CAPÍTULO XV

INDUSTRIA 4.0 COMO HERRAMIENTA EN LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN—MONITOREO Y CONTROL DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA: UNA SÍNTESIS DE LA LITERATURA

Aarón Montiel Rosales.

Maestro en Ingeniería Industrial, TecNM / IT de Orizaba. Profesor-Investigador del TecNM / ITS de Purísima del Rincón. Purísima del Rincón-México. Correo electrónico: aaron.mr@purisima.tecnm.mx. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3064-0274>.

Nayeli Montalvo Romero.

Maestra en Ingeniería Industrial, TecNM / IT de Orizaba. Profesora-Investigadora del TecNM / ITS de Purísima del Rincón. Purísima del Rincón-México. Correo electrónico: nayeli.mr@purisima.tecnm.mx. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3706-6244>.

Rubén Purroy Vásquez.

Doctor en Ciencias en Agroecosistemas Tropicales, Colegio de Posgraduados Campus Veracruz. Director Académico del TecNM / ITS de Zongolica. Zongolica-México. Correo electrónico: rubenpurroy2000@gmail.com. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5639-6356>.

Gregorio Fernández Lambert.

Doctor en Logística y Dirección de la Cadena de Suministro, Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla. Profesor-Investigador del TecNM / ITS de Misantla. Purísima del Rincón-México. Correo electrónico: gfernandezl@itsm.edu.mx. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4259-296X>.

Resumen

Las diversas medidas derivadas por la Declaratoria de Emergencia Sanitaria de aislamiento social y permanencia en casa por el COVID-19, han cambiado el ritmo y forma en la que se desenvuelven los procesos productivos. Es la cadena agroalimentaria, uno de estos sectores productivos que también ha sido afectada y que a pesar de ello no se ha detenido. En México, se considera que el 54% de la producción de alimentos recae en los pequeños productores de baja escala y que son generadores del 80% del empleo. Sí bien es cierto que no se ha detenido dicha cadena de valor también esta actividad productiva está sufriendo los estragos derivados

del COVID-19, e.g., reducción de ingresos; aunado a esto, las United Nations considera que para el 2050 se tendrá que alimentar alrededor de 9 mil millones de personas, y que, la dietética de las personas está cambiando. Estos grandes desafíos a los que se enfrenta la producción agrícola rural de baja escala ponen en riesgo la seguridad alimentaria. Ahora bien, por la misma naturaleza del producto —perecedero— se requiere un minucioso seguimiento y control durante todo el proceso del cultivo, que garantice un producto de calidad. El presente artículo analiza e identifica las principales tecnologías de la Industria 4.0, que se emplean en la Agricultura de Precisión, desde una revisión de diferentes documentos de los últimos 5 años en base de datos como Scopus, Google Scholar, páginas web institucionales y repositorios científicos. El estudio realizado arroja que la Agricultura de Precisión, es posible mediante un monitoreo y control de los cultivos, y esto se logra con apoyo de la I4.0. Por lo que, la I4.0, provee herramientas inteligentes y que en tiempo real poseen la capacidad de procesar información compleja, convirtiéndose en un gran aliado del agro-productor a baja escala en el post-COVID-19.

Palabras clave: agricultura de precisión, Industria 4.0, monitoreo-control, producción agrícola.

INDUSTRY 4.0 AS A TOOL IN PRECISION AGRICULTURE—MONITORING AND CONTROL OF AGRICULTURAL PRODUCTION: A SYNTHESIS OF LITERATURE

Abstract

The various measures derived by the Declaration of Health Emergency of social isolation and stay at home due to COVID-19, have changed the pace and way in which the productive processes develop. It is the agri-food chain, one of these productive sectors that has also been affected and that despite this has not stopped. In Mexico, 54% of food production is estimated to be borne by small, small-scale producers, who generate 80% of employment. While it is true that this value chain has not stopped, this productive activity is also suffering the ravages of COVID-19, e.g., reduced income; in addition to this, the United Nations believes that by 2050 about 9 billion people will have to be fed, and that people's diets are changing. These major challenges facing low-scale rural agricultural production put food security at risk. However, due to the very nature of the product —perishable— a thorough monitoring and control is required throughout the cultivation process, which guarantees a quality product. This article analyzes and identifies the main technologies of Industry 4.0, which are reported in Precision Agriculture. The review includes works from the last 5 years in databases such as Scopus, Google Scholar, institutional websites and scientific repositories. The study shows that Precision Agriculture is possible through monitoring and control of crops, and this is achieved with the support of I4.0. Therefore, the I4.0, provides intelligent tools and that in real time have the ability to process complex information, becoming a great ally of the agro-producer on a low scale in the post-COVID-19.

Keywords: agricultural production, Industry 4.0, monitoring-control, precision agriculture.

Identificación del Proyecto

El capítulo resultado del proyecto de Investigación “Desarrollo de un Sistema de monitoreo y control Agroalimentario Inteligente en la producción de alimentos frescos, capaz de apoyar a la Seguridad Alimentaria y al Desarrollo Socioeconómico de las familias afectadas por el COVID-19”, en desarrollo; con financiamiento del Tecnológico Nacional de México de la Convocatoria 2021: Proyectos de investigación científica.

Introducción

La situación atípica en la que vivimos en todo el mundo, derivada del virus Coronavirus SARS-CoV-2 causante del COVID-19, ha tenido un impacto en todos los sentidos de la humanidad. La World Health Organization (WHO) al 25 de mayo del 2021 a las 3:59 pm CET (Central European Time) informa que a nivel mundial existen 167.011.807 casos confirmados, incluyendo 3.472.068 muertes por COVID-19, mientras que en México son reportados 2.396.604 casos confirmados y 221,647 muertes (WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard | WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard With Vaccination Data, n.d.).

La pandemia del COVID-19 está generando, entre otras cosas, un impacto en el desarrollo socioeconómico de la humanidad. Según las United Nations (UN), la pandemia de COVID-19 es mucho más que una crisis de salud: está afectando a sociedades y economías en su núcleo (United Nations, 2020b). El Fondo Monetario Internacional (FMI) reevaluó las perspectivas de crecimiento para 2020 y 2021, y declaró que se entró en una recesión, tan seria o más que la de 2009; el mismo FMI, prevé que solo habrá una recuperación en 2021 si el mundo logra contener el virus y tomar las medidas económicas necesarias (United Nations, 2020a).

El World Bank (WB), considera que la rápida propagación mundial del virus ha alcanzado proporciones pandémicas y provocó una serie de medidas de emergencia, e.g., recortes de tasas, respaldo de liquidez, aplazamientos de impuestos, prohibiciones de viaje, cierre obligatorio de negocios, limitaciones en las reuniones, y con ello, contener la propagación y mitigar la interrupción de la actividad económica y evitar una dislocación en los mercados financieros; si bien se ha iniciado una flexibilización gradual de las medidas de bloqueo en la región, los hogares y las empresas, especialmente las MiPyME, se enfrentan a una caída de los ingresos,

interrupciones en las cadenas de suministro, condiciones crediticias más estrictas y una crisis de liquidez; juntos, están retrasando las entregas y los pagos y provocando la pérdida de puestos de trabajo y, en última instancia, cierres de empresas y quiebras (World Bank Group, 2020b). El COVID-19 está afectando a los hogares de manera más profunda y amplia que el mismo impacto en la salud por sí solo; las interrupciones en la entrega de alimentos y servicios esenciales, combinadas con la pérdida de ingresos en los hogares, pueden ralentizar o incluso revertir las ganancias de capital humano ganadas con tanto esfuerzo en los países más pobres; además, los grupos que son vulnerables por motivos de género, discapacidad, etnia, religión o geografía pueden enfrentar discriminación en el acceso a servicios y necesidades esenciales (World Bank Group, 2020a).

La pandemia de COVID-19, con una velocidad alarmante, asentó un duro golpe a una economía mundial ya débil, que se espera se deslice hacia su recesión más profunda desde la Segunda Guerra Mundial, a pesar de un apoyo político sin precedentes; más allá de la fuerte contracción económica actual, es probable que la pandemia deje cicatrices duraderas en la economía mundial al socavar la confianza de los consumidores y los inversores, el capital humano y las cadenas de valor mundiales (World Bank Group, 2020c). En este sentido, un escenario simulado de una pandemia mundial por el WB, estima que el Producto Interno Bruto (PIB) cae un 2.0% por debajo del punto de referencia para el mundo, un 2.5% para los países en desarrollo y un 1.8% para los países industrializados; las caídas están casi un 4.0% por debajo del punto de referencia para el mundo (Maliszewska et al., 2020).

Si bien el impacto de la pandemia variará de un país a otro, lo más probable es que aumente la pobreza y las desigualdades a escala mundial, lo que hará que el logro de los ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible) y la Agenda 2030 sea aún más urgente; sin respuestas socioeconómicas, el sufrimiento mundial se intensificará, poniendo en peligro vidas y medios de subsistencia en los próximos años.

Las respuestas inmediatas al desarrollo en esta crisis deben emprenderse con miras al futuro; las trayectorias de desarrollo a largo plazo se verán afectadas por las decisiones que tomen los países ahora y el apoyo que reciban (United Nations, 2020b).

El informe “Agricultural Outlook 2020-2029”, de la Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD, Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos) y la Food and Agriculture Organization (FAO, Organización para la Alimentación y Agricultura) de la UN, menciona que las proyecciones cuantitativas de mediano plazo para los mercados agrícolas mundiales y nacionales serán inciertas, debido a que el comportamiento de éstas se relaciona con la pandemia del COVID-19, afectando así la producción, los precios y el comercio; además, existirán cambios en las preferencias de los consumidores, enfermedades de plantas y animales, y la mayor inquietud acerca de los futuros acuerdos comerciales entre varios actores importantes en los mercados agrícolas mundiales (OECD y FAO, 2020). Aunado a esto, según la FAO para el 2050 se tendrá que alimentar a un planeta de 9 mil millones de personas, lo que requerirá un aumento estimado del 50% en la producción agrícola (FAO, 2018).

Ahora bien, considerando el contexto socioeconómico en el que viven las familias actualmente durante esta Emergencia Sanitaria —el desempleo que ha socavado la economía familiar—, y de la evolución en la forma de sobrevivir de dichas familias —empleo de los propios recursos disponibles que permiten la autosubsistencia—; el objetivo de las familias afectadas por el COVID-19 se centra en garantizar la seguridad alimentaria.

Las afecciones económicas a las que hace mención el WB que afectan la producción primaria son la falta de liquidez, la disponibilidad de mano de obra, la disponibilidad y precio de los insumos agrícolas; situación que no viven las empresas industrializadas de alta producción al emplear escasa mano de obra y tener procesos mecanizados, sino aquellos productores de baja escala en donde el trabajo se resume al autoempleo familiar.

Según la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), la agricultura familiar en América Latina y el Caribe representa cerca del 81% de las explotaciones agrícolas y genera un 50% del empleo del sector agropecuario en la región (FAO y CEPAL, 2020). Mientras, que en México la pequeña agricultura a la que pertenecen los productores de pequeña escala genera el 54% de la producción de alimentos, así como el 80% del empleo; finalmente, los pequeños productores son cuidadores de la biodiversidad (SADER, 2020).

Ahora bien, la producción agrícola de baja escala, la cual, se realiza primordialmente por los

integrantes de la familia se ve afectada por la crisis mundial y la disminución de los ingresos agrícolas —asociado a la baja demanda de alimentos—; además, de la escasa o nula disponibilidad de mano de obra causada por las restricciones impuestas para evitar la propagación del virus.

La CEPAL, considera que la crisis generada por el COVID-19 abre una ventana de oportunidades para transformar la producción primaria en un sector económico más sostenible y resiliente, mediante la implementación de innovaciones tecnológicas, soluciones basadas en la naturaleza y mejoras en el entorno institucional (FAO y CEPAL, 2020). Se estima que hay 500 millones de explotaciones agrícolas familiares, lo que representa más del 90% de todas las explotaciones agrícolas del mundo (FAO e IFAD, 2019).

La obtención de un producto agrícola de calidad, que aporte el máximo de nutrimentos al mismo tiempo en que se cumplen las necesidades organolépticas, es la meta en común del agricultor y del consumidor. Ahora bien, para obtener dicho producto agrícola actúan diversos factores críticos que influyen significativamente de forma positiva o negativa al cumplimiento de dicho objetivo; e.g., la salinidad del suelo determina la capacidad que tienen las raíces de las plantas de absorber aguas y minerales.

El desarrollo de nuevas tecnologías aunado a la rápida asimilación y adopción de las nuevas generaciones humanas, están permitiendo la semi-automatización y/o automatización de sistemas. Por lo que, se han modernizado los procesos —administrativos y operativos—, permitiendo con ello, un incremento en la productividad (Marcela et al., 2019). Según León (2019), las tecnologías de la I4.0 permiten mejorar e innovar las actividades productivas de las empresas. A partir de lo anterior, y considerando que en los pequeños agricultores recae la mayor producción de alimentos, el presente proyecto de investigación analiza e identifica las herramientas de la Industria 4.0 que se emplean para el monitoreo y/o control del cultivo agrícola con un enfoque de Agricultura de Precisión, a través de una revisión documental.

Fundamentación teórica

La Agricultura, según la FAO, es “... una actividad llevada a cabo por el hombre que a tra-

vés de cultivar la tierra produce alimentos para la población humana” (Wadsworth, 1997, p.18); con el objetivo de garantizar la seguridad alimentaria. Ahora bien, la seguridad alimentaria “a nivel de individuo, hogar, nación y global, se consigue cuando todas las personas, en todo momento, tienen acceso físico y económico a suficiente alimento, seguro y nutritivo, para satisfacer sus necesidades alimenticias y sus preferencias” (FAO, 2011, p. 2), con lo que es posible tener una vida activa y sana.

Es posible ubicar dos tipos de producción agrícola:

a) La producción agrícola industrial, considerada como aquella de alto rendimiento en donde se hace uso intensivo de capital (e.g., tractores, maquinaria) e insumos externos (e.g., semillas de alto rendimiento, fertilizantes, pesticidas), a este enfoque también se le conoce como “agricultura de la revolución verde”, “agricultura de altos rendimientos”, “agricultura de altos insumos externos” o “agricultura moderna” (Cacères, 2003); y

b) La agricultura orgánica, la cual, es considerada como “... un sistema de producción que trata de utilizar al máximo los recursos de la finca, dándole énfasis a la fertilidad del suelo y la actividad biológica y al mismo tiempo, a minimizar el uso de los recursos no renovables” (FAO, 2003), persiguiendo en todo instante el cuidado y preservación del medio ambiente y de la salud humana.

Ahora bien, dadas las características de la propia producción orgánica, la práctica agrícola familiar tiene cabida en este sistema productivo.

“La agricultura familiar es un medio de organizar la producción agrícola, forestal, pesquera, pastoril y acuícola que es administrada y operada por una familia y que depende principalmente del trabajo familiar, tanto de mujeres como de hombres. La familia y la finca están vinculadas, coevolucionan y combinan funciones económicas, ambientales, reproductivas, sociales y culturales” (FAO, 2014, p. iii).

Los agricultores familiares son los contribuyentes principales a la seguridad alimentaria y la nutrición, la gestión de los recursos naturales, la cohesión de la comunidad rural y el patrimo-

nio cultural; finalmente, son los que producen la mayor parte de los alimentos del mundo (FAO y IFAD, 2019). En México, la práctica de la agricultura familiar generalmente se asocia a los Productores de Pequeña Escala. De acuerdo con el INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) son aquellos productores de hasta 0.2 hectáreas de riego y hasta 5 hectáreas de temporal, en donde la fuerza de trabajo se centra en el núcleo familiar, acceso limitado a recursos y en donde la producción está orientada principalmente al autoconsumo (SADER, 2020). Según la (FAO, 2020), la Agricultura de Precisión es un concepto de gestión de la agricultura basado en la observación, medición y respuesta a la variabilidad inter e intra campo en los cultivos; la investigación en agricultura de precisión tiene como objetivo definir un sistema de apoyo a la toma de decisiones para la gestión de toda la finca con el objetivo de optimizar los rendimientos de los insumos y preservar los recursos.

Gebbers y Adamchuk (2010), puntualizan que la agricultura de precisión comprende un conjunto de tecnologías que combina sensores, sistemas de información, maquinaria mejorada y gestión informada para optimizar la producción, teniendo en cuenta la variabilidad y las incertidumbres dentro de los sistemas agrícolas; la agricultura de precisión proporciona un medio para controlar la cadena de producción alimentaria y gestionar tanto la cantidad como la calidad de los productos agrícolas.

La agricultura de precisión persigue la optimización del uso de los insumos agrícolas en función de la cuantificación de la variabilidad espacial y temporal de la producción agrícola, mediante la aplicación de técnicas que permitan distribuir la cantidad correcta de los insumos dependiendo del potencial y de la necesidad de cada área; la agricultura de precisión no implica únicamente en cuantificar la variabilidad existente en el área, sino en la posibilidad de identificar, cuantificar y mapear dicha variabilidad, y así georreferenciar y aplicar insumos con dosis en puntos o áreas de coordenadas geográficas conocidas (PROCISUR, 2006). Según El Bilali y Allahyari (2018), la agricultura de precisión es un modelo de producción de alimentos que integra muchas TIC's; dichas tecnologías pueden contribuir a la transición de la sostenibilidad agroalimentaria al aumentar la productividad de los recursos, reducir las ineficiencias, disminuir los costos de gestión y mejorar la coordinación de la cadena alimentaria.

En 2011, el Grupo Alemán de Científicos Acatech (Deutsche Akademie der Technikwis-

senschaften) presentó por primera vez el término “Industrie 4.0” durante la Feria de Hannover, que simboliza el inicio de la cuarta revolución industrial; la cuarta revolución industrial puede describirse como la introducción de las TIC’s modernas en la producción; a finales del siglo XVIII, se inició la primera revolución industrial con la invención de la máquina y sustituyendo así la fuerza muscular (Matt et al., 2020). I4.0, el concepto se superpone en gran medida a desarrollos que, en otros países europeos, pueden etiquetarse de diversas formas: fábricas inteligentes, Internet industrial de las cosas, industria inteligente o fabricación avanzada (El Bilali y Allahyari, 2018).

La Industria 4.0 cubre tres aspectos fundamentales (Petrillo et al., 2018):

- 1.– Digitalización y mayor integración de cadenas de valor verticales y horizontales: desarrollo de productos personalizados, pedidos digitales de los clientes, transferencia automática de datos y sistemas integrados de atención al cliente;
- 2.-Digitalización de ofertas de productos y servicios: descripciones completas del producto y sus servicios relacionados a través de redes inteligentes; y,
- 3.- Introducción de modelos de negocio digitales innovadores: el alto nivel de interacción entre sistemas y oportunidades tecnológicas desarrolla soluciones digitales nuevas e integradas.

La base del Internet Industrial es la disponibilidad y el control integrados y en tiempo real de los sistemas en toda la empresa. Según Fonseca (2018), la I4.0 se caracteriza por la digitalización avanzada y la integración de los procesos industriales, de logística, y el uso de Internet y objetos “inteligentes” (máquinas y productos).

La I4.0 se refiere a la estricta integración del ser humano en el proceso de fabricación para tener una mejora continua y enfocarse en actividades de valor agregado y evitar desperdicios (Vaidya et al., 2018). Finalmente, Koleva (2018), menciona que la I4.0 combina el mundo real de la producción con el mundo digital de la informática, creando un “ecosistema” en el que tanto el hombre como la máquina trabajan juntos para lograr una optimización completa.

Metodología

La metodología que fue empleada en este trabajo de investigación implicó una revisión literaria de aplicaciones de la I4.0 en la Agricultura de Precisión. El enfoque metodológico es cualitativo sistemática descriptiva no experimental, con un diseño documental, la revisión bibliográfica se centró en información relevante, de los últimos 5 años (2016-2021). La revisión consideró bases de datos como Scopus, Google Scholar, entre otros sitios que almacenan contenido científico.

Resultados y discusión

La producción agrícola, ha adoptado a la Agricultura de Precisión como una serie de acciones que permiten el alcance de un alimento de calidad de la manera más eficiente posible al cuidar el crecimiento del cultivo e incorporar los requerimientos en los tiempos y cantidades necesarias, según las necesidades de los parámetros agrícolas —e.g., recurso hídrico, fertilizantes, abono—.

En tal sentido, Saddik et al. (2021), presentan una implementación integrada en tiempo real de un algoritmo dedicado al monitoreo de campos agrícolas basado en un enfoque de co-diseño de hardware/software. Además, en Lin et al.(2020), se presenta un sistema de riego y fertilización basado en IoT en el que se considera la planificación tanto a largo como a corto plazo mediante un Algoritmo Genético desarrollado a partir de un modelo de programación lineal. Aunado a esto, Sirisha y Sahitya (2020), los datos en tiempo real de los sensores físicos, así como el pronóstico del tiempo meteorológico con un retraso de 3 a 4 horas, se recopilan y transmiten a la estación base con la ayuda de IoT; entonces, el campo se monitorea continuamente con la ayuda de sensores en tiempo real y la cantidad deseada de agua se libera en el campo solo cuando cruza un cierto umbral.

Así mismo, un sistema de apoyo a la toma de decisiones para los técnicos agrícolas en la región de Emilia-Romagna se presenta, este permite analizar datos relacionados con el uso de los recursos hídricos-químicos, proyecto: Mo.Re.Farming (Gallinucci et al., 2020). Además, Srivastava et al. (2019), combinan técnicas de Índices de Vegetación Espectral para producir

una solución integral para la agricultura de precisión utilizando un UAV y VegNet. También, en (Kong et al., 2019), se desarrolló un marco de optimización receptiva que combina programación lineal de enteros mixtos y algoritmos de búsqueda metaheurísticos híbridos.

Así mismo, Roy y De (2020), presentan un sistema basado en sensores, el cual, se activará para verificar si el sistema basado en Genetic Algorithms completa su predicción correctamente o no al detectar el nivel de humedad del suelo; si el nivel de humedad del suelo cruza el valor umbral predefinido, el riego de las plantas se realiza mediante un UAV. Además, en (Mohapatra y Lenka, 2016), se propone un sistema híbrido basado en una Red Neuronal Artificial que se utiliza para resolver un solo problema que es la generación de las mejores sugerencias de riego para los agricultores. Finalmente, Saedi y Khosravi (2020), presentan un enfoque para el reconocimiento remoto y clasificación de diferentes variedades de frutas en un huerto independientemente, de los factores ambientales, e.g., luz variable, y oclusiones con otras partes de la planta.

La Tabla 1, presenta una síntesis de la información recabada, relacionando la fuente con los hallazgos de las aplicaciones de la I4.0 enfocada a la Agricultura de Precisión.

Tabla 1. Aplicaciones de la I4.0 reportados a la Agricultura de Precisión

Autor (año)	Herramienta I4.0	Uso(s)	País	Síntesis
(Saddik et al., 2021)	Inteligencia Artificial	Monitoreo	Marruecos	Algoritmo de procesamiento en tiempo real y su implementación integrada para monitorear parámetros vitales como NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada) y NDWI (Índice de Agua de Diferencia Normalizada) utilizando imágenes multispectrales de campos agrícolas basados en robots y UAV (Vehículo Aéreo no Tripulado).
(Lin et al., 2020)	Internet de las Cosas, Inteligencia Artificial	Monitoreo y Control	China	Asignación de agua y fertilizantes derivados de la agricultura de precisión habilitada por IoT para lograr una gestión sostenible del riego y la fertilización.

<u>Autor</u> <u>(año)</u>	Herramienta I4.0	Uso(s)	País	Síntesis
(Sirisha y Sahitya, 2020)	IoT, Robótica Avanzado	Monitoreo y Control	India	Se reduce la cantidad de consumo de agua y aumenta la productividad en el campo, mediante un sistema basado en un microcontrolador Wi-Fi de baja potencia para aplicaciones de IoT interconectado con una bomba de motor, que permite realizar el proceso de riego.
(Gallinucci et al., 2020)	Big Data y Analíticas	Monitoreo	Italia	Desarrollo de la arquitectura, denominada Mo.Re.Farming, para manejar datos agrícolas de manera integrada y respaldar la toma de decisiones en el ámbito de la agricultura de precisión; esta orientada al análisis de datos y está inspirada en enfoques de <i>Business Intelligence 2.0</i> .
(Srivastava et al., 2019)	Internet de las Cosas	Monitoreo	India	La aplicación VegNet (Vegetative-Network), proporciona las herramientas necesarias para detectar ubicaciones de cultivos estresados utilizando las imágenes espectrales obtenidas de UAV, y proporcionar condiciones de cultivos estresados, ubicación y área.
(Kong et al., 2019)	Inteligencia Artificial	Control	Sudáfrica	Algoritmo de búsqueda híbrido Genético-Tabú para llevar datos e información en tiempo real al soporte de decisiones de precisión y optimizar la operación agrícola a corto plazo en el cultivo de precisión de caña de azúcar.
(Roy y De, 2020)	Internet de las Cosas, Inteligencia Artificial	Monitoreo y Control	India	Se propone un método de toma de decisiones para predecir la lluvia utilizando un Algoritmo Genético y así identificar la necesidad de suministro manual de agua.

Autor (año)	Herramienta I4.0	Uso(s)	País	Síntesis
(Mohapatra y Lenka, 2016)	Inteligencia Artificial	Control	India	Se presentan dos estrategias de optimización, (a) algoritmos de red neuronal basados en gradiente conjugado escalado y (b) BFGS (<i>Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno</i>) Quasi-Newton utilizados para predecir los requisitos de la cantidad de humedad del suelo según el horario.
(Saedi y Khosravi, 2020)	Inteligencia Artificial	Monitoreo	Irán	Se desarrolló y optimizó una Red Neural Convolucional (CNN) para el reconocimiento de frutas basado en imágenes RGB.

Fuente: elaboración propia (2021).

A partir de lo anterior, es posible notar que en la literatura se reporta de forma vasta y suficiente el uso de herramientas de la I4.0 en la agricultura como aportes en el logro de la Agricultura de Precisión. Por lo que, esta tecnología, con las políticas adecuadas y con un proceso de escalabilidad eficiente, es posible adaptarlas a los productores de baja escala, de manera tal que se optimicen los requerimientos agrícolas del cultivo y así obtener un producto agrícola de calidad, maximizando el uso de los recursos agrícolas en el rendimiento del cultivo. Aunado a este aporte, se abona a garantizar la seguridad alimentaria del sector productor y consumidor, que está sufriendo los estragos por el COVID-19.

Discusión

La revisión documental permite sentar las bases para futuras investigaciones que permitan establecer políticas y desarrollos tecnológicos basados en la Industria 4.0, ya sea para el (a) diseño, desarrollo e implementación de sistemas de monitoreo y/o control de la producción agrícola; y/o, (b) sistemas que permitan la transición y adaptabilidad, de sistemas que se han demostrado permiten mejorar la calidad del fruto, así como su rendimiento.

Del estudio, se desprende que los sistemas de monitoreo y control del cultivo de alimentos

con un enfoque de Agricultura de Precisión, basado en herramientas de la Industria 4.0 son capaces de efficientizar la producción agrícola proveyendo un producto de calidad —al establecer las necesidades de requerimientos agrícolas en tiempo y forma— con el menor impacto al medio ambiente —al incorporar al cultivo los requerimientos agrícolas, e.g., agua, fertilizante, en los tiempos y cantidades necesarias— y que, de una u otra manera mejoran la economía de los pequeños agricultores de baja escala —al incrementar el rendimiento del producto agrícola con los menores costos en insumos—; garantizando con ello la seguridad alimentaria con productos de calidad, al mismo tiempo en que se genera liquidez para los agricultores.

Conclusiones

El enfoque metodológico empleado en el presente trabajo de investigación permitió analizar e identificar las principales aplicaciones de la I4.0 que son empleados para el monitoreo y/o control del cultivo agrícola, permitiendo con ello lograr el máximo rendimiento del cultivo en tiempo y forma con la asignación óptima de recursos, y así obtener un producto agrícola de calidad y con el máximo desarrollo de nutrientes, esto es, Agricultura de Precisión. Las tecnologías de la Industria 4.0, entonces, bien pueden ser consideradas como un enfoque de apoyo de toma de decisiones agrícolas de productores de baja escala, al permitir, conocer el estado de los macronutrientes y micronutrientes del suelo, humedad, entre otras variables agrícolas y climáticas. El conocer el estado de las variables de interés, apoya al agricultor a decidir entre diversas estrategias que le permitan alcanzar la calidad deseada del fruto.

La revisión literaria desarrollada en el presente estudio sienta las bases para un desarrollo y/o transición de tecnología basada en I4.0 a los productores de baja escala, que permita un impacto socioeconómico positivo en dicho sector, al mejorarse el rendimiento de los cultivos teniéndose así una transformación social, construyéndose con ello economías y sociedades más equitativas, inclusivas en tiempos de Post COVID-19.

Referencias

Cacères, D. (2003). Agricultura Orgánica versus Agricultura Industrial. Su relación con la diversificación productiva y la seguridad alimentaria. *Agroalimentaria*, 16, 29–39.

- El Bilali, H. y Allahyari, M. S. (2018). Transition towards sustainability in agriculture and food systems: Role of information and communication technologies. In *Information Processing in Agriculture* (Vol. 5, Issue 4, pp. 456–464). China Agricultural University. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2018.06.006>.
- FAO. (2003). *¿Es la Certificación Algo para Mí? Una Guía Práctica sobre por qué, cómo y con Quién Certificar Productos Agrícolas para la Exportación*. En M. Andersen & C. Pazderka, Eds.). Series de Publicaciones RUTA.
- FAO. (2011). *Seguridad Alimentaria y Nutricional: Conceptos Básicos*. 3ra. Edición. Componente de Coordinación Regional, Programa Especial para la Seguridad Alimentaria (PESA). En Centroamérica, Proyecto Food Facility Honduras. <http://www.fao.org/3/aT772s/aT772s.pdf>.
- FAO. (2014). *Identifying the “family farm” An informal discussion of the concepts and definitions*. www.fao.org/economic/esa.
- FAO. (2020). *AGRICULTURE 4.0 Start Agricultural robotics and automated equipment for sustainable crop production*. En S. Santos & J. Kienzle, Eds.; Vol. 24. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO y CEPAL. (2020). Sistemas alimentarios y COVID-19 en América Latina y el Caribe: Impactos y oportunidades en la producción de alimentos frescos. Boletín N.º11. Santiago, FAO. <https://doi.org/10.4060/cb0501es>.
- FAO y IFAD. (2019). *The future of family farming in the context of the 2030 Agenda*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) & International Fund for Agricultural Development (IFAD). <http://www.wipo.int/amc/en/mediation/rules>.
- Fonseca, L. M. (2018). *Industry 4.0 and the digital society: concepts, dimensions and envisioned benefits*. *Proceedings of the International Conference on Business Excellence*, 12(1), 386–397. <https://doi.org/10.2478/picbe-2018-0034>.

- Gallinucci, E., Golfarelli, M. y Rizzi, S. (2020). Mo.Re.Farming: A hybrid architecture for tactical and strategic precision agriculture. *Data and Knowledge Engineering*, 129, 101836. <https://doi.org/10.1016/j.datak.2020.101836>.
- Gebbers, R., y Adamchuk, V. I. (2010). Precision Agriculture and Food Security. *Science*, 327 (5967), 828–831. <https://doi.org/10.1126/science.1182768>.
- Koleva, N. (2018). Industry 4.0's opportunities and challenges for production engineering and managemnet. *International Scientific Journal Innovations*, 6(1), 17–18. http://www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach.
- Kong, Q., Kuriyan, K., Shah, N. y Guo, M. (2019). Development of a responsive optimization framework for decision-making in precision agriculture. *Computers and Chemical Engineering*, 131, 106585. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2019.106585>.
- León García, O. A. (2019). *Tecnologías de la Industria 4.0 en la innovación de la cadena de valor de las PYMES*. In M. A. Yandar Lobón & J. M. Moreno Ospina (Eds.), *La industria 4.0 desde la perspectiva organizacional* (pp. 1–140). Fondo Editorial Universitario Servando Garcés de la Universidad Politécnica Territorial de Falcón Alonso Gamero (UPTAG).
- Lin, N., Wang, X., Zhang, Y., Hu, X. y Ruan, J. (2020). Fertigation management for sustainable precision agriculture based on Internet of Things. *Journal of Cleaner Production*, 277, 124119. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124119>.
- Maliszewska, M., Mattoo, A. y Van der Mensbrugghe, D. (2020). *The Potential Impact of COVID-19 on GDP and Trade A Preliminary Assessment*. <http://www.worldbank.org/prwp>.
- Marcela, J., Ospina, M., Andrés, F. y Quintero, V. (2019). *Las organizaciones y el impacto de las tecnologías emergentes*. In M. A. Yandar Lobón & J. M. Moreno Ospina (Eds.), *La industria 4.0 desde la perspectiva organizacional* (pp. 1–140). Fondo Editorial Universitario Servando Garcés de la Universidad Politécnica Territorial de Falcón Alonso Gamero (UPTAG).

- Matt, D. T., Modrák, V. y Zsifkovits, H. (2020). Industry 4.0 for smes: Challenges, opportunities and requirements. In *Industry 4.0 for SMEs: Challenges, Opportunities and Requirements*. Palgrave Macmillan. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-25425-4>.
- Mohapatra, A. G. y Lenka, S. K. (2016). Neural Network Pattern Classification and Weather Dependent Fuzzy Logic Model for Irrigation Control in WSN Based Precision Agriculture. *Physics Procedia*, 78, 499–506. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.02.094>.
- OECD y FAO. (2020). *OECD-FAO Agricultural Outlook 2020-2029*. OECD. <https://doi.org/10.1787/1112c23b-en>.
- Petrillo, A., Felice, F. de, Cioffi, R., & Zomparelli, F. (2018). Fourth Industrial Revolution: Current Practices, Challenges, and Opportunities. In Digital Transformation in Smart Manufacturing (pp. 1–20). *InTech*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.72304>.
- PROCISUR. (2006). *Agricultura de precisión integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable* (R. Bongiovanni, E. C. Montovani, S. Best, & A. Roel, Eds.). Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico Agroalimentario y Agroindustrial del Cono Sur & Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- Roy, S. K. y De, D. (2020). Genetic Algorithm based Internet of Precision Agricultural Things (IopaT) for Agriculture 4.0. *Internet of Things*, 100201. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2020.100201>.
- Saddik, A., Latif, R., Elhoseny, M. y El Ouardi, A. (2021). Real-time Evaluation of Different Indexes in Precision Agriculture Using a Heterogeneous Embedded System. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 100506. <https://doi.org/10.1016/j.suscom.2020.100506>.
- Saedi, S. I. y Khosravi, H. (2020). A deep neural network approach towards real-time on-branch fruit recognition for precision horticulture. *Expert Systems with Applications*, 159, 113594. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113594>.

- SADER. (2020, August 20). *Productores de pequeña escala son los que nos dan de comer. “Arriba Los de Abajo y Abajo Los Privilegios” Presidente de México*. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/productores-de-pequena-escala-son-los-que-nos-dan-de-comer?idiom=es>.
- Sirisha, V. V. S. S. y Sahitya, G. (2020). A scrutiny of advanced technologies over precision agriculture. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.492>.
- Srivastava, K., Bhutoria, A. J., Sharma, J. K., Sinha, A. y Pandey, P. C. (2019). UAVs technology for the development of GUI based application for precision agriculture and environmental research. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 16, 100258. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2019.100258>.
- United Nations. (2020a). *Shared responsibility, global solidarity: Responding to the socio-economic impacts of COVID-19*. <https://www.imf.org/en/News/Articles/2020/03/27/sp032720-opening-remarks-at-press-briefing-following-imfc-conference-call>.
- United Nations. (2020b). *A UN framework for the immediate socio-economic response to COVID-19*. <https://unsdg.un.org/sites/default/files/2020-04/UN-framework-for-the-immediate-socio-economic-response-to-COVID-19.pdf>.
- Vaidya, S., Ambad, P. y Bhosle, S. (2018). Industry 4.0 - A Glimpse. *Procedia Manufacturing*, 20, 233–238. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.034>.
- Wadsworth, J. (1997). *Análisis de sistemas de producción animal Tomo 1: Las bases conceptuales*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma. <http://www.fao.org/3/W7451S/W7451S00.htm#TOC>.
- WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard | WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard With Vaccination Data. (n.d.). Retrieved May 24, 2021, from <https://covid19.who.int/>.
- World Bank Group. (2020a). *Protecting people and economies: integrated policy responses to*

COVID-19. International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/33770/Protecting-People-and-Economies-Integrated-Policy-Responses-to-COVID-19.pdf?sequence=7&isAllowed=y>.

World Bank Group. (2020b). *The Economic and Social Impact of COVID-19*. Western balkans regular economic, Report No.17. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/590751590682058272/pdf/The-Economic-and-Social-Impact-of-COVID-19-Education.pdf>.

World Bank Group. (2020c). *A World Bank Group Flagship Report Global Economic Prospects*. International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank. Washington, DC: World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/33748>.