

Métodos y conocimientos de Agricultura de Precisión como estrategia administrativa Agropecuaria



Methods and knowledge of Precision Agriculture as an Agricultural administrative strategy

<https://cu-id.com/2284/v14n3e08>

^①Carlos Fresneda-Quintana^{I*}, ^②Arturo Martínez-Rodríguez^{II}, ^③Alexander Laffita-Leyva^{II},
^④Odalys Zamora-Díaz^{III}, ^⑤Odalys Fresneda-Zamora^{III}

^IUniversidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez”, Cienfuegos, Cuba.

^{II}Universidad Agraria de La Habana (UNAH), San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

^{III}Universidad de Ciencias Médicas “Raúl Dorticó Torrado”, Cienfuegos, Cuba.

RESUMEN: La agricultura de precisión es la utilización y aplicación de las nuevas tecnologías en grandes y pequeñas unidades de superficie teniendo en cuenta la diversidad del suelo, el entorno ambiental y las necesidades de las plantas con el fin de gestionar y optimizar la aplicación de insumos (semillas, fertilizantes, fitosanitarios, riego...) para obtener una producción rentable, de calidad y respetuosa con el medio ambiente. Hace unos 20 años más o menos se lograron aplicaciones del sistema GPS (Global Positioning System) en agricultura para la obtención de la posición mediante coordenadas y la producción obtenida en cada uno de esos puntos. Con la elaboración de estos datos, se representaron los primeros mapas de rendimiento, comenzándose a llamar la utilización de estos nuevos sistemas "Agricultura de Precisión". En los últimos años con los avances tecnológicos en informática y en las nuevas redes de comunicación se han obtenido avances muy importantes, llegando a poder controlar el posicionamiento con errores menores a 1 metro, mediante DGPS y los SIG (Sistemas de Información Geográfica). Esta tecnología en Cuba está en fase totalmente experimental, pero es un hecho que los mapas de rendimiento se están obteniendo y estas informaciones son utilizables por equipos que se pueden montar en tractores.

Palabras clave: nueva tecnología, grande, pequeña, superficie, rentabilidad.

ABSTRACT: Precision agriculture is the use and application of new technologies in big and small surface units, taking into account the diversity of the soil, the environmental environment and the needs of the plants in order to manage and optimize the application of inputs (seeds, fertilizers, phytosanitary products, irrigation...) to obtain profitable, quality and environmentally friendly production. About 20 years ago or so, applications of the GPS system (Global Positioning System) were achieved in agriculture to obtain the position using coordinates and the production obtained at each of those points. With the preparation of this data, the first yield maps were represented, and the use of these new systems began to be called "Precision Agriculture." In recent years, with technological advances in computing and new communication networks, very important advances have been obtained, being able to control positioning with errors of less than 1 meter, through DGPS and GIS (Geographic Information Systems). This technology in Cuba is in a completely experimental phase, but it is a fact that performance maps are being obtained and this information can be used by equipment that can be mounted on tractors.

Keywords: New Technology, Big, Small, Surface, Profitability.

INTRODUCCIÓN

Definición La agricultura de precisión es una estrategia de administración que utiliza tecnología de la información y las comunicaciones para recolectar datos útiles desde diferentes fuentes con el fin de apoyar decisiones asociadas a producción de cultivos.

La definición de Agricultura de precisión podría ser la siguiente:

La utilización y aplicación de las nuevas tecnologías, teniendo en cuenta la diversidad del suelo, el entorno ambiental y las necesidades de las plantas con el fin de gestionar y optimizar la aplicación de insumos (semillas, fertilizantes,

*Autor para correspondencia: Carlos Fresneda-Quintana, e-mail: cfresneda291@gmail.com

Recibido: 13/11/2023

Aceptado: 14/06/2024

fitosanitarios, riego...) para obtener una producción rentable, de calidad y respetuosa con el medio ambiente ([Acosta & Flego, 2008](#); [Arealo, 2000](#); [Bongiovanni & Vicini, 2008](#); [Pérez & Upadhyaya, 2012](#))

La agricultura de precisión gestiona la tierra acorde a sus necesidades. Para ello se utilizan experiencias de muchas disciplinas y se integran las últimas herramientas y técnicas del mundo TIC (tecnologías de la información y la comunicación) para facilitar un mejor entendimiento del terreno ([Kemerer et al., 2020](#); [Kreimer, 2003](#)).

La agricultura de precisión proporciona la capacidad de recopilar, interpretar y aplicar información específica de las explotaciones, transformando datos e información en conocimiento y rentabilidad. Estos sistemas además permiten aumentar la precisión de las labores y la eficiencia de los equipos ([Acosta & Flego, 2008](#); [Amézquita & Chávez, 1999](#); [Bongiovanni & Vicini, 2008](#)).

Con esto actualmente los agricultores deben ser capaces de reducir costes y, en consecuencia, mejorar su rentabilidad.

DESARROLLO DEL TEMA

Tipos de variabilidad

La principal característica de la agricultura de precisión es la adquisición de datos de todas las posiciones del terreno, de esta forma se puede trabajar con más detalle. Al tener información exacta de cada posición se puede comparar las características de distintas coordenadas introduciendo la variabilidad; en este tipo de agricultura se tienen en cuenta las variaciones temporales, espaciales e históricas o predictivas ([Gil, 2008](#); [Gitelson & Merzlyak, 1997](#); [Kreimer, 2003](#)).

Variabilidad espacial

Se entiende como los cambios sufridos a lo largo del terreno de cultivo. Estos cambios se pueden ver, por ejemplo, en un mapa de rendimiento, para lo cual es necesario recopilar datos en posiciones precisas.

Para localizar estas posiciones en latitud y longitud se utiliza un sistema DGPS (GPS diferencial), al tiempo que se van recopilando otros datos de interés que mantengan una relación espacial, como pueden ser la calidad del suelo, cantidad de agua en el terreno, densidad del cultivo... Con ello se busca obtener mapas que resulten representativos del terreno y de utilidad para el agricultor ([Albóniga & Fernández de Castro Fabrè, 2001](#); [Arealo, 2000](#); [Bongiovanni & Vicini, 2008](#); [González et al., 2009](#)).

Variabilidad temporal La variabilidad temporal es el resultado de comparar un determinado número de mapas del mismo terreno a través de los años. Al interpretar este tipo de variabilidad se obtienen deducciones, pero aun así pueden obtenerse mapas de tendencias que muestren características esenciales.

Variabilidad predictiva

Este tipo de variabilidad está más relacionada con los errores de administración, como, por ejemplo, los precios estimados para la venta. Ésta puede ser calculada midiendo la diferencia entre los valores esperados y los valores realmente logrados ([Farfán et al., 2000](#); [Franquet & Querol, 2010](#); [Kreimer, 2003](#); [Rico & Del Castillo, 1974](#)).

Situación de la AP

Se ha estado experimentando a nivel mundial con lo que se denomina Dosis Variable (DV), que consiste en aplicar cantidades distintas de insumos en cada posición dependiendo de uno o varios parámetros, pero hay relativamente poco uso comercial fuera de EE.UU. y Canadá. En Latinoamérica y Australia el uso de DV está limitado por el alto coste de muestreo y análisis de suelo. En Europa Occidental, la DV se comienza a adoptar por la preocupación acerca de la contaminación ambiental, y para cumplir con normas legales.

Los primeros estudios económicos se centraron en la DV de fertilizante ya que fue la primera técnica de precisión disponible comercialmente. En general los estudios se centraban manejando uno o dos insumos. La mayoría de los estudios se realizaron sobre cultivos extensivos, porque ese era el “mercado masivo” buscado por los fabricantes y vendedores.

Los investigadores señalan que hasta hace poco la mayoría de los empresarios agrícolas, sobre todo europeos, desconocían el significado de esta técnica.

Existe una gran diferencia de eficiencia productiva y de rentabilidad empresarial entre un productor que llega tarde a la adopción tecnológica y otro innovador que sigue el ritmo de desarrollo tecnológico ([Acosta & Flego, 2008](#); [Gil, 2008](#)).

Utilización de la AP

Las empresas de agro-negocios y los grandes productores esperan una rápida tasa de adopción de la AP en los EE.UU. y Europa, aunque los datos reales muestran una distribución de adopción más lenta y más desigual que la esperada.

Probablemente la Agricultura de Precisión se va a limitar, en principio, a aquellas áreas con agricultura mecanizada y a gran escala ([Gutiérrez-Rodríguez et al., 2012](#); [Kreimer, 2003](#); [Ortiz- Cañavate, 2012](#); [Rico & Del Castillo, 1974](#)).

Agentes involucrados en la AP

Los agentes que directamente están involucrados en la agricultura de precisión podríamos decir que son el productor empresario, los asesores o consultores, las empresas proveedoras de insumos y las empresas proveedoras de equipamiento.

El productor empresario

Debido al crecimiento productivo y al incremento de las tareas gerenciales que debe realizar el productor, cada vez tiene menos tiempo para recorrer sus parcelas y hacerles un seguimiento adecuado. Mediante la Agricultura de Precisión dispondrá de información más detallada pudiendo realizar el seguimiento de los resultados de sus cultivos. También podrá evaluar y supervisar el trabajo de sus tractoristas y de los responsables de campo porque todo queda perfectamente registrado y geo-referenciado en los mapas de rendimiento.

El productor, mediante estas herramientas, podrá cuantificar fácilmente la variabilidad natural de su campo para luego realizar los ajustes de manejo oportunos, evaluar el resultado de nuevas técnicas, el comportamiento de diferentes materiales genéticos, las recomendaciones de su consultor o proveedor de insumos, los errores de manejo que pueden haber cometido por decisiones equivocadas u omisión, etc.

Las empresas proveedoras de insumos

Estas empresas proveedoras dispondrán de una tecnología que les permitirá ofrecer recomendaciones a los productores sobre el uso de sus productos ajustado para los ambientes más representativos de cada zona, como forma de aprovechar al máximo el potencial de sus insumos y ofrecer un mejor servicio (Kreimer, 2003).

Las empresas proveedoras de equipamiento

Las empresas dedicadas al equipamiento deberán estar muy cerca del productor y de su asesor para poder detectar sus necesidades y poder responder a las mismas (Gil, 2008).

Herramientas en la AP

Las herramientas en la Agricultura de Precisión podrían ser las siguientes:

- Sistema de localización GPS y DGPS - Captadores de rendimiento (sobre planta, suelo, malas hierbas y medio)
- Otros captadores de adquisición de información
- Cartografías de contenido de elementos minerales
- Fotos aéreas de satélites - Sistemas de información geográfica (SIG)
- Modelos de ayuda a la toma de decisiones - Material capaz de modular la dosis en continuo

Con estas herramientas seríamos capaces de hacer una Agricultura de precisión adecuada.

Los sistemas de localización o GPS permiten conocer la posición de un vehículo en la parcela, y esto se consigue con la utilización de un conjunto de

satélites. Teniendo en cuenta las “interferencias” es necesario disponer, además de un receptor GPS, de una señal de corrección para obtener una precisión de medida compatible con los requerimientos agrícolas, y a eso se le llama DGPS o GPS diferencial (Bongiovanni & Vicini, 2008).

Los captadores de rendimiento asociados a un sistema de GPS permiten la realización de cartografías de rendimiento, que se utilizarán para posteriores razonamientos de actuación.

Otros captadores de adquisición de información son sistemas más o menos automatizados capaces de recoger y almacenar información sobre los distintos aspectos de la parcela (textura del suelo, contenido de humedad, contenido en M.O y nutrientes), la planta (nivel de clorofila...) y el clima. Se podría decir que se convierten en “ojos suplementarios” del agricultor.

En cuanto a los sistemas de información geográfica (SIG), son paquetes informáticos que permiten tratar la información de diversas fuentes en su conjunto y establecer de forma ordenada la información relativa a un punto determinado.

Para cada una de las operaciones culturales, existen diferentes modelos de ayuda basados en las características agronómicas de los cultivos y en los datos obtenidos con los captadores.

Los materiales capaces de modular la dosis en continuo permiten, a partir de las cartografías establecidas, la modificación en continuo y en tiempo real de las características de trabajo de los equipos (Gil, 2008; Gitelson & Merzlyak, 1997).

Situación real de la AP

Uno de los problemas de la agricultura actual en nuestro país es la falta de información y de formación necesarias para el buen desarrollo de las diferentes actividades. De hecho, cuando uno tiene la oportunidad de trabajar directamente con el agricultor llega inmediatamente a la conclusión de que muchos de los problemas que surgen a las explotaciones agrícolas podrían resolverse con una adecuada labor de formación, y sobre todo de información.

Existe un gran salto cualitativo entre lo que podemos ver en los diferentes certámenes nacionales e internacionales dentro del mundo de la mecanización agraria y la realidad de la mayor parte de las explotaciones. Todos estos equipos tecnológicos contrastan con la realidad observada en muchas áreas de nuestra geografía. Diferentes campañas de revisión de equipos se han llevado a cabo por diferentes instituciones, públicas o privadas, relacionadas en su mayoría con equipos destinados a la distribución de materias primas (abonadoras, sembradoras, equipos para tratamientos fitosanitarios) y desgraciadamente, todas han relevado resultados similares (Gil, 2008; Gitelson & Merzlyak, 1997).

Sin embargo, lo que más llama la atención de estas campañas son los resultados obtenidos a partir de encuestas en cuanto a actitudes frente a la utilización de equipos. La falta de hábitos en cuanto a la calibración de equipos, comprobación de caudales, la elección y comprobación de la correcta velocidad de trabajo en función de las características de la parcela, son desgraciadamente habituales. Y en la mayoría de estos casos los problemas no son debidos a una actitud de desinterés por parte del agricultor, sino que corresponden a un importante déficit de información y formación (Gil, 2008; Gitelson & Merzlyak, 1997).

Probablemente este desfase entre el estado actual de la tecnología en materia de mecanización y la realidad cotidiana podría reducirse a través de unas adecuadas campañas formativas. Estas campañas podrían venir desde la propia universidad, desde la administración mediante sesiones de trabajo y jornadas de demostración atractivas, desde el propio sector productivo (asociaciones de productores como el ITGA) y finalmente desde el sector de los fabricantes y productores de maquinaria agrícola a través de demostraciones, cursillos técnicos, etc. Afortunadamente cada vez son más las empresas en las que un elemento fundamental en su política de ventas es la de la formación del agricultor, porque actualmente es imposible sacar el máximo beneficio de la tecnología disponible sin una buena

base de conocimientos (Gil, 2008; Gitelson & Merzlyak, 1997).

Situación y perspectivas de la AP

Las Tablas 1 a 4 muestran la situación actual y las perspectivas de la Agricultura de Precisión en diferentes labores; en preparación del suelo, aplicación de fertilizantes, labores de siembra y protección de cultivos.

En la Tabla 5 se muestran las ventajas de la Agricultura de Precisión, con respecto a la Agricultura Tradicional o Convencional en la aplicación de pesticidas, abonos y los mapas de rendimientos.

Los principales beneficios de la agricultura de precisión podrían ser los siguientes:

- Gestión optimizada de las explotaciones.
- Reducción de la aplicación de pesticidas y fertilizantes.
- Menor impacto medioambiental.
- Productos con mayor valor nutritivo.
- Obtención de información más precisa y de trazabilidad, muy importante en las zonas con carencias de nitrógeno.
- Reducción de combustible en los tractores.
- Otros beneficios adicionales son generados al supervisar la información, (por ejemplo, saber si un tractor está parado innecesariamente).

TABLA 1. Situación y perspectivas de la agricultura de precisión en labores de preparación de suelo

Operación cultural	Parámetros a considerar	Medios disponibles	
		Hoy	Mañana
Trabajo del suelo	Textura	<ul style="list-style-type: none"> • Mapas de suelos • Muestreo manual fijo • Muestreo manual a partir de mapas de rendimientos o fotos aéreas 	Toma de muestras a partir de información de la resistividad o la conductividad eléctrica
	Compactación	Apreciación visual a partir de fotos aéreas o experiencia previa	<ul style="list-style-type: none"> • Sensores de medida de la resistividad, ondas de radar • Muestreo en continuo a partir de información de la conductividad eléctrica
	Grado de desmenuzamiento	Toma de muestras manual a partir de información previa	Sensor óptico o electromagnético con interpretación de datos en continuo

TABLA 2. Situación y perspectivas de la agricultura de precisión en la aplicación de fertilizantes

Operación cultural	Parámetros a considerar	Medios disponibles	
		Hoy	Mañana
Abonado	Cantidad a distribuir	Rendimiento medio de la parcela	<ul style="list-style-type: none"> • Mapa de rendimientos • Estadio vegetativo
	Nitrógeno en suelo	Muestreo manual con patrón predeterminado	Captador tipo “electrodo rápido” con lectura superficial
	Condiciones del cultivo	Muestreo manual y análisis visual	<ul style="list-style-type: none"> • Imágenes de satélite • Captador del nivel de clorofila del cultivo
	Materia orgánica	Toma de muestras manual con puntos prefijados	Sensor de lectura en superficie o profundidad

TABLA 3. Situación y perspectivas de la agricultura de precisión en labores de siembra

Operación cultural	Parámetros a considerar	Medios disponibles	
		Hoy	Mañana
Siembra	Dosis de semilla	<ul style="list-style-type: none"> Rendimiento medio de la parcela Condiciones generales del medio Variedad y época 	<ul style="list-style-type: none"> Mapas de rendimientos Disponibilidad de nutrientes Mapas topográficos
	Nivel de desmenuzamiento	<ul style="list-style-type: none"> Sondeo manual con muestreos fijos 	Captador en el apero (telemetría, análisis de imagen,...)
	Textura	<ul style="list-style-type: none"> Mapas de suelos Sondeo manual predeterminado Sondeo a partir de mapas de rendimientos 	Sondeo manual o automatizado a partir de mapas de resistividad o conductividad eléctrica
	Profundidad del suelo	<ul style="list-style-type: none"> Mapas de suelos Sondeo manual predeterminado Sondeo a partir de mapas de rendimientos 	Toma de muestras manual o automatizada a partir de mapas de rendimientos, imágenes de satélites o fotos aéreas

TABLA 4. Situación y perspectivas de la agricultura de precisión en materia de protección de cultivos

Operación cultural	Parámetros a considerar	Medios disponibles	
		Hoy	Mañana
Protección de cultivos	Dosis media	Información de cosecha anterior, previsión de riesgos, nivel de infestación global	<ul style="list-style-type: none"> Sensor de biomasa Captador visual de presencia de malas hierbas Imágenes de satélites o fotos aéreas
	Presencia de malas hierbas	Análisis visual de la parcela	<ul style="list-style-type: none"> Sensor por reflectometría o análisis de imágenes acoplado a la boquilla
	Presencia de enfermedades	Análisis visual de la parcela	<ul style="list-style-type: none"> Imágenes de satélites o fotografías aéreas

TABLA 5. Agricultura convencional vs. Agricultura de precisión

Agricultura Tradicional	Agricultura de Precisión
Aplicación de pesticidas	
Trata todo el campo de cultivo como una superficie uniforme con necesidades similares.	Gracias al tratamiento de imágenes aéreas junto con las técnicas de digitalización, GPS y GIS, puede elaborarse un mapa del terreno con diferentes zonas detalladas, pudiendo prescribir la cantidad exacta de pesticida a aplicar en cada zona, según sus necesidades.
Empleo de banderas humanas para señalar a los aeroplanos dónde aplicar los pesticidas.	Empleo de GPS para indicar a los aeroplanos dónde descargar los pesticidas, y en qué cantidad, gracias a los mapas previamente elaborados.
Aplicación de abonos	
La cantidad de abono a aplicar se determina por medio de la composición de diferentes muestras del terreno: al final requiere una aplicación uniforme de lo que se cree una buena estimación de la cantidad apropiada (se trata de una media).	Permite una aplicación específica según las necesidades de cada región, con dos métodos: <ul style="list-style-type: none"> Empleo de DGPS para dividir el terreno según una rejilla, con celdas de tamaño determinado por el usuario, posibilitando el acceso preciso a un punto concreto de cada celda, recoger una muestra y aplicar el abono estimado para cada celda. Empleo de fotografías aéreas. Éstas se digitalizan, georreferencian, y basándose en sus características se determina la cantidad de abono a aplicar en cada punto exacto del terreno. DGPS se encargará posteriormente de dar cada coordenada al vehículo de abono, así como la cantidad a aplicar.
Mapas de rendimiento	
Sólo es posible sospechar que unas zonas producen más que otras; un estudio detallado supondría un elevado esfuerzo y muchas horas de trabajo	Durante la cosecha, mediante la combinación de DGPS y sensores de grano, es posible recopilar los datos necesarios para elaborar un mapa preciso y detallado del rendimiento del cultivo.
Decidir si una zona del terreno produce por encima de los costes es una labor arriesgada.	Las técnicas de variabilidad temporal junto con los mapas de rendimiento y los costes variables permiten tomar una decisión adecuada acerca de qué zonas sería mejor no cultivar, ya que producen gastos.

Las TICs (Tecnologías de la información y la comunicación) en la Agricultura de Precisión

El papel de los satélites

El punto de partida para todo esto es la red de satélites del ejército de los EE.UU., que permite fijar la posición en cualquier punto de la tierra con una gran precisión. Este sistema depende del número de satélites que este “a la vista” y de la posición relativa entre ellos: es lo que se denomina GPS o Sistema de Posicionamiento Global (Kreimer, 2003).

Se trata de una técnica similar a la que tradicionalmente se utiliza para fijar la posición de un punto en el campo mediante la medida de los ángulos, o de las distancias, a tres referencias que forman un triángulo. Con cuatro satélites ya se puede determinar la posición en el sistema tridimensional.

Pero la situación es un poco más complicada, ya que aparecen fuentes de error que distorsionan la medida, como errores en los relojes de los satélites, errores en las orbitas que describen, la influencia de la atmosfera terrestre, etc.

Para corregir estos errores, existe un sistema que utiliza 24 satélites que transmiten constantemente información de posicionamiento mientras orbitan y están disponibles en cualquier parte del mundo las 24 h. Este sistema, que se llama sistema DGPS, a través de una corrección de la distorsión de la señal, alcanza a tener una precisión cercana a 1 m. en la localización de un objeto o maquinaria en movimiento (en latitud y longitud), o bien la posibilidad de navegar con precisión a un punto deseado (Kreimer, 2003).

La utilidad de esta técnica en la Agricultura de Precisión reside en la capacidad del sistema para posicionar una máquina exactamente en tiempo real, (por ejemplo, en la elaboración de mapas de rendimiento), y también en la posibilidad de navegar por la parcela ubicando los sitios. Es decir, permite llegar a un punto con precisión (muestreo de suelo dirigido), o ubicar una máquina en movimiento variando la dosis al llegar a un determinado punto marcado a través de un mapa de aplicación (Kreimer, 2003).

GIS

Un sistema de información geográfica (GIS) es en realidad un programa de ordenador pensado para almacenar, recuperar, analizar y mostrar datos cartográficos. En GIS, los datos acerca de la superficie de la tierra no se representan como en dibujo, como sucede con los mapas convencionales, sino como información o datos.

GIS utiliza dos modos de representación de los datos (figura 4): modo vector y modo rastreo. En el modo vector se considera que todas las características de la superficie de la tierra se pueden interpretar como

un punto, línea o polígono. El modo rastreo es el preferido a la hora de trabajar con imágenes digitalizadas, datos remotos y análisis estadístico. En este modo se almacenan los datos en celdas (o píxeles), determinados según una rejilla, generalizando así la localización de características a una matriz regular de celdas (Kreimer, 2003).

Los sensores

Se conoce como sensor cualquier dispositivo que permite convertir una magnitud física en una señal eléctrica que, posteriormente, puede manejarse para suministrar información o para ser tratada directamente por un ordenador.

Los sensores son los que servirán para determinar, en cada momento y posición de la máquina, su velocidad de avance, la temperatura en un determinado lugar, el estado de cualquiera de sus mecanismos, o también la cantidad de grano instantáneamente cosechado por la máquina, la fertilidad del suelo en una zona del campo, el nivel de vegetación del cultivo (Kreimer, 2003).

Los sensores necesarios para el monitor de rendimiento Instantáneo o de tiempo real. Estos monitores miden y graban los rendimientos sobre la marcha.

Los datos necesarios para que trabaje un monitor son los siguientes:

1. Flujo de grano por unidad de tiempo.
2. Humedad del grano por unidad de tiempo
3. Velocidad de avance de la cosechadora.
4. Ancho de corte del cabezal.

Sensores necesarios para el control del rendimiento:

1. Sensor de flujo de grano.
2. Sensor de humedad del grano.
3. Sensor de velocidad de avance.
4. Switch de posición del cabezal.
5. Consola del monitor.
6. Receptor DGPS.

Tecnologías software

El seguimiento de rendimiento incluye la medición de la porción cosechada de un cultivo en el espacio y el tiempo, y la síntesis de esas medidas en forma de mapa gráfico. El control del rendimiento abarca la adquisición, análisis y síntesis de datos de rendimiento de los cultivos y su ubicación dentro de los lotes, y ha sido posible gracias al advenimiento de sensores apropiados, sistemas de posicionamiento precisos y avances en la tecnología de los ordenadores. El producto final es usualmente un mapa con distintos colores o tonos que muestra rangos de rendimiento dentro de una parcela (Kreimer, 2003).

DSS y MIS

El objetivo de un sistema de información como MIS (MANAGEMENT INFORMATION SYSTEMS, Sistema de Gestión de la Información) es suministrar ayuda en la toma de decisiones que conduzcan a un incremento de la productividad agrícola. Previamente a la toma de decisiones debe realizarse un análisis de los datos de los que se dispone. Ya que cada explotación agropecuaria es diferente, los sistemas de información deben ser hechos a medida de cada agricultor.

El uso de GIS permite presentar mapas combinando varias capas, mostrando así la interacción entre cosecha, características topográficas, propiedades del suelo, etc. De esta manera se puede observar la variabilidad en las parcelas y obtener una mejor comprensión de qué zonas son más productivas que otras (Kreimer, P. 2003).

El componente principal del flujo de información en la AP es el MIS o Sistema de Información de Gestión. Se suele hablar casi indistintamente de MIS y de DSS ("DECISION SUPPORT SYSTEMS", Sistemas de Soporte a la decisión) como herramientas software empleadas en la toma de decisiones. Para diferenciar un poco más se puede decir que MIS es un sistema integrado que engloba el conjunto de todo el software empleado en AP.

Dosis Variable (D.V.)

Las aplicaciones de D.V. consisten en la aplicación a medida de un tratamiento a una pequeña zona, en vez de tratar toda la tierra de manera uniforme (técnica utilizada en la agricultura tradicional). El objetivo de las D.V es reducir los costes y mantener la cantidad y calidad de las cosechas de forma medioambiental y económicamente sostenible.

En esencia todas las D.V. funcionan de manera similar. El mapa de tratamiento se almacena en una Smartcard (tarjeta de memoria del tamaño de una de crédito), o en un disquete, y es insertado en el equipo del tractor. El equipo de a bordo emplea DGPS para el posicionamiento y accede al mapa de tratamiento almacenado. El ordenador de a bordo compara ambas informaciones, establece cuál es el nivel de aplicación o acción que tiene que realizarse en ese punto concreto de la finca y envía las señales apropiadas al sistema de control de maquinaria (Kreimer, 2003).

Estado en los países líderes en AP

Las investigaciones en Agricultura de precisión comenzaron en EE.UU., Canadá, Australia y Europa Occidental a mediados de los '80s. La AP se

implementó principalmente adaptando la maquinaria existente, mediante el anexo de controladores y GPS que permiten realizar tareas de Dosificación Variable (DV). Hoy en día, la DV sigue siendo la tarea líder en lo referido a AP, principalmente para la aplicación de fertilizantes (Kreimer, P. 2003).

En Australia, se han realizado importantes campañas publicitarias sobre el uso de la monitorización y mapeo de la variabilidad del suelo. Existen 400 monitores de rendimiento de granos operando en este país, muy pocos comparados con los 10000 que operan en EE.UU.

En Japón, el Ministerio de Agricultura ha comenzado a realizar inversiones para desarrollar investigaciones en AP enfocadas a controlar a fin de obtener procesos agrícolas más automatizados. Los investigadores japoneses estiman que la AP podrá ser introducida en las distintas escalas de las fincas, pero sólo después de una reorganización de la estructura de la ya existente.

Actualmente se pueden encontrar experiencias relacionadas con la AP en China, Corea, Indonesia, Sri Lanka, Turquía, Arabia Saudita, Australia, Brasil, Argentina, Chile, Uruguay, Rusia, Italia, Los Países Bajos, Alemania, Francia, Reino Unido, Estados Unidos y Canadá.

En California, mediante un estudio intensivo, se están evaluando las tecnologías de la AP para la producción de arroz y de tomates. En Costa Rica se están realizando pruebas piloto en plantaciones de bananas. Hay estudios en Louisiana sobre el efecto de varias propiedades del suelo (Mn, Mg, y K) en la calidad del algodón y creen que la AP puede servir para aumentar la misma. Y así, en diversos países van haciendo pruebas y estudios para la implantación de la AP (Kreimer, 2003).

Desafíos para la introducción de la AP

1. Motivar a los operarios de cosechadoras a recoger información buena y fiable.
2. Desarrollar habilidades en la recolección e interpretación de datos, especialmente en el desarrollo y la adaptación de diseños experimentales en fincas de productores.
3. La adopción de D.V. en España va a requerir el uso de información de bajo coste (Ej.: mapas de rendimiento, topográficos, fotos aéreas, etc.).
4. Desarrollar sistemas de investigación basados en condiciones locales. Debido a que la rentabilidad de la agricultura de precisión es sitio-específica, importar la tecnología de otros países no es tan efectivo como en otros casos.

Barreras para la utilización de la Agricultura de precisión

Los siguientes puntos serían las mayores barreras a superar para la utilización de la Agricultura de Precisión:

1. La Agricultura de Precisión no está disponible para todos los agricultores, es más probable que se limite a los que tengan una escala grande de producción.
2. El coste de los equipos es percibido por los agricultores como alto, sin que estos analicen sus ventajas.
3. Problemas de compatibilidad con la maquinaria existente.
4. Se requieren ciertas habilidades informáticas para la implantación de los sistemas.
5. Poca cultura de innovación en el sector.
6. Sólo un 30% de los agricultores tiene ordenador.
7. Resistencia en el sector a pagar por formación.
8. Carencia de canales de transferencia tecnológica y de programas educativos que involucren a los investigadores, a la industria, los especialistas y los consultores.

Ahorro y eficiencia energética en la AP

La agricultura de precisión (AP) puede ayudar al agricultor a conseguir una mayor eficiencia productiva, a la vez que a reducir el impacto medioambiental. No se debe juzgar la utilidad de la AP solo en términos de "reducción de costes": puede proporcionar ventajas en cuanto a un mayor control de maquinaria-insumos, o mejor gestión de la información. El aumento de la rentabilidad agraria que se puede conseguir usando AP incluye en factores fáciles de medir (mayor producción superficial en ciertas zonas) y otros difícilmente cuantificables (menor repercusión en el ecosistema, mejora del confort del operario, mayor información de las condiciones del suelo/cultivo, etc.) (Kemerer et al., 2020).

El uso de sistemas de ayuda al guiado permite reducir el tiempo de trabajo, con el consiguiente ahorro de gasóleo.

La situación actual de España en cuanto a la cobertura de "redes RTK" (GNSS) es excepcional, ya que es uno de los pocos países en los que los gobiernos autonómicos ofrecen el servicio gratuitamente. Sin embargo, la alta precisión que ofrece un RTK solo es necesaria en ciertas labores (por ejemplo, siembra) y el agricultor debe estudiar alternativas que permitan el geoposicionamiento con equipos mas económicos (por ejemplo, dGPS).

Estrategias de control de tráfico en las parcelas (control de rodada) automatizadas mediante GPS o

RTK permiten ahorros sustanciales en laboreo y, por tanto, en gasoleo.

La creación de mapas del punto de funcionamiento del motor (régimen de giro, par) durante su trabajo en parcela permite optimizar el trabajo, disminuyendo también el consumo de combustible (Kemerer et al., 2020).

La aplicación variable de herbicida resultara muy ventajosa frente a la dosificación uniforme tradicional si podemos permitirnos reducir la dosis en ciertas áreas de la parcela (o aplicar solo allí donde hay rodales); es decir, si tenemos claro que habitualmente estamos aplicando en exceso, al menos en ciertas áreas.

En el caso de abonado, la conclusión no es tan clara. En ocasiones, lo que aportaremos de menos con respecto a la aplicación uniforme en unas zonas puede verse compensado por lo que aplicaremos de más en las otras.

Los recientes sensores que estiman las características del suelo proporcionan herramientas para controlar con precisión y monitorizar sobre la marcha las variaciones de parámetros relacionados con la fertilidad (Kemerer et al., 2020).

El GPS funciona mediante una red de 24 satélites en órbita sobre el planeta tierra, a 20.200 kph, con trayectorias sincronizadas para cubrir toda la superficie de la Tierra. Cuando se desea determinar la posición, el receptor que se utiliza para ello localiza automáticamente como mínimo tres satélites de la red, de los que recibe unas señales indicando la identificación y la hora del reloj de cada uno de ellos. Con base en estas señales, el aparato sincroniza el reloj del GPS y calcula el tiempo que tardan en llegar las señales al equipo, y de tal modo mide la distancia al satélite mediante "triangulación", la cual se basa en determinar la distancia de cada satélite respecto al punto de medición. Conocidas las distancias, se determina fácilmente la propia posición relativa respecto a los tres satélites. Conociendo además las coordenadas o posición de cada uno de ellos por la señal que emiten, se obtiene la posición absoluta o coordenadas reales del punto de medición (Bongiovanni & Vicini, 2008).

GPS

Un Sistema de Posicionamiento, como su nombre indica, es un método para identificar y grabar, generalmente en forma electrónica, la ubicación de un objeto o persona. Este sistema puede ser usado para registrar el recorrido de un vehículo a través de la superficie terrestre, en el aire o en el espacio. Estos sistemas pueden ser de gran utilidad en la agricultura moderna, de hecho, se le puede considerar como la base de la agricultura de precisión, ya que cada dato tomado, como rendimiento, humedad, altimetría, materia orgánica, etc., va a estar perfectamente

localizado y de esta forma tenemos la posibilidad de volver a él, localizarlo, obrar en consecuencia, y poder volver a grabar el resultado (De Gutado, 2005).

Sistema de posicionamiento Global (GPS)

El sistema de posicionamiento global (GPS) es un sistema basado en satélites, creado y operado por el Departamento de defensa de los Estados Unidos. Comenzado a principios de los '80 este sistema fue declarado completamente operacional el 27 de abril de 1995. Completamente operacional significa que el sistema puede ser usado para determinar la posición de un receptor las 24 horas del día, en cualquier parte de la tierra. El sistema fue concebido originalmente como un auxiliar para la navegación para las fuerzas militares de los Estados Unidos, pero hoy en día el GPS sirve también para fines industriales, comerciales y civiles. El servicio está disponible, en forma gratuita, las 24 horas del día y bajo cualquier condición meteorológica (Bongiovanni & Vicini, 2008; Kreimer, 2003; Salinas, 2010).

Conocidas las distancias, se determina fácilmente la propia posición relativa respecto a los tres satélites. Conociendo además las coordenadas o posición de cada uno de ellos por la señal que emiten, se obtiene la posición absoluta o coordenadas reales del punto de medición (Bongiovanni & Vicini, 2008; Kemerer et al., 2020; Salinas, 2010).

Descripción del sistema GPS

Para describir mejor el sistema se lo puede dividir en tres partes:

- Segmento espacial
- Segmento de control
- Segmento de usuario

Segmento espacial Este segmento consiste de una constelación de 24 satélites NAVSTAR (NAVigation by Satellite Timing and Ranging). Con una órbita de 20200 km de altura sobre la superficie terrestre, cada satélite orbita la tierra 2 veces al día, o sea una vez cada 12 horas. Los 24 satélites se dividen en 6 órbitas con 4 satélites cada una. Esta distribución particular garantiza que por lo menos 4 satélites estarán en línea de vista de un receptor de GPS en cualquier parte del mundo durante todo el día. (Kemerer et al., 2020; Salinas, 2010).

Los satélites también están equipados con relojes atómicos, que mantienen el tiempo en base a vibraciones naturales periódicas dentro de los átomos. Estos relojes increíblemente precisos son un componente crítico que hace posible el uso de satélites para navegación y mapeo. Cada forma se evita el riesgo de rotura o pérdida de precisión por alguno de los relojes.

Los satélites de la constelación NAVSTAR pueden ser identificados de varias maneras:

- Por su número NAVSTAR (SVN).
- Por su código pseudo-aleatorio (PRN).
- Por su número orbital. Consta de una letra que identifica el plano orbital y un número que identifica al satélite.

El lanzamiento de satélites comenzó en febrero de 1978. Entre 1978 y 1989, se produjeron los lanzamientos de los satélites de primera generación, los bloques I, los cuales fueron prototipos que permitieron validar el concepto GPS. Un total de 11 satélites fueron construidos por Rockwell International y fueron lanzados desde California (un lanzamiento falló). Aunque se diseñaron originalmente para tener una vida de 4 años y medio, muchos de ellos operaron durante más tiempo, uno de ellos 13 años. Su peso era de 845 kg y estaban alimentados por paneles solares de 400W. Todos ellos estuvieron abiertos para uso civil.

En la actualidad se encuentran en órbita los satélites de la segunda generación (bloques II, IIA y IIR) cuyo lanzamiento comenzó en 1989. Cada satélite pesa aproximadamente 900 Kg y tiene una envergadura de unos 5,5 m con los paneles solares desplegados.

La constelación de 24 satélites se completó en 1994 aunque desde entonces no se ha dejado de enviar satélites para sustituir aquellos que dejaban de ser operativos.

El periodo de vida de diseño para los satélites de los bloques II y IIA es de 7,3 años. Cada uno incluye 4 relojes atómicos, 2 de rubidio y 2 de cesio y disponen de la capacidad de activar la S/A (disponibilidad selectiva) y el Anti-Spoofing. La S/A es un error intencional que el Departamento de Defensa de los Estados Unidos agregaba al sistema para restringir el uso a fuerzas hostiles en tiempo de guerra. Esto lo lograban introduciendo ruido digital a los relojes de los satélites. Y el Anti-Spoofing se puede decir que son medidas para prevenir el abuso de datos de identificación y autenticación, impidiendo que alguien se haga pasar por quien no es. (Kemerer et al., 2020; Salinas, 2010; Skerman & Riveros, 1992).

Segmento de Control Los satélites son seguidos y monitoreados por varias estaciones ubicadas estratégicamente alrededor del mundo. Esta red de estaciones de monitoreo se denomina generalmente segmento de control del GPS, y consta de 4 estaciones de monitoreo y una estación de control principal ubicada en la Base de la Fuerza Aérea Falcon en Colorado Springs, Colorado. (Birbaumer & Checua, 2000; Bongiovanni & Vicini, 2008; Franquet & Querol, 2010; Kemerer et al., 2020; Rico & Del Castillo, 1974; Salinas, 2010).

Las estaciones de monitoreo miden las señales de ondas de radio que son transmitidas continuamente por los satélites y pasan esa información a la estación de control principal.

Ésta usa la información para determinar la órbita exacta de los satélites y para ajustar sus señales de navegación, por ejemplo: error de reloj, correcciones, estado del satélite, etc.

Segmento de Usuario

Las unidades o receptores GPS son el segmento de usuario, que computan la posición del usuario por medio de las señales recibidas. Los GPS de uso civil no requieren licencia para operar ya que no transmiten señales de radio, solamente las reciben. Hay una gran gama de receptores con distintas precisiones y por diferentes precios, cada uno se adapta a un uso en particular (Kemerer et al., 2020; Pérez & Upadhyaya, 2012; Salinas, 2010)

Un receptor estándar está compuesto por los siguientes elementos:

- Antena. Es el dispositivo cuya finalidad es la captación de la señal GPS y su transformación en un impulso eléctrico que contiene la información emitida por el satélite.
- Sensor. Recibe el impulso eléctrico generado en la antena y lo reconvierte en la información emitida por los satélites.
- Controlador. Este elemento controla al receptor, gestiona la observación y almacena los datos de la medición.

El tiempo GPS

El tiempo utilizado por el sistema GPS es el tiempo universal coordinado UTC (USNO) definido por el observatorio naval de los EE. UU mediante relojes atómicos de hidrógeno. La unidad de tiempo GPS es el segundo atómico internacional y tiene su origen coincidente con el UTC (Universal Coordinated Time) a las 00:00 horas del día 6 de enero de 1980. El tiempo GPS es mantenido dentro del UTC con una precisión de 1µs.

El UTC es una unidad de tiempo que también es mantenida mediante relojes atómicos, pero con la salvedad de que, por definición, tiene que mantenerse con una diferencia máxima de 0,9 s en el UT1. Éste es definido en base al día solar medio corregido, y su duración es variable en función de las irregularidades de rotación de la Tierra. Esta diferencia provoca que periódicamente el UTC deba ser ajustado al UT1, con lo que la diferencia en segundos entre el UTC (USNO) y el UTC también varía.

Medición de la distancia

El principio básico de la medición de la distancia es el principio de “velocidad por tiempo”. El sistema GPS funciona tomando el tiempo que tarda una señal de radio emitida por un satélite hasta llegar al receptor, y de esa forma calcular la distancia, sabiendo que las ondas de radio viajan a la velocidad de la luz (300.000.000 m/s). Si se conoce el tiempo exacto en que salió la señal del emisor y el tiempo de llegada al receptor, se puede calcular por diferencia el tiempo de viaje de la señal y por ende la distancia. De aquí se deduce que los relojes deben ser bastante precisos en tiempos pequeños, porque la señal de un satélite que esté perpendicular al receptor sólo tarda 6/100 de segundo en llegar.

Para poder calcular el tiempo de viaje de la señal de radio, tanto el satélite como el receptor generan códigos sincronizados. Esto es que ambos generan el mismo código al mismo tiempo. Entonces cuando llega una onda al receptor este determina el tiempo transcurrido desde que éste generó el mismo código. La diferencia de tiempo es lo que tardó la onda en llegar.

CONCLUSIONES

Analizado la bibliografía consultada, se arriba a las siguientes conclusiones:

La agricultura de precisión va a ser el futuro de la agricultura, por las grandes ventajas que aporta a la hora de trabajar y porque ayuda a producir menos contaminación, la mayoría de la tecnología que se utiliza en la agricultura de precisión, van a ir ligada con la tecnología GPS. los SIG son herramientas eficaces para recopilar, almacenar y gestionar datos espaciales, hoy existen herramientas a nivel mundial que por su fácil acceso y competitividad se pueden llegar a ellas ejemplo, entre ellas se encuentra QGIS, para almacenar y gestionar los datos geográficos que arrojan resultados positivos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, E. F., & Flego, F. (2008). Agricultura de precisión. *Revista Ciencia y Tecnología*, 8, 99-116.
- Albóniga, G. R. R., & Fernández de Castro-Fabré, A. (2001). Una herramienta actual para mejorar nuestra agricultura: Los GPS. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 10(3), 11-14, 24-28, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054, Publisher: Universidad Agraria de La Habana Fructuoso Rodríguez Pérez.
- Amézquita, E., & Chávez, O. (1999). *La compactación del suelo y sus efectos en la productividad de los suelos*. 1-6.
- Arevalo, E. (2000). *Cultivar sin arar, Proyecto de Conservación de Suelo y Agua en la Zona Andina —Proyecto Checua*. Labranza mínima y siembra

- directa. Bogotá, Colombia: https://www.rds.org.co/aa/img_upload/30af8836e18ffedc2f0c15373601ed59/labranza.PDF
- Birbaumer, G., & Checua, P. (2000). *Cultivar sin arar labranza mínima y siembra directa en los Andes*.
- Bongiovanni, R., & Vicini, L. (2008). *Agricultura de Precisión en Caña de Azúcar* (p. 83). Para este número de la revista IDIA XXI se han seleccionado temáticas que muestran las diferentes acciones llevadas a cabo en los proyectos del Programa Nacional de Cultivos Industriales del INTA.
- De Gutado, D. (2005). Sistemas Automáticos y Nivelación Por GPS Para Agricultura De Precisión. *Agrotécnica*.
- Farfán, N. P. M., Fernandez Monsalve, A. P., Moreno-Castro, M. V., & Roncancio, E. (2000). *Cultivar sin arar: Labranza mínima y siembra directa en los Andes*. Publisher: CAR. Bogotá.
- Franquet, B. J. M., & Querol, G. A. (2010). *Nivelación de terrenos por regresión tridimensional*. José María Franquet Bernis.
- Gil, S. J. (2008). Concepto y situación en España de la agricultura de precisión. *Vida Rural*, 271, 0-0.
- Gitelson, A. A., & Merzlyak, M. N. (1997). Remote estimation of chlorophyll content in higher plant leaves. *International journal of remote sensing*, 18(12), 2691-2697, ISSN: 0143-1161, Publisher: Taylor&Francis.
- González, C. O., Iglesias, C. C., & Herrera, S. M. (2009). Análisis de los factores que provocan compactación del suelo agrícola. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 18(2), 57-63, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054, Publisher: Universidad Agraria de La Habana Fructuoso Rodríguez Pérez.
- Gutiérrez-Rodríguez, F., González-Huerta, A., Pérez-López, D., Franco-Mora, O., Morales-Rosales, E. J., Saldívar-Iglesias, P., & Martínez-Rueda, C. G. (2012). Compactación inducida por el rodaje de tractores agrícolas en un Vertisol. *Terra Latinoamericana*, 30(1), 1-7, ISSN: 0187-5779, Publisher: Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo AC.
- Kemerer, A. C. E., Melchiori, R., & Albarenque, S. (2020). Información Agronómica para la Agricultura de Precisión generada en la EEA Paraná del INTA. *Electronic Journal of SADIO (EJS)*, 19(1), 33-48, ISSN: 1514-6774.
- Kreimer, P. (2003). Las TICs en la agricultura de precisión, ceditec (centro de difusión de tecnologías ETSIT-UPM). *Ceditec (centro de difusión de tecnologías ETSIT-UPM)*.
- Ortiz-Cañavate, J. (2012). *Tractores. Técnica y seguridad*. Ediciones Mundi-Prensa.
- Pérez, R. M., & Upadhyaya, S. (2012). *GNSS in precision agricultural operations*. Intech.
- Rico, A., & Del Castillo, H. (1974). *La ingeniería de suelos en las vías terrestres*. Ed. Limusa, SA.
- Salinas, I. (2010). Riego suplementario en cultivos extensivos, panorama de Argentina y experiencia en la región central del país. *INTA Manfredi*.
- Skerman, P. J., & Riveros, F. (1992). *Gramíneas tropicales* (Vol. 2). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación Roma.

Carlos Fresneda-Quintana, Profesor Auxiliar. MSc., Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez”. Cuba. Tel: +53 43595541 - MOVIL: 56284628

Arturo Martínez-Rodríguez, Profesor e Investigador Titular, Universidad Agraria de La Habana “Fructuoso Rodríguez Pérez” (UNAH). Cuba. e-mail: armaro646@gmail.com, Tel: +53 59874467,

Alexander Laffita-Leyva, Profesor Asistente, Dr.C., Universidad Agraria de La Habana “Fructuoso Rodríguez Pérez” (UNAH). Cuba. Tel: +53 58762916, email: alexl@unah.edu.cu

Odalys Zamora-Díaz, Profesora Instructora, Universidad de Ciencias Médicas “Raúl Dorticó Torrado” Cuba. e-mail: odalyszd2@gmail.com Tel: +53 43595541

Odalys Fresneda-Zamora, Profesora Instructora, Universidad de Ciencias Médicas “Raúl Dorticó Torrado” Cuba. e-mail: odalys.8504@gmail.com Tel: +53 43595541- MOVIL: 55418792

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

CONTRIBUCIONES DE AUTOR: **Conceptualización:** C. Fresneda. **Curación de datos:** C. Fresneda, A. Martínez. **Análisis formal:** C. Fresneda, A. Martínez, A. Laffita. **Investigación:** C. Fresneda, A. Martínez, A. Laffita, O. Zamora, O. Fresneda. **Metodología:** C. Fresneda. **Supervisión:** C. Fresneda, A. Martínez. **Validación:** C. Fresneda, A. Martínez, A. Laffita. **Visualización:** C. Fresneda, A. Martínez, A. Laffita.. **Redacción-borrador original:** C. Fresneda, O. Zamora, O. Fresneda. **Redacción-revisión y edición:** C. Fresneda, A. O. Zamora, O. Fresneda.

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)