

“Desarrollo de sistemas Mecatrónicos enfocados a tecnologías de agricultura de precisión, aplicables a cultivos de frijol”: Una Revisión

Hernández Ramírez Jesús Fernando *; Arce Valdez Jesús Leonel *; Aragón Banderas Osbaldo *; Estrada García Francisco *; Martínez Rivera José Antonio **

*Instituto Tecnológico Superior de la Región de los Llanos (ITSRL)
Calle Tecnológico #200 Ote. Guadalupe Victoria, Durango, CP. 34700
Tel: (676) 882-37-12

**Instituto Tecnológico de Durango
Departamento de Ing. Eléctrica y Electrónica
Felipe Pescador 1830 Ote. Col. Nueva Vizcaya Durango, Dgo. México, C.P. 34080
Tel: (618) 8172303
Email: jlaitrll@hotmail.com

RESUMEN.

La agricultura de precisión, es aquella que se basa en aplicar la cantidad exacta de insumos, en el lugar y momento adecuado, basándose principalmente en el uso de la tecnología de información para adecuar el manejo de suelos y cultivos a la variabilidad presente en la zona de estudio, esta integra el uso de posicionamiento global, así como otros medios electrónicos para poder lograr sus objetivos. En este artículo, menciona los distintos tipos de medios tecnológicos utilizados en este tipo de agricultura, para eso, esta revisión se basó en investigaciones, en su mayoría de los últimos cinco años, permitiendo tener un parámetro mas amplio de la aplicación de las diversas técnicas en la agricultura de precisión. Palabras clave: agricultura de precisión, IOT, fuzzy logic, red neuronal, labview, visión artificial, GPS.

ABSTRACT.

Precision agriculture is one that is based on applying the exact amount of inputs, in the right place and time, mainly based on the use of information technology to adapt soil and crop management to the variability present in the area study, this integrates the use of global positioning, as well as other electronic means to achieve its objectives. In this article, the different types of technological means used in this type of agriculture are mentioned, for this, this review was based on research, mostly from the last five years, allowing to have a broader parameter of the application of the different techniques in precision agriculture

Key words: precision agriculture, IOT, fuzzy logic, neural network, labview, artificial vision, GPS.

1. INTRODUCCIÓN

La agricultura de precisión es una metodología que está en constantemente innovación con el pasar de los años, es el conjunto de tecnologías que se aplican al trabajo en el campo como satélites, sensores, imágenes y datos geográficos, que reúnen la información necesaria para entender las variaciones del suelo y los cultivos. Del mismo modo, podrán analizarse, el tipo y la dosis de fertilizante a aplicar, la densidad de semilla, la fecha de siembra, el espaciamiento entre hileras, etc. El uso de las tecnologías de la agricultura de precisión puede ayudar a mejorar los márgenes de utilidad, a través de un aumento del valor del rendimiento (cantidad o calidad), una reducción en la cantidad de insumos, o de ambos simultáneamente[3].

Para poder identificar qué tecnologías y métodos de Agricultura de Precisión se están utilizando actualmente, se propone las siguientes preguntas: ¿Qué es la agricultura de precisión y cómo ha tenido un impacto en su implementación a través de los años, teniendo

encuentra como se puede tener un mejor control y monitoreo en la cosecha, así mismo cómo sus resultados obtenidos a través de diferentes metodologías implementadas?

2. CUERPO DEL ARTÍCULO

2.1. Problema.

La producción de alimentos agropecuarios y pesqueros en México ascendió a 286 millones de toneladas en 2017, es decir aumento a razón del 12% respecto a la producción en el año 2012, lo que la ubica por arriba de 5.7% del crecimiento de población en México, informó la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa). De igual manera, la tasa de crecimiento de la producción agrícola es de 12.1 por ciento; de la pecuaria de 10.7 por ciento; y de la pesquera y acuícola de 22.7 por ciento.

El incremento en la demanda de alimentos derivado principalmente por el crecimiento de la población mundial, sumado a la sostenibilidad y al cuidado del medio ambiente, están obligando al sector agrícola a una inminente transformación mejor conocida como Agricultura 4.0.

Para el 2050, el mundo tendrá una población superior a los 9 mil 500 millones de habitantes, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, mejor conocida como la FAO, considera que debemos incrementar en al menos un 60% la producción de alimentos a nivel mundial para poder atender el crecimiento de esta demanda.

No es una tarea fácil considerando que existen variables como el cambio climático, la degradación de los suelos, la escasez de recursos naturales como el agua que cada vez ejercen mayor presión en los sistemas de producción agroalimentarios.

Sin embargo, gran parte del sector agrícola en México no cuenta con la tecnologías y herramientas necesarias para implementar el uso de sistemas independientes o de control que puedan tener un monitoreo constante de la zona de trabajo, así como sus variables que estas conllevan (temperatura, humedad, dosificación de fertilizante, almacenamiento de datos, riego inteligente, etc.). Además de que en muchas regiones de México se sigue realizando la agricultura de manera tradicional la cual es siembra por temporal.

2.2. Desarrollo.

Para responder a las preguntas de la investigación se ha hecho una revisión de la literatura utilizando dos criterios de inclusión. El primero es el uso de palabras clave “Precision Farming”, “Precision Farming Technologies”, “Precision Farming Adoption”, “Adoption and Perspectives of Precision Farming”, “IoT Technologies and Applications for Precision Farming”, “The use of Autonomous Vehicles for Precision Farming”, “Data Acquisition for Precision

Farming”, “Weed recognition framework for robotic precision farming”, “Remote Sensing use for Precision Farming”, “Precision

Tabla 1: Distribución de artículos por año.

	1999	2008	2013	2015	2016	2017	2018	2019	Total
Microcontrolador						[1]			1
IoT						[2][6][13][30][36][45]	[15][38][42]	[3][7][8][11]	13
Robot				[18]		[4][50]			3
Computación en la n.				[12]		[14][26][31][35]	[20][22]	[5]	8
Fuzzy Logic					[9]				1
Dron					[10][24]	[27][40][41]	[17]	[34][37]	8
GPS	[23]	[21]			[16]			[28]	4
Visión Artificial				[25][39]	[33][47]				4
LabVIEW			[29]						1
Datalogger					[32]				1
Nanotecnología				[43]					1
Recopilación de datos					[44]		[48][49]	[46]	4
Red Neuronal						[19]			1

La agricultura de precisión (AP) utiliza Internet de las Cosas (IoT)

Farming Yield Monitoring”, “Precision Farming Opportunities and Challenges”. El segundo criterio está relacionado con el año de publicación, para lo cual se tomaron artículos que en su mayoría fueron publicados entre 2015 y 2020, con el fin de identificar las tendencias tecnológicas y las diferentes metodologías implementadas alrededor del mundo más novedosas y con mayores posibilidades de impacto en los futuros sistemas de agricultura inteligente.

Las búsquedas se hicieron mediante las bases de datos Google Académico, Redalyc, IEEE Xplore, World Wide Science, CONRICyT. Después de realizar la búsqueda, se obtuvo un total de 50 artículos, entre los cuales se encuentran en su mayoría extranjeras. En la tabla 1 se presenta la distribución de los artículos consultados por año y por temas clave. Como se observa, la mayoría de los artículos están relacionados con IoT, el cual, corresponde a las técnicas de monitoreo y control semiautomatizado, y los demás, serán métodos de control. El año con mayor número de artículos es el 2017, donde se presenta un total de 16 artículos. En contraste el número más bajo de artículos pertenece al periodo que corresponde a los años de 1999 al 2013, donde sólo se registraron la publicación de un artículo en cada año. En la última columna se identifican el total de los artículos consultados.

Finalmente, los artículos fueron clasificados dependiendo de las técnicas de monitoreo o de la tecnología utilizada para llevar a cabo la recopilación de datos, el propósito era poder tener un análisis de los artículos investigados. Cada uno de ellos incorporados a las técnicas de sistemas inteligentes de agricultura de precisión, la agricultura inteligente y recolección de datos con el fin de reconocer las similitudes entre los proyectos desarrollados en cada uno de los rubros a enumerar. En los siguientes párrafos, se podrá encontrar una descripción de cada uno de los artículos analizados.

2.3. Microcontrolador.

Un microcontrolador es un circuito integrado que en su interior contiene una unidad central de procesamiento (CPU), unidades de memoria (RAM y ROM), puertos de entrada y salida y periféricos. El microcontrolador controla el flujo lógico del sistema. El programa maestro se almacena en la memoria flash, mientras que un EEPROM (sólo lectura programable y borrable eléctricamente Memoria) se utiliza para almacenar los detalles de autenticación del usuario y el número de teléfono. [1].

2.4. IoT (Internet of Things).

para optimizar el proceso de cultivar la tierra mediante el monitoreo, el almacenamiento de datos y la evaluación automatizada. Los avances más recientes de IoT generan un nivel de simplificación y reducción de costos, que permiten a todos los agricultores beneficio y una verdadera adopción de la agricultura de precisión.

En los artículos analizados, los resultados obtenidos fueron sorprendentes, tal es el caso de una empresa italiana con más de 150 años de historia en la producción de malta, en la cual, la cantidad de almidón, proteína y otros indicadores importantes, mostraron un crecimiento sorprendente [2]. Otro caso importante es un artículo publicado en el 2019, en el cual se logró con éxito monitorear diversas variables del suelo, tales como la humedad, la temperatura, etc., para luego almacenar dichos datos en una tabla, además, en este se analizaba la cantidad de agua necesaria para obtener de un 40% a un 60% de humedad en el suelo [3]. También se encuentra un artículo del 2017, el cual trata de un prototipo de sensor para implementar el uso de IoT en sistemas con agricultura, este se encarga de recolectar la humedad del suelo en cortos periodos de tiempo, para lograr un mayor análisis sobre lo que pasa en el cultivo en tiempo real [4].

En otros casos, los artículos no sólo basaban su investigación en variables clásicas del suelo, si no que la extendían a variables como la luminosidad, nitrógeno, potasio, fósforo, en este caso, según fuera el valor leído por los sensores, entraba en acción una serie de actuadores, que permitían que las variables siempre se encontraran en el rango establecido para el desarrollo del cultivo [5]. Pero además se entiende, que se puede implementar un sistema más complejo, en el cual todo este monitoreo y controlado desde un tablero de fácil manejo, el cual incluye botones de fácil manejo y un pantalla en la que se presentan las distintas variables monitoreadas, en este caso, uno de los principales beneficios de este sistema es que se presenta en una gama media, lo que provoca que sea accesible para los usuarios [6].

Las variables monitoreadas pueden ser revisadas mediante dos formas, así como se menciona en un artículo del 2019, el cual nos indica que las variables se analizan desde una página web o desde una aplicación para el celular, en la cual se tiene mayor accesibilidad [7].

La investigación [8] tiene como objetivo desarrollar un sistema basado en IoT que ayuda a los agricultores en varias etapas de la producción de cultivos. Los requisitos como la cantidad de agua requerido, el periodo de fertilización, etc. varía según el cultivo y

también varía por diferentes etapas de la agricultura. En este artículo, se diseñó un sistema para el cultivo de nueces molidas, sin embargo, el sistema se puede adaptar para cualquier otro cultivo con modificaciones basadas en el parámetro que es relevante para el monitoreo de cultivos.

Otros buscan hacer que el sistema sea humano, que sea algo explorado. Esta se puede hacer usando tecnologías de minería de datos. Ahora IoT hizo posible construir el sistema de pensamiento inteligente. IOT conectará todo el mundo. Cualquier dato de cualquier fuente puede ser recuperada [9]. El artículo [10] presenta una propuesta de una arquitectura para agricultura de precisión apoyada en tecnologías abiertas de Internet de las Cosas (IoT) para la recolección, monitoreo y análisis de variables climáticas. La propuesta se basa en la estructura de la arquitectura Lambda, considerando diferentes capas como: La capa de captura de datos, cuya función es obtener variables asociadas con un cultivo. La capa de almacenamiento, cuya función es recopilar la información en tiempo real de los sensores..

La investigación [11], demuestra el uso de un arreglo de IoT en línea para verificar, seguir y desglosar información en territorio agrícola, (temperatura, potencia, humedad) en dicha zona.

El siguiente artículo [12] presenta diferentes variantes (basadas en MVM y contenedores orquestados) y también los principales pasos de implementación de una arquitectura back-end escalable de IoT que se puede adaptar fácilmente en otros casos y en otros escenarios. La adaptación de esta arquitectura IoT está ya en progreso en dos sectores, a saber, automóviles conectados, e Industria 4.0, con algunos resultados preliminares positivos basados en las siguientes demandas sectoriales.

La plataforma IoT propuesta en [13], permite a los investigadores en el proyecto: implementar prototipos de análisis, modelado y predictivo, con funciones necesarias para crear aplicaciones para los escenarios de uso de alto nivel.

2.5. Robots.

El uso de robots en la agricultura, precisión en los últimos 5 años se ha enfocado en la robótica, que tiene el fin de optimizar los recursos naturales e insumos, utilizando la metodología de medir, procesar la información y actuar.

En [14] se describen experimentos realizados en suelo húmedo y las distancias cubiertas por el robot se comparan con distancias predefinidas. Las distancias difieren de 4 cm a 8 cm y de 2 cm a 3 cm respectivamente respecto a los valores teóricos.

Teniendo en cuenta que la robótica en la agricultura puede verse como un sistema flexible basado en automatización (coexistencia de automatizado y tareas manuales), el artículo [15] muestra y explica los núcleos más importantes de la arquitectura HRI propuesta.

El uso de la robótica en la agricultura de precisión permitirá resolver una serie de problemas: la creación de sistemas para la navegación precisa de máquinas agrícolas; determinación del nivel real de fertilidad del suelo; cálculo de dosis de fertilizantes para el rendimiento planificado de cultivos agrícolas [16].

2.6. Computación en la nube.

La computación en la nube es la entrega de servicios informáticos a pedido, desde aplicaciones hasta almacenamiento y potencia de procesamiento, generalmente a través de Internet y en un sistema de pago por uso [17].

La investigación [18] propone el diseño de un sensor inalámbrico Red (WSN) en las granjas de granada para un continuo monitoreo del nivel de humedad del suelo, temperatura atmosférica, humedad, y salinidad del agua. Los valores detectados serán utilizados para iniciar ciclos de riego automáticos. También si las condiciones climáticas informadas por los sensores son tales que pueden parecer

una enfermedad, entonces el correctivo adecuado que se sugiere al agricultor será en saber el tipo y la cantidad de fertilizantes y pesticidas a rociar.

En otro caso, se introdujo una red electrónica de detección de suelo para ser aplicada en un sistema de cultivo de precisión para el monitoreo del suelo. Puede transmitir datos en tiempo real en línea mediante la integración con una red Zigbee [12], la estación de detección de suelo inalámbrica permite al agricultor observar continuamente los datos de suelo que pueden correlacionarse con propiedades químicas y físicas del mismo, asegurando así un manejo preciso de sus nutrientes [19]. Cada sistema de adquisición de información múltiple del entorno agrícola basado en ZigBee consta de tres partes, que incluyen una puerta de enlace regional, varios sistemas de adquisición de parámetros ambientales y sistemas de adquisición de imágenes. En el caso de invernaderos, cada conjunto de dichos sistemas se instala en cada invernadero, y los datos de cada sistema se envían al servidor a través de Ethernet [20].

La aplicación de La tecnología de Big Data en la agricultura es propicia para lograr una reflexión tridimensional holográfica del ecosistema agrícola. Esta ayuda a mejorar la comprensión y la percepción de las personas en las relaciones entre diferentes cosas en un agroecosistema, con la ayuda de esta tecnología, también es posible predecir la tendencia de desarrollo de agricultura y ayudar a aumentar la gestión de las personas [21].

En la investigación [22] se utilizan un conjunto de datos sintéticos obtenidos por medio de un modelo generativo procesal y datos del mundo real que se pueden usar para entrenar un marco de aprendizaje automático, obteniendo resultados comparables con respecto al mismo marco entrenado con un conjunto de datos real. Este resultado permite una reducción dramática del esfuerzo humano requerido para adquirir y etiquetar datos reales

2.7. Fuzzy Logic.

Un enfoque difuso de los sistemas de control posibilita que los mismos adquieran autonomía en su funcionamiento al tiempo de representar el mundo real a través de reglas expresadas en términos lingüísticos, facilitando la construcción de interfaces y adecuándolas a la incertidumbre de los procesos cognitivos humanos.

La red inalámbrica de sensores (WSN), la tecnología [4] [5] ha sido adoptada para la adquisición generalizada y de bajo costo de los parámetros ambientales en el campo escala y la lógica difusa ha sido explotada para modelar mejores prácticas de los agricultores a través de reglas simples difusas [23].

2.8. Dron.

Los drones ofrecen múltiples posibilidades para la agricultura, pueden sobrevolar los campos de una forma rápida y captar información diversa gracias a sus sensores. Esto permite que aquellos que gestionan los cultivos tengan a su disposición una herramienta para controlar e incrementar la productividad. Un sólo dron puede monitorizar cientos de hectáreas de forma precisa, evaluando las condiciones del terreno, con el fin de recoger información. La investigación [24] tiene como objetivo principal diseñar e implementar un UAV totalmente autónomo (Vehículo Aéreo no tripulado) para agricultura de precisión y gestión agrícola. Eso proporciona imágenes espectrales de alta resolución en banda estrecha azul, verde, rojo, borde rojo y bandas de infrarrojo cercano. El UAV es completamente autónomo y tiene autonomía, para volar entre 1 y 1,5 horas, su ruta de vuelo está configurada para cubrir toda el área analizada. También está configurado para adquirir imágenes cada 2 segundos de las plantaciones [25].

En la investigación [26] la tecnología de procesamiento inicial de imágenes utilizada con los datos capturados por vehículos aéreos corresponde con el proceso de la georeferenciación directa, donde las

imágenes capturadas por los sensores de imagen son corregidas geométrica y radiométricamente, unidas en un mosaico y finalmente asignadas píxel a píxel a una proyección geográfica que permita realizar mediciones y estudios sobre el terreno.

Teledetección basada en vehículos aéreos no tripulados (UAV) la plataforma está ganando popularidad en varias aplicaciones debido a su flexibilidad y su bajo costo operativo. Por ejemplo, se han utilizado ortomosaicos de imágenes UAV para topografía y propósitos de monitoreo ambiental [1] [2]. Aparte de la salida espectral, los estudios han demostrado la capacidad de las imágenes obtenidas a través de UAV para crear modelos digitales de elevación, lo que permite el estudio de estructuras geológicas y cuencas hidrográficas [3] [4][27].

La combinación de capacidades de reconocimiento aéreo de vehículos aéreos no tripulados con habilidades de intervención específicas de vehículos terrestres no tripulados agrícolas pueden significativamente mejorar la efectividad de los sistemas robóticos aplicados a la agricultura de precisión. En este contexto, construir y actualizar un mapa común del campo es una tarea esencial pero desafiante [29].

El sistema de visión a bordo de cada UAV individual observado en [30], detecta objetos o segmentación semántica en imágenes, para contar la cantidad de malezas por encima de un tamaño específico o medir su desarrollo. Los resultados de cada imagen deben asignarse a coordenadas del mundo real, utilizando estimaciones de pose absolutas y relativas de otros sensores (por ejemplo, GPS, IMU). Esto proporciona la base para el tiempo y la planificación del camino.

El documento [31] menciona la implementación de un sistema UAV e ilustra el rendimiento del sistema de clasificación de plantas / malezas.

2.9. GPS.

En el marco de la agricultura de precisión, los dispositivos de geolocalización nos brindan información exacta sobre el posicionamiento en el terreno, lo que permite mejorar la planificación, elaborar mapas topográficos, realizar un muestreo del suelo, orientarnos sobre relieves de la tierra, entre muchas otras cosas.

Equipo tal como rociadores de aviones y grandes vehículos agrícolas son ampliamente utilizados en gran área de tierras de cultivo. Para los campos de maíz, el equipo de maquinaria agrícola utiliza principalmente GPS o Método de reconocimiento de imagen para la navegación [32].

La tecnología satelital permite grabar el recorrido del área a calcular, para luego informar el valor. Entre otras cosas los GPS miden las alturas de cada punto de ese recorrido con respecto al nivel del mar. Algunos modelos tienen incorporado un barómetro que le permite dar un valor de altura más exacto. Estos valores sirven para el trazado de líneas de aguadas, canales, etc [33].

Estos equipos pueden ser programados para que controlen el flujo de líquidos y/o granulados que están siendo aplicados por cada boquilla o caída de producto, de modo que sea posible regular y monitorear la aplicación, la cual es dirigida espacialmente por un equipo GPS. Junto a la dosificación variable de fertilizantes y plaguicidas, es posible generar, además, mapas de aplicación, para medir la eficiencia con que se aplicó, en comparación al mapa original de recomendación, lo cual permitirá, entre otras cosas, explicar el rendimiento a la cosecha [34].

Como resultado, los análisis de suelo terminaron y combinaron con cada polígono de suelo en medios GIS. Durante el levantamiento de suelos profundidad del suelo, pendiente, salinidad, textura, materia orgánica, cal contenido, todos los macroelementos y microelementos

disponibles fueron analizados e integrados en polígonos de suelo relacionados[35].

2.10. Red Neuronal.

Las *redes neuronales artificiales* (en inglés, ANN, Artificial Neural Networks) se inspiran en el sistema nervioso y el comportamiento biológico, creando un sistema de interconexión en capas de neuronas artificiales que colaboran para procesar datos de entrada y generar salidas. Como modelo computacional, las RNA utilizan grafos y funciones, conformadas por elementos de proceso (EP o nodos) y conexiones (enlaces). Procesan entradas y generan salidas que ayudan a resolver problemas. En algunos modelos se utiliza memoria local en los nodos o elementos de proceso. Los nodos y conexiones de la red neuronal se organizan en capas. En inteligencia artificial, red neuronal artificial o ANN es una técnica de aprendizaje utilizada en la diversidad de tareas. Este análogo en la estructura del sistema neurológico de animales, que se compone de redes neuronales biológicas. Para este artículo, el sistema experto dedicado a se utilizará WTMCS (red neuronal WTMCS o WNN) y simulado, ya que el WTMCS controla el principal depósito o almacenamiento de agua [36].

2.11. Visión Artificial.

Las tareas de visión por computadora incluyen métodos para adquirir, procesar, analizar y comprender imágenes digitales, y extraer datos de alta dimensión del mundo real para producir información numérica o simbólica, p. ej. en forma de decisiones. La comprensión en este contexto significa la transformación de imágenes visuales (la entrada de la retina) en descripciones del mundo que tienen sentido para los procesos de pensamiento y pueden provocar la acción apropiada. Esta comprensión de la imagen puede verse como el desenredado de la información simbólica de los datos de la imagen utilizando modelos construidos con la ayuda de la geometría, la física, la estadística y la teoría del aprendizaje.

El objetivo principal de la clasificación de plantas propuesto en el sistema [38] es, permitir que los robots de campo móviles distingan los cultivos y malezas en ambientes de campo agrícola. Aquí, se considera la remolacha azucarera, un cultivo de valor popular en el norte de Europa.

El artículo [39] presentó una metodología para la agricultura de precisión que consiste en una imagen 3-D multispectral ligera. Los diseños de hardware del conjunto de sensores y el subyacente se describió el uso del software. Desarrollan metodologías de análisis y visualización de datos para ayudar a los productores a obtener información procesable de los datos adquiridos e interpretar ellos para la gestión eficiente de la granja.

El sistema propuesto en [40], implementa un marco inspirado de algoritmos de clasificación de objetos / imágenes de última generación. Estos algoritmos utilizan una serie de procesos individuales, lo que lleva a una decisión para cada imagen individual. Esta serie de los procesos incluyen extracción de características, codificación de características y representación, concluyendo con la etapa de clasificación.

El objetivo de la investigación [41] fue el diseño e implementación de un sistema multispectral que se incorpora a un VANT para obtener imágenes correspondientes a longitudes de onda del azul (420-500nm), el verde (520 - 600nm), el rojo (620-750 nm) y el infrarrojo cercano (750-900 nm). Además de una aplicación en software con interfaz gráfica de usuario (Graphic User Interface, GUI) que permite importar la información recopilada por la cámara digital en cada longitud de onda y determinar el índice de vegetación (Normalized Differential Vegetation Index, NDVI)

2.12. Labview

LabVIEW es un software de ingeniería de sistemas que requiere pruebas, medidas y control con acceso rápido a hardware e información de datos.

Robots agrícolas autónomos que podrían identificar, rociar y recoger arroz y trigo pronto pueden ser una realidad. El proceso también podría ayudar a avanzar en otros campos, incluidos cirugía robótica y otra aplicación médica. El concepto del diseño del robot agrícola se puede lograr mediante el uso de LabView software y GSM para interconectar el robot y la PC [42].

2.13. Datalogger.

El datalogger, conocido también como sistema de adquisición de datos y control, o micrologger, es el corazón de una estación de medida. Mide las señales eléctricas de sensores a una velocidad de muestreo determinada, procesa y almacena los datos, y dispone de telecomunicaciones. Según la investigación [43] demuestran que los dataloggers disponen también de funciones de control, de forma que pueden activar dispositivos externos o en función de estados externos realizar unas funciones programadas. En dicho artículo se propone el diseño de un sistema de adquisición de datos y control para aplicaciones agrícolas, con un enfoque abierto, modular, flexible y escalar; basado en el desarrollo de una arquitectura orientada a servicios.

2.14. Nanotecnología.

La nanotecnología es el estudio y la manipulación de materia en tamaños increíblemente pequeños, generalmente entre uno y 100 nanómetros. Para ponerlo en perspectiva, una hoja de papel tiene unos 100,000 nanómetros de grosor. La nanotecnología comprende una muy amplia gama de materiales, procesos de fabricación y tecnologías que se usan para crear y mejorar muchos productos que la gente usa diariamente.

La nanotecnología tiene el potencial de revolucionar la agricultura y la alimentación y la industria con nuevas herramientas para el tratamiento molecular de enfermedades, enfermedades rápidas detección, mejorando la capacidad de las plantas para absorber nutrientes, etc. Sensores inteligentes y los sistemas de entrega inteligentes ayudarán a la industria agrícola a combatir los virus y otros patógenos de cultivo [44].

2.15. Recolección de datos.

La recolección de datos se refiere al uso de una gran diversidad de técnicas y herramientas que pueden ser utilizadas por el analista para desarrollar los sistemas de información.

La agricultura de precisión sigue siendo sólo un concepto en muchos países en desarrollo y apoyo estratégico del público y el sector privado es esencial para promover su rápida adopción. La adopción exitosa, sin embargo, comprende al menos tres fases. incluyendo exploración, análisis y ejecución. La agricultura de precisión puede abordar cuestiones económicas y ambientales que rodean la producción agrícola hoy [45].

En el artículo [46], se abordan algunas reflexiones y desafíos con respecto a algunas de las principales amenazas de seguridad consideradas en la agricultura inteligente, así como los desafíos para superar esas amenazas de manera adecuada. Hay que notar que seguridad, en el contexto de cualquier actividad comercial, significa más inversión financiera sin un retorno necesario de la inversión (ROI). Es por ello, que generalmente las fallas de seguridad se abordan después de que ocurre cualquier incidente crítico que se refleje en impactos dramáticos en cualquier actividad.

La AP basada en IoT utilizada en [47] promete hacer más rentable y eficiente una granja con menos trabajo laboral. Se basa en el uso de

datos para formar prácticas agrícolas más eficientes y efectivas e impulsar beneficios ambientales y sociales. Estas tecnologías y aplicaciones asociadas permiten a los agricultores tratar cultivos con mayor precisión. Las implicaciones futuras de los datos recopilados a través de estas tecnologías también permiten a los agricultores tomar decisiones estratégicas y efectivas para aumentar la productividad con menos impactos ambiental.

El documento [48] presenta una visión general de las tecnologías IoT en varios escenarios de agricultura inteligente. Diferentes dominios agrícolas, han sido analizados en este trabajo, destacando los requisitos de comunicación más relevantes y proporcionando un mapeo entre los casos de uso presentados y las tecnologías habilitadoras. Consideramos UGV y UAV, examinando diferentes usos y sus requisitos. En particular, han propuesto una taxonomía para misiones de UAV, que se puede utilizar para identificar las diferencias entre las diferentes misiones. Por otro lado, parece que todavía falta el uso conjunto de UGV y UAV de escenarios de agricultura inteligente.

El sistema propuesto en [49] tiene en cuenta tres dominios de arquitectura, con el fin de obtener una completa realimentación durante el ciclo de vida del producto y presentar resultados confiables y aplicables a los cultivos de caña, mostrando la arquitectura propuesta.

3. Comentarios Finales.

3.1. Resumen de resultados.

En la ilustración 1 se observa la tendencia que han llevado las diferentes investigaciones en el ramo agrícola en lo que respecta a los métodos de control inteligente utilizados en los últimos años, hay se destaca la computación en la nube a través de su subderivación del IoT (Internet of Things), debido a que de esta es una nueva tecnología que se está aplicando y teniendo mejores resultados, que cuentan con un nuevo sistema más flexible. Mediante la instalación de un sistema de sensores conectados a Internet (que son inteligentes, económicos y con un muy bajo consumo eléctrico), los usuarios reciben información en tiempo real sobre la temperatura, la radiación solar, el pH, la conductividad y la humedad de sus terrenos agrícolas, sólo por mencionar algunos ejemplos. Estos datos permiten, por ejemplo, consultar los informes de comportamiento de la temperatura y humedad, controlar automáticamente sistemas de riego, programar fumigaciones preventivas, y recibir alertas vía SMS y notificaciones cuando se registran variables ambientales anómalas, que propician el desarrollo de enfermedades u hongos.

De esta forma, la gestión de cultivos inteligente o de precisión, nos abre la posibilidad de utilizar la información decodificada como herramienta de soporte para la mejor toma de decisiones y la realización de acciones que favorezcan tanto una mayor productividad como la eficiencia de los recursos agrícolas.

Dado que el IoT permite tener un conocimiento total sobre las condiciones del cultivo, podremos hacer un uso mucho más eficiente de los recursos, especialmente del agua.

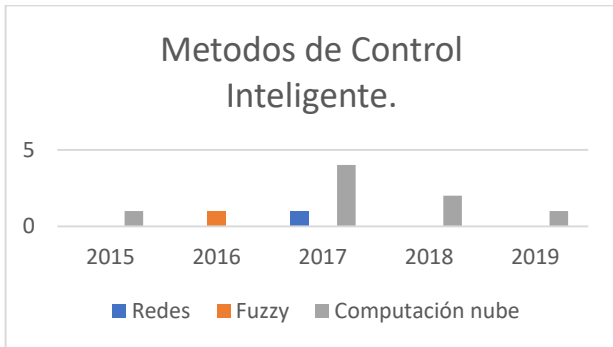


Ilustración 1: Tendencia de los Métodos de Control Inteligente.

Dentro de las herramientas de monitoreo destaca también el uso de IoT, esta tendencia se muestra en la ilustración 2. Para la realización del monitoreo de los niveles de productividad de la cosecha, además de su costo accesible y las ventajas que este proporciona al mantener datos en tiempo real que pueden ser de fácil acceso y que también se pueden observar en una plataforma móvil mediante una aplicación en un celular inteligente. En cambio mediante el uso de Visión Artificial se pueden detectar las diferentes plagas que se pueden presentar en la cosecha, también si se sufre de alguna irregularidad o algo que presente una amenaza a esta.

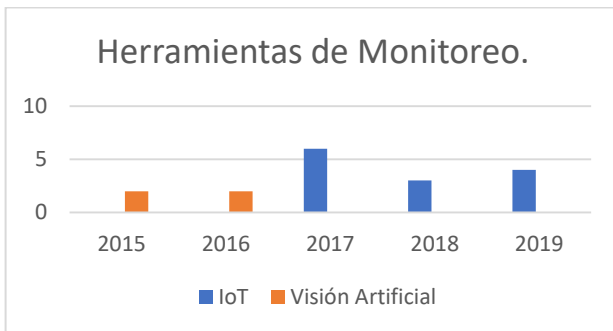


Ilustración 2: Tendencias de las Herramientas de Monitoreo.

Esto se traducirá inmediatamente en un incremento de la rentabilidad y en un menor desperdicio de los recursos.

3.2. Conclusiones.

Al terminar esta parte de la investigación se puede concluir que el uso de la agricultura de precisión necesariamente aumentará en los próximos años, todo apunta al uso de IoT como una alternativa viable para la obtención de datos en los cultivos de alimentos, esta tecnología sumada a la versatilidad del uso del geoposicionamiento global en vehículos autónomos no tripulados y con cámaras de un gran espectro, abren la posibilidad de un sistema que garantice la optimización de los recursos en las parcelas y mejorar notablemente la producción y rendimiento. Por nuestra parte después de ver la pertinencia y viabilidad del tema investigado continuaremos con la siguiente etapa del proyecto que es la construcción de un sistema donde deberemos incluir algunas de las tecnologías estudiadas. Con esta investigación se puede brindar una información especial para aquellas personas estén interesadas en realizar un proyecto relacionado en este rubro y que puedan comparar cuál o cuáles sistemas se pueden adecuar o ser viables dependiendo de la necesidad que tenga.

3.3. Recomendaciones.

La presente investigación puede mejorarse de manera concreta al enfocarse en cuáles son los métodos que se pueden aplicar en México, dependiendo de su región del país o en dado caso al producto a sembrar. Ya que como en varios artículos se especifica algunos sistemas se pueden aprovechar para la producción de diferentes productos agrícolas, sólo con unas pequeñas modificaciones. Además al estar observando las tendencias de nuevas tecnologías es importante tener conocimiento de aquellas que nos permitan un mejor control y a su vez el mejor aprovechamiento en la producción agrícola. Para finalizar se pueden observar que también existen sistemas que se pueden denominar de mediano a bajo costo y que igual permite mantener resultados satisfactorios a la hora de implementarse.

3.4. Referencias

3.5.

- [1] U. S. Rajani, A. Sathyan, A. Mohan y A. A. Kadar, «Design architecture of autonomous precision farming system.» *2017 International Conference on Intelligent Computing, Instrumentation and Control Technologies (ICICT)*, p. 5, 2017.
- [2] R. Dolci, «IoT Solutions for Precision Farming and Food Manufacturing: Artificial Intelligence Applications in Digital Food.» *2017 IEEE 41st Annual Computer Software and Applications Conference (COMPSAC)*, p. 2, 2017.
- [3] F. N. Sabri, N. H. H. M. Hanif y Z. Janin, «Precision Crop Management for Indoor Farming.» *2018 IEEE 5th International Conference on Smart Instrumentation, Measurement and Application (ICSIMA)*, p. 4, 2018.
- [4] P. Sureephong, P. Wiangnak y S. Wicha, «The comparison of soil sensors for integrated creation of IoT-based Wetting front detector (WFD) with an efficient irrigation system to support precision farming.» *2017 International Conference on Digital Arts, Media and Technology (ICDAMT)*, p. 4, 2017.
- [5] Y. Suleman, R. V. Manurung, D. Kurniawan, I. D. P. Hermida y A. Heryana, «Development of Precision Farming Using Modular Multi Node Sensor.» *2018 International Conference on Radar, Antenna, Microwave, Electronics and Telecommunications (ICRAMET)*, p. 5, 2018.
- [6] M. M. Maha, S. Bhuiyan y M. Masuduzzaman, «Smart Board for Precision Farming Using Wireless Sensor Network.» *2019 International Conference on Robotics, Electrical and Signal Processing Techniques (ICREST)*, p. 6, 2019.
- [7] L. Lambrinos, «Internet of Things in Agriculture: A Decision Support System for Precision Farming.» *2019 IEEE Intl Conf on Dependable, Autonomic and Secure Computing, Intl Conf on Pervasive Intelligence and Computing, Intl Conf on Cloud and Big Data Computing, Intl Conf on Cyber Science and Technology Congress (DASC/PiCom/CBDCOM/CyberSciTech)*, p. 4, 2019.
- [8] P. Rekha, V. P. Rangan, M. V. Ramesh y K. V. Nibi, «High Yield Groundnut Agronomy: An IoT Based.» *2017 IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC)*, p. 5, 2017.
- [9] H. B. Biradar y L. Shabadi, «Review on IOT Based Multidisciplinary Models for Smart Farming.» *2017 2nd IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology (RTEICT)*, p. 4, 2017.
- [10] S. F. J. C. W. Y. C. M. G. E. C. G. Edwin Andrés Quiroga Montoya1, «Propuesta de una Arquitectura para Agricultura de Precisión Soportada en IoT.» *RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, p. 17, 2017.
- [11] S. Pooja, D. V. Uday, U. B. Nagesh y S. G. Talekar, «Application of MQTT Protocol for Real Time Weather Monitoring and Precision Farming.» *2017 International Conference on Electrical, Electronics,*

- Communication, Computer and Optimization Techniques (ICEECOT)*, p. 6, 2017.
- [12] A. C. Marosi, A. Farkas y R. Lovas, «An adaptive cloud-based IoT back-end architecture and its applications.,» *2018 26th EuroMicro International Conference on Parallel, Distributed, and Network-Based Processing (PDP)*, p. 8, 2018.
- [13] N. L. A. P. Ž. Z. T Popović, «Architecting an IoT-enabled platform for precision agriculture and ecological monitoring: A case study.,» *Computers and Electronics in Agriculture*, p. 11, 2017.
- [14] N. S. Naik, V. V. Shete y S. R. Danve, «Precision Agriculture Robot for Seeding Function.,» *2016 International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT)*, p. 3, 2016.
- [15] F. A. Cheein, D. Herrera, J. Gimenez, R. Carelli y M. Torres-Torriti, «Human-Robot Interaction in Precision Agriculture: Sharing the Workspace with Service Units.,» *2015 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)*, p. 7, 2015.
- [16] V. Nguyen, Q. Vu, O. Solenaya y A. Ronzhin, «Analysis of main tasks of precision farming solved with the use of robotic means.,» *12th International Scientific-Technical Conference on Electromechanics and Robotics "Zavalishin's Readings" - 2017*, p. 6, 2017.
- [17] K. Antonopoulos, C. Panagiotou, C. P. Antonopoulos y N. S. Voros, «A-FARM Precision Farming CPS Platform.,» *2019 10th International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications (IISA)*, p. 3, 2019.
- [18] T. Bhosale, M. Patil y V. Wadhai, «A Smart Farming Alternative for Small Pomegranate.,» *2015 International Conference on Communications and Signal Processing (ICCSP)*, p. 5, 2015.
- [19] U. Dorji, T. Pobkrut y T. Kerdcharoen, «Electronic Nose Based Wireless Sensor Network for Soil Monitoring in Precision Farming System.,» *2017 9th International Conference on Knowledge and Smart Technology (KST)*, p. 5, 2017.
- [20] X. G. T. G. Y. D. Guiling Sun, «A ZigBee-Based Acquisition System for Agricultural Environment Information with Low Power and High Reliability.,» *Journal of Computer and Communications*, 2018, 6, 39-49, p. 11, 2018.
- [21] P. L. F. W. C. Z. R. Z. W. C. X. L. & Y. L. Maoling Yan, «Research on precision management of farming season based on big data.,» *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, p. 10, 2018.
- [22] M. D. Cicco, C. Potena, G. Grisetti y A. Pretto, «Automatic Model Based Dataset Generation for Fast and Accurate Crops and Weeds Detection.,» *2017 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, p. 8, 2017.
- [23] F. Viani, M. Bertolli y A. Polo, «Low-Cost Wireless System for Agrochemical Dosage Reduction in Precision Farming.,» *IEEE Sensors Journal (Volume: 17, Issue 1, Jan. 1, 1 2017)*, p. 2, 2017.
- [24] A. Vasudevan, D. A. Kumar y N. S. Bhuvaneshwari, «Precision farming using Unmanned Aerial and Ground Vehicles.,» *2016 IEEE Technological Innovations in ICT for Agriculture and Rural Development (TIAR)*, p. 5, 2016.
- [25] G. R. Silva, M. C. Escarpinati, D. D. Abdala y I. R. Souza, «Definition of Management Zones through Image Processing for Precision Agriculture.,» *2017 Workshop of Computer Vision (WVC)*, p. 5, 2017.
- [26] A. F. G. Rivera, F. V. Clavijo y M. A. F. J. López, «Agricultura De Precisión Y Sensores Multiespectrales Aerotransportados.,» *N/A*, p. 7, 2016.
- [27] L. C. G. David y A. H. Ballado, «Vegetation Indices and Textures in Object-based Weed Detection from UAV imagery.,» *2016 6th IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering (ICCSCE)*, p. 6, 2016.
- [28] E. P. V., «Los drones una herramienta para una agricultura eficiente: un futuro de alta tecnología.,» *Ideias vol.37 no.1 Arica mar. 2019*, p. 10, 2019.
- [29] C. Potena, R. Khanna, J. Nieto, R. Siegart, D. Nardi y A. Pretto, «AgriColMap: Aerial-Ground Collaborative 3D Mapping for Precision Farming.,» *IEEE ROBOTICS AND AUTOMATION LETTERS*, p. 8, 2019.
- [30] D. Albani, J. IJsselmuiden, R. Haken y V. Trianni, «Monitoring and Mapping with Robot Swarms for Agricultural Applications.,» *2017 4th IEEE International Conference on Advance Video and Signal Based Surveillance (AVSS)*, p. 6, 2017.
- [31] P. Lottes, R. Khanna, J. Pfeifer, R. Siegart y C. Stachniss, «UAV-Based Crop and Weed Classification for Smart Farming.,» *2017 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, p. 8, 2017.
- [32] L. Liu, H. Chen, S. Chu, T. Mei, R. Niu y J. Wang, «The Method of Coordinate Recognition for Maize Straws under Canopy by Monocular Vision.,» *2016 2nd International Conference on Control, Automation and Robotics (ICCAR)*, p. 4, 2016.
- [33] E. García y F. Flego, «Tecnología Agropecuaria.,» *N/A*, p. 18, 2008.
- [34] R. O. B. y L. F. M., «Agricultura de Precisión: Introduccion al manejo sitio-especifico.,» *N/A*, p. 8, 1999.
- [35] M. A. Cullu, M. Teke, N. Mutlu, U. Türker, A. V. Bilgili y F. Bozgeyik, «INTEGRATION AND IMPORTANCE OF SOIL MAPPING RESULTS IN THE PRECISION AGRICULTURE.,» *2019 8th International Conference on Agro-Geoinformatics (Agro-Geoinformatics)*, p. 4, 2019.
- [36] J. R. d. Cruz, R. G. Baldovino, A. A. Bandala y E. P. Dádios, «Water Usage Optimization of Smart Farm Automated Irrigation System Using Artificial Neural Network.,» *2017 5th International Conference on Information and Communication Technology (ICICT)*, p. 5, 2017.
- [37] A. K. T. Galindo, A. F. G. Rivera y M. Andrés Fernando Jiménez López, «Development of a multispectral system for precision agriculture applications using embedded devices.,» *Sistemas & Telemática, 13(33), 27-44*, p. 18, 2015.
- [38] P. Lottes, M. Hoferlin, S. Sander, M. Müter, P. Schulze y L. C. Stachniss, «An Effective Classification System for Separating Sugar Beets and Weeds for Precision Farming Applications.,» *2016 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, p. 7, 2016.
- [39] J. Das, G. Cross, C. Qu, A. Mäkinen, P. Tokekar, Y. Mulgaonkar y V. Kumar, «Devices, Systems, and Methods for Automated Monitoring enabled Precision Agriculture.,» *2015 IEEE International Conference on Automation Science and Engineering (CASE)*, p. 8, 2015.
- [40] T. Kounalakis, G. A. Triantafyllidis y L. Nalpanitidis, «Weed Recognition Framework for Robotic Precision Farming.,» *2016 IEEE International Conference on Imaging Systems and Techniques (IST)*, p. 6, 2016.
- [41] A. K. T. Galindo, A. F. G. Rivera y M. Andrés Fernando Jiménez López, «Development of a multispectral system for precision agriculture applications using embedded devices.,» *Sistemas & Telemática, 13(33), 27-44*, p. 18, 2015.
- [42] S. Mohan, E. P. Kumar y B. Paulchamy, «Certain Investigation Of Precision Agriculture Robot Using Lab View.,» *2013 International Conference on Current Trends in Engineering and Technology (ICCTET)*, p. 4, 2013.
- [43] C. Lozoya, A. Aguilar y C. Mendoza, «Service Oriented Design Approach for a Precision Agriculture Datalogger.,» *IEEE Latin America Transactions (volume: 14, Issue: 4, April 2016)*, p. 6, 2016.
- [44] S. H. A.-E. M. A. M. Mostafa, «Applications of Nanotechnology in Agriculture: An Overview.,» *Egypt. J. Soil Sci. 55, No. 2, pp. 197-214 (2015)*, p. 18, 2015.
- [45] 2. E. A. J. A. J. A. G. K. M. V. M. Abdul Hakkim1, «Precision Farming:

- The Future of Indian Agriculture.» *Journal of Applied Biology & Biotechnology* Vol. 4 (06), pp. 068-072, Nov-Dec, 2016, p. 5, 2016.
- [46] L. Barreto y A. Amaral, «Smart Farming: Cyber Security Challenges,» *2018 International Conference on Intelligent Systems (IS)*, p. 7, 2018.
- [47] I. K. D. a. W. L. B. J. Lei Zhang, «Internet of Things Applications for Agriculture,» *N/A*, p. 22, 2018.
- [48] M. Bacco, A. Berton, E. Ferro, C. Gennaro, A. Gotta, S. Matteoli y F. Paone, «Smart Farming: Opportunities, Challenges and Technology Enablers.,» *2018 IoT Vertical and Topical Summit on Agriculture - Tuscany (IOT Tuscany)*, p. 6, 2018.
- [49] Ó. Arley Orozco y G. Llano Ramírez, «Sistemas de información enfocados en tecnologías de agricultura de precisión y aplicables a la caña de azúcar, una revision.,» *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, vol. 15, núm. 28, enero-junio, 2016, pp. 103-124, p. 23, 2017.
- [50] J. E. G. López, J. C. Chavez y A. K. J. Sánchez, «Modelado de una red sensores y actuadores inalámbrica para aplicaciones en agricultura de precisión.,» *2017 IEEE Mexican Humanitarian Technology Conference (MHTC)*, p. 8, 2017.
- [51] N. Ahmed, D. De y I. Hussain, «Internet of Things (IoT) for Smart Precision Agriculture and Farming in Rural Areas.,» *IEEE INTERNET OF THINGS JOURNAL*, VOL. 5, NO. 6, p. 10, 2018.