



NUEVAS REALIDADES PARA LA EDUCACIÓN EN INGENIERÍA:
CURRÍCULO, TECNOLOGÍA, MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO

13 - 16
DE SEPTIEMBRE

2022

CARTAGENA DE INDIAS,
COLOMBIA



Fortalecimiento del proceso de la siembra y cuidado de la planta del aguacate hass en los invernaderos a través de la implementación de un dispositivo inteligente basado en las tecnologías internet de las cosas – IoT, cloud computing y machine learning

Fabián Castillo Peña, María Camila Giraldo Rodríguez

**Universidad Libre
Santiago de Cali, Colombia**

Resumen

La Industria 4.0 representa un cambio fundamental en la transformación de las empresas que buscan mejores resultados en sus operaciones, permite fortalecer los sectores de la economía, basado en los principios de la innovación, brindando avances y oportunidades a la sociedad, esto, a través de tecnologías como Internet de las Cosas - IoT, Cloud Computing, Machine Learning, Robots Autónomos, entre otras, sin embargo, hay poca adopción del uso de estas tecnologías en el sector agroindustrial, lo que no posibilita el desarrollo de procesos de alta calidad en la siembra y el cuidado de la planta del aguacate Hass, siendo la temperatura, la radiación solar, la humedad relativa, y la humedad y pH del suelo, variables que la determinan, tal producto hace parte del subsector hortofrutícola, el cual es uno de los más grandes en el departamento del Valle del Cauca, dado a la gran producción de frutas y verduras.

En tal sentido, se plantea la construcción de un dispositivo inteligente basado en la tecnología de Internet de las Cosas – IoT, que facilite la captación de datos de las variables anteriormente mencionadas, por medio de una placa NodeMCU y los sensores correspondientes; datos, que van a ser almacenados aprovechando las ventajas del Cloud Computing, y que luego podrán ser procesados a través de algoritmos de Machine Learning, para así obtener información que aporte a la toma de decisiones en cuanto a la siembra y el cuidado de las plantas de aguacate Hass en los invernaderos.

Palabras clave: aguacate hass; siembra y cuidado; invernadero; dispositivo inteligente; internet de las cosas – IoT; cloud computing; machine learning

Abstract

Industry 4.0 represents a fundamental change in the transformation of companies seeking better results in their operations, it allows strengthening the sectors of the economy, based on the principles of innovation, providing advances and opportunities to society, this, through technologies such as Internet of Things - IoT, Cloud Computing, Machine Learning, Autonomous Robots, among others, however, there is little adoption of the use of these technologies in the agribusiness sector, This does not allow the development of high quality processes in the planting and care of the Hass avocado plant, being the temperature, solar radiation, relative humidity, and soil moisture and pH, variables that determine it, such product is part of the fruit and vegetable subsector, which is one of the largest in the department of Valle del Cauca, given the large production of fruits and vegetables.

In this sense, the construction of an intelligent device based on the Internet of Things - IoT technology is proposed, which facilitates the collection of data of the variables mentioned above, through a NodeMCU board and the corresponding sensors; data, which will be stored taking advantage of Cloud Computing, and then can be processed through Machine Learning algorithms, in order to obtain information that contributes to decision-making regarding the planting and care of Hass avocado plants in greenhouses.

Keywords: hass avocado; planting and care; greenhouse; smart device; internet of things – IoT; cloud computing; machine learning

1. Introducción

El presente proyecto involucra la Industria 4.0 y sus tecnologías asociadas, entre ellas el Internet de las Cosas - IoT, el Cloud Computing y el Machine Learning; con las cuales se desarrolla, otra área de estudio es el sector agroindustrial, el cual es de los más grandes en el departamento del Valle del Cauca, dado a su gran producción de frutas y verduras, representados en el subsector hortofrutícola, siendo el aguacate Hass, uno de los productos más significativos, el cual cuenta con un proceso productivo que incluye la preparación de la tierra, la selección de la semilla, la siembra, el cuidado, la cosecha, la selección, el empaque, el almacenamiento y su distribución, sin embargo, se hace énfasis en la siembra y el cuidado de la planta, donde se identifican varios factores que influyen en el mismo, siendo la temperatura, la radiación solar, la humedad relativa, y la humedad y pH del suelo; variables agroclimáticas que determinan su calidad.

Es por ello, que se ha llevado a cabo un estudio teórico, técnico y tecnológico, con el fin de reconocer el papel fundamental de la Industria 4.0 en la transformación digital en la agricultura, así mismo, para la construcción del dispositivo inteligente se han elegido los sensores que permiten la captación de los datos de las variables de estudio, que posteriormente se almacenan en una



plataforma de Cloud Computing como lo es ThingSpeak, por otro lado y de acuerdo con resultado del análisis de las placas Arduino, Raspberry Pi y NodeMCU, se seleccionó la más apropiada, por su parte, para el procesamiento en cuanto a la posibilidad de predecir el comportamiento de las variables y el despliegue de la información, se hace uso de algoritmos de Machine Learning, obteniendo información que aporta en la toma de decisiones del horticultor, esto en relación con la siembra y el cuidado de las plantas de aguacate Hass en los invernaderos.

2. Referente Teórico

“La cuarta revolución industrial representa un cambio fundamental en la forma en que vivimos, trabajamos y nos relacionamos con los demás. Es un nuevo capítulo en el desarrollo humano, el cual está habilitado por los avances tecnológicos proporcionales a los de la primera, segunda y tercera revolución industrial, y que está fusionando los mundos físico, digital y biológico en formas que crean tanto promesas como riesgos. La velocidad, amplitud y profundidad de esta revolución nos está obligando a replantearnos la forma en que los países deben desarrollarse, cómo las organizaciones crean valor e incluso lo que significa ser un humano; además, es una oportunidad para ayudar a todos, incluidos los líderes, los encargados de la formulación de políticas y las personas de todos los grupos de ingresos y países a aprovechar las tecnologías a fin de crear un futuro inclusivo y centrado en el ser humano.” (Foro Económico Mundial, 2022).

Como lo expresa Jordi Salazar y Santiago Silvestre en su publicación “IoT puede verse como una verdadera evolución de lo que conocemos como Internet añadiendo una interconectividad más extensa, una mejor percepción de la información y servicios inteligentes más completos” (Salazar & Silvestre, 2017). Donde se evidencia que el IoT, es quien conecta el mundo físico con el digital por medio del internet.

“La computación en nube es considerada por muchos como la próxima ola de la tecnología de la información para individuos, empresas y gobiernos. En la primavera de 2010, el Foro Económico Mundial publicó un informe en el que evaluaba el impacto de las tecnologías de computación en nube y destacaba los grandes beneficios potenciales de su adopción, que van desde el crecimiento económico y las mejoras potencialmente considerables en el empleo hasta la habilitación de la innovación y la colaboración.” (Foro Económico Mundial: Accenture, 2011)

“El aprendizaje automático implica la creación de algoritmos que puedan reconocer los patrones en los grandes y desarrollados conjuntos de datos, y obtener conclusiones a partir de la experiencia pasada utilizando esos datos, para hacer que las máquinas sean más inteligentes.” (Foro Económico Mundial: McGill University, 2022)

“Un dispositivo inteligente es un dispositivo electrónico, generalmente conectado a otros dispositivos o redes a través de diferentes protocolos inalámbricos como Bluetooth, NFC, Wifi”, entre otras que permiten que el dispositivo sea interactivo y se maneje de forma autónoma. “El término también puede referirse a un dispositivo que exhibe algunas propiedades de la computación ubicua, incluyendo, aunque no necesariamente, inteligencia artificial.” (IoT Products ODM & OEM Manufacturer, 2021)



Sobre el aguacate Hass “Esta variedad fue patentada en 1935 por Rudolph Hass, en Habra Heights (California)”. (Newett et al., 2013) que tiene por nombre de especie “Persea Americana Mill”, por otro lado, “La variedad Hass cuenta con un 10 a 15% de la raza mexicana y el resto, 85 a 90%, de la guatemalteca. El Hass es autofértil, pero se recomienda como polinizador a Fuerte o Ettinger. El árbol se asemeja en su arquitectura a la del naranjo, pero de mayor tamaño; posee un hábito de crecimiento erecto, con copa redondeada y grupo floral A. Los frutos son de tamaño mediano, con un peso que va de 150 a 400 g de forma ovoide a piriforme, la cáscara es mediana a gruesa, coriácea, rugosa, de textura rugosa y corchosa, de superficie áspera y granulosa” (Newett et al., 2013)

En el proceso de la siembra y el cuidado, se requiere de unos rangos óptimos, “La temperatura para el desarrollo normal del cultivo oscila entre los 17 a 24 °C, donde a una temperatura de 20°C la planta alcanza su óptimo desarrollo.” (Intagri, 2019); en cuanto a la radiación solar, “El sol emite longitudes de onda entre los 280 y los 2800 nm (97 % de la distribución total del espectro). Se dividen en tres regiones: Ultravioleta (100 a 380 nm), luz visible (380 a 780 nm) e infrarroja (700 a 3000 nm).” (Chen, 2021); la humedad relativa, “óptima del aguacate es del 60 al 70%, aunque cultivares como el Hass toleran hasta el 80%.” (Baíza, 2003); la humedad del suelo es la que ocasiona que cuando hay exceso, hace que falte el oxígeno en la tierra, “La humedad relativa óptima para el cultivo del aguacate oscila entre el 75 y 80%” (Landa, 2017) y finalmente, el pH del suelo, en “el aguacate toma de forma óptima los nutrientes entre los valores de 5.5 a 7.0” (Intagri, 2019).

“Un invernadero es un recinto delimitado por una estructura de madera o de metal, recubierta por vidrio o cualquier material plástico de naturaleza transparente, en cuyo interior suelen cultivarse hortalizas y plantas ornamentales en épocas durante las cuales las condiciones climáticas de la geografía del recinto no serían suficientes al aire libre para conseguir un desarrollo y/o una floración y fructificación adecuados.” (Maroto, 2008).

3. Resultados

Se realizó el estudio teórico, técnico y tecnológico referente a la construcción del dispositivo inteligente, así mismo, el tratamiento, análisis de los datos y la visualización de la información, esto a través de las diferentes tecnologías asociadas a Industria 4.0, como Internet de las Cosas – IoT, Cloud Computing y Machine Learning.

Es así, como desde lo teórico se evidencia que el Internet de las Cosas - IoT, juega un papel fundamental en la transformación digital en la agricultura, gracias a la semi automatización soportada en el dispositivo inteligente, construido para la captación de datos de variables como la temperatura, la radiación solar, la humedad relativa, la humedad y ph del suelo, que permitirá a los horticultores hacerles seguimiento, y así dedicar más tiempo a su cuidado, conociendo cómo está el cultivo en tiempo real, dando como resultado la optimización de recursos como el agua de riego o los fertilizantes, lo que se traduce en una importante reducción de costos, mayor productividad y una mejora en la calidad de la planta.



Desde lo técnico, y en cuanto a la comunicación, se seleccionaron los sensores que permiten la captación de los datos, de acuerdo con las variables a medir, teniendo en cuenta factores clave, como el rango en sus límites inferior y superior, la precisión y las condiciones de funcionamiento, dado que estos deben estar en entornos exteriores que pueden tornarse difíciles y, además, funcionar de forma óptima y continua las 24 horas del día.

Para la temperatura y la humedad relativa, se seleccionó el módulo DHT11, el cual es un sensor que utiliza un termistor para medir la temperatura del aire exterior o circundante y un capacitivo de humedad, se caracteriza por tener la señal digital calibrada que asegura una alta calidad, fiabilidad y estabilidad a largo plazo, puede medir la temperatura entre 0°C y 50°C con una precisión a 25°C de $\pm 2^\circ\text{C}$, y la humedad en un rango entre el 20% y el 95% con una precisión entre 0°C y 50°C de $\pm 5\% \text{ RH}$, aproximadamente, sus dimensiones son 16mm x 12mm x 5 mm, y su peso es de 1g, presenta bajo consumo de energía de 2,5 mA, con un voltaje de operación entre 3V a 5V DC, un tiempo de respuesta de 1 segundo, y la capacidad de transmitir la señal hasta 20 metros de distancia.

Con respecto a la radiación solar, el módulo seleccionado es el GY-ML8511, el cual es un sensor de luz ultravioleta (UV) que permite detectar el índice UV en lo que respecta a las condiciones climáticas, equipado con un amplificador interno, que convierte la fotocorriente en voltaje según la intensidad de los rayos UV, con una señal analógica medida como (mW / cm²), que abarca el espectro UV-A que es la luz de bronceo y UV-B que es la luz ultravioleta dañina, dispone de un rango de operación de longitud de onda de sensibilidad UV-A (320 - 400 nm), UV-B (280 - 320 nm), con una precisión de longitud de onda pico de 365nm, sus dimensiones son 13.5mm x 12mm, y su peso es de 2g, presenta baja corriente de suministro (300A típ.) y baja corriente de espera (0,1A típ.), con un voltaje de operación entre 3.3V a 5V DC, su temperatura de funcionamiento se encuentra entre -20°C y 70°C.

En cuanto a la humedad del suelo, el módulo seleccionado es el YL-69, el cual es un sensor que puede medir la cantidad de humedad presente en el suelo que lo rodea empleando dos electrodos que pasan corriente y que depende de la resistencia que se genera, está equipado con un amplificador LM393, dispone de una señal analógica que entrega una tensión proporcional a la humedad, dispone de un rango de medición para suelo muy mojado 0 a 300, húmedo de 300 a 700 y seco entre 700 y 1023, con una precisión $\leq \pm 2\%$, las dimensiones del circuito YL-38 son de 30 mm x 16 mm y la sonda YL-69 de 60 mm x 30 mm, y su peso es de 7g, la corriente de operación es de 35 mA, con un voltaje de operación entre 3.3V a 5V DC.

Y con respecto al pH del suelo, el módulo seleccionado es el PH-4502C con electrodo E201, el cual es un sensor que permite medir el pH del suelo con ayuda de una sonda que toma la lectura, su placa controladora ofrece un valor analógico proporcional a la medición en un rango de 0 pH a 14 pH, con una precisión de $\pm 0.1 \text{ pH}$ a 25°C y un error de álcali de 0.2 pH, sus dimensiones son 42 mm x 32 mm x 20 mm, y su peso es de 25g, su consumo está entre 5 mA a 10 mA, con un voltaje de operación de 5V DC, la temperatura de funcionamiento para el circuito se encuentra entre -10°C y 50°C y en el caso de la sonda entre 0°C y 60°C.

Otro de los resultados, es el procesamiento de los datos obtenidos a través de los sensores, mediante el dispositivo inteligente basado en Internet de las Cosas - IoT, para ello se seleccionó

ThingSpeak, la cual es una plataforma de Cloud Computing, de código abierto, que hace uso de una API para almacenar, recuperar, procesar, analizar y visualizar los datos en tiempo real en la nube, está basada en Ruby on Rails 3.0 (RoR), su arquitectura se soporta en el Modelo Vista Controlador (MVC), además es posible el uso de meta programación, haciendo que su sintaxis sea más legible, escribiendo menos código, dispone de la tecnología necesaria para el monitoreo de dispositivos basados en Internet de las Cosas - IoT.

Desde lo tecnológico, se hace referencia al resultado del análisis de las placas Arduino, Raspberry Pi y NodeMCU, las cuales se consideran el componente más importante en el ecosistema de Internet de las Cosas - IoT, es así cómo se seleccionó el módulo NodeMCU que se basa principalmente en el microchip ESP8266 con conexión a wifi, que integra un kit de desarrollo y un firmware de código abierto, permite conectarse a Internet para transmitir los datos captados por los sensores interconectados, y que van a ser tratados posteriormente en el análisis del comportamiento de las variables definidas en el proyecto, una de sus ventajas es la compatibilidad con Arduino, tanto en el software de configuración, como con el uso de sensores o actuadores, que facilita la convergencia con varios tipos de dispositivos.

Por otro lado, se programaron rutinas de Machine Learning, a través del preprocesamiento y análisis de los datos, separación de los datos de entrenamiento, pruebas, validación y evaluación del modelo, esto para la predicción del comportamiento de las variables, con el fin de realizar el despliegue de la información resultado del tratamiento de los datos, teniendo como propósito facilitar la toma de decisiones, que permitan el seguimiento, control y cuidado para una mejora en la calidad de la planta.

4. Conclusiones

- El Internet de las Cosas - IoT, se ha posicionado como una de las tecnologías con mayor proyección para atender las necesidades del sector agrícola, en el marco de la industria 4.0, permitiendo avanzar en el desarrollo de lo que actualmente es denominado agricultura de precisión.
- La construcción y uso del dispositivo inteligente, posibilita, por medio de los sensores seleccionados, conocer con detalle la condición en tiempo real de las variables como la temperatura, la radiación solar, la humedad relativa, la humedad y pH del suelo, en un determinado cultivo, permitiendo luego el tratamiento de los datos obtenidos.
- La posibilidad de que los horticultores sin necesidad de conocimientos especializados en tecnología tengan acceso a los datos almacenados en una plataforma de Cloud Computing como ThingSpeak, y a la información que se obtiene a través de su análisis, lo que contribuye a la toma de decisiones en cuanto al cuidado del cultivo.
- La aplicación de algoritmos de Machine Learning para conocer el comportamiento de los datos a través del análisis de las variables definidas en el proyecto, facilitan el seguimiento, control y cuidado del cultivo por parte del horticultor.
- Con el despliegue de la información, el horticultor adquiere conocimiento del comportamiento de las variables definidas en el proyecto, permitiéndole optimizar los procesos en la



siembra y cuidado de la planta, así mismo, aprender fácilmente de la experiencia y aumentar sus beneficios sin incrementar los riesgos en grandes inversiones de tiempo o dinero.

5. Referencias

Artículos de revistas

- Foro Económico Mundial con asociación con Accenture. 2011. Advancing Cloud Computing: What to do now? Priorities for industry and governments. Committed to improving the state of the world. Coligny, Geneva. 24 p.
- Intagri. 2019. Requerimientos de Clima y Suelo en el Cultivo de Aguacate. Serie Frutales Núm. 56 Artículos técnicos de INTAGRI. México. 3 p.

Libros

- Baíza, V.H. (2003). Guía Técnica del Cultivo del Aguacate. En Programa Nacional de Frutas de El Salvador Frutal. Instituto Interamericano de Cooperativo para la Agricultura, y Ministerio de Agricultura y Ganadería. San Salvador, Salvador. pp. 68.
- Maroto, J.V. (2008). Elementos de horticultura general. Especialmente aplicada al cultivo de plantas de consistencia herbácea. 3 edición. Ediciones Mundi-Prensa. España, Madrid. pp. 343.
- Salazar, J., Silvestre. S. (2017). "Internet of things". European Virtual Learning Platform for Electrical and Information Engineering, 2017. ISBN 978-80-01-06232-6. pp. 34.
- Schaffer, B., Wolstenholme, B. N. & Whiley, A. W. (2013). Introduction. En B. A, Schaffer, Whiley, A. W., & Wolstenholme B. N. (Eds.), The avocado botany, and uses. Oxfordshire, Reino Unido: CAB International Publishing. pp. 560.

Fuentes electrónicas

- Chen, J. Pthorticulture. La influencia de la luz en el crecimiento del cultivo. Pro-Mix. Premier Horticulture Ltd. Consultado el 10 de febrero de 2022 en <https://www.pthorticulture.com/es/centro-deformacion/la-influencia-de-la-luz-en-el-crecimiento-del-cultivo/>
- Foro Económico Mundial. Inteligencia artificial y robótica: Aprendizaje de máquinas y sistemas predictivos. Desautels Faculty of Management McGill University. Consultado el 8 de febrero de 2022 en <https://intelligence.weforum.org/topics/a1Gb0000000pTDREA2/key-issues/a1Gb000000017L8jEAE>
- Foro Económico Mundial. Tema Global: La cuarta revolución industrial. World Economic Forum. Consultado el 3 de marzo de 2022 en <https://intelligence.weforum.org/topics/a1Gb00000001RihBEAW>
- IoT Products ODM & OEM Manufacturer. (2021) ¿Qué es un dispositivo inteligente? Consultado el 25 de febrero de 2022 en <https://www.mokosmart.com/es/what-is-a-smart-device/>
- Landa, C. (2017). Recomendaciones para cultivar Aguacate Hass – Diario La Tribuna. Consultado el 6 de enero de 2022 en <https://www.latribuna.hn/2017/12/16/recomendaciones-cultivaraguacate-hass/>



Sobre los autores

- **Fabián Castillo Peña:** Ingeniería de Sistemas, Semillero de Investigación en Automatización y Sistemas de Información, Grupo de Investigación SINERGIA UNO, Unidad Académica de Ingeniería. fabian.castillo@unilibre.edu.co
- **María Camila Giraldo Rodríguez:** Ingeniería Industrial, Semillero de Investigación en Automatización y Sistemas de Información, Grupo de Investigación SINERGIA UNO, Unidad Académica de Ingeniería. maria-giraldor@unilibre.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2022 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)

