Prensa.
- Vincini, M., Frazzi, E., & D'Alessio, P. (2008). A broad-band leaf chlorophyll vegetation index at the canopy scale. *Precision Agriculture*, 9(5), 303–319. <https://doi.org/10.1007/s11119-008-9075-z>
- Vite C., H., Vargas G., O., Vargas C., L., & Vargas C., J. (2018). *Internet de las Cosas Aplicado a la Producción Agropecuaria* (1era ed.). Editorial Grupo Compás.
- Vuran, M. C., Salam, A., Wong, R., & Irmak, S. (2018). Internet of underground things in precision agriculture: Architecture and technology aspects. *CSE Journal Articles*, 160–173. <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2018.07.017>
- Wang, F., Huang, J., & Lou, Z. (2011). A comparison of three methods for estimating leaf area index of paddy rice from optimal hyperspectral bands. *Precision Agriculture*, 12(3), 439–447. <https://doi.org/10.1007/s11119-010-9185-2>
- Wang, H., Ji-yun, J., & Wang, B. (2006). Improvement of soil nutrient management via information technology. *Better Crops*, 90(3), 30–32.
- Wezel, A., Casagrande, M., Celette, F., Vian, J.-F., Ferrer, A., & Peigné, J. (2014). Agroecological practices for sustainable agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34(1), 1–20. <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0180-7>
- Wilson, J. P. (1999). Local, national, and global applications of GIS in agriculture. In P. Longley & Wiley (Eds.), *Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Management, and Applications* (pp. 981–998). University of Minnesota. <https://doi.org/0471735450>
- Xiao, K., Xiao, D., & Luo, X. (2010). Smart water-saving irrigation system in precision agriculture based on wireless sensor network. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 26(11), 170–175. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-6819.2010.11.030>
- Xie, G., Chen, S., Qi, W., Lu, Y., Yang, X., & Liu, C. (2003). A multidisciplinary and integrated study of rice precision farming. *Chinese Geographical Science*, 13(1), 9–14.
- Yamazaki, F., & Liu, W. (2016). REMOTE SENSING TECHNOLOGIES FOR POST-EARTHQUAKE DAMAGE ASSESSMENT: A CASE STUDY ON THE 2016 KUMAMOTO EARTHQUAKE. *ASIA Conference on Earthquake Engineering*, 6ACEE, 22–24. <https://www.researchgate.net/publication/307351403>
- Yamin, M., Ismail, W., Kassim, M., Aziz, S., & Shamshiri, R. (2016). VRT liquid fertilizer applicator for soil nutrient management. *Jurnal Teknologi*, 78, 73–78.
- Yang, C., Everitt, J. H., & Bradford, J. M. (2007). Airborne hyperspectral imagery and linear spectral unmixing for mapping variation in crop yield. *Precision Agriculture*, 8(6), 279–296.

<https://doi.org/10.1007/s11119-007-9045-x>

Zhang, C., & Kovacs, J. M. (2012). The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review. *Precision Agriculture*, 13(6), 693–712. <https://doi.org/10.1007/s11119-012-9274-5>

Zhang, J., Huang, W., Li, J., Yang, G., Luo, J., Gu, X., & Wang, J. (2011). Development, evaluation and application of a spectral knowledge base to detect yellow rust in winter wheat. *Precision Agriculture*, 12(5), 716–731. <https://doi.org/10.1007/s11119-010-9214-1>

Zhang, Q. (Ed.). (2016). *PRECISION TECHNOLOGY AGRICULTURE FOR CROP FARMING*. Taylor & Francis Group.