

# Proposed Open Systems Model and Intelligent Agriculture in Coffee Farms within the Harvesting Process

Jose Luis Ordoñez-Avila, Magister en Administración de Proyectos<sup>12</sup>, and Martin G. Martínez-Rangel, Doctor en Ingeniería y Ciencias Aplicadas<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidad Nacional Autónoma de Honduras Tegucigalpa, Honduras,

<sup>2</sup> Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC) San Pedro Sula, Honduras, jlordonex@unitec.edu

<sup>3</sup> Universidad Autónoma del Estado de Morelos Morelos, México, mmtzr@uaem.mx

*Abstract– The countries that produce the most coffee worldwide have an economy based on agribusiness and it is noteworthy that some of them apply various methods based on Industry 4.0 in their processes. However, in coffee production these technologies have a very limited application. The use of open systems makes it possible to talk about intelligent agriculture, which implements various technologies to improve some processes. This research work identifies the different technologies of Industry 4.0 that could be used in agriculture by the leading countries in coffee production as proposed in this research work. The development of the theoretical and methodological framework allows identifying three general steps in the management of information in this area: generation, grouping and visualization. After the theoretical review, the main trends of these countries with signs of intelligent agriculture are presented as results, given that they apply Industry 4.0 technologies. To visualize the impact that these technologies can have on coffee farms, the open systems model of Katz & Kan is proposed. The application of this model will allow the integration of Industry 4.0 within coffee farms. Finally, it is concluded that the most used technology is the internet of things and sensors, which many of the authors used together, while robotics is the least implemented. By implementing these technologies, the authors showed benefits in crop monitoring, irrigation systems and management systems.*

*Keywords-- Coffee producing countries, Intelligent Agriculture, Industry 4.0*

Digital Object Identifier (DOI):  
<http://dx.doi.org/10.18687/LEIRD2022.1.1.77>  
ISBN: 978-628-95207-3-6 ISSN: 2414-6390

# Propuesta de Modelo de Sistemas Abiertos e Inteligentes Agricultura en Fincas Cafetaleras dentro de la Cosecha Proceso

Jose Luis Ordoñez-Avila, Magister en Administración de Proyectos<sup>12</sup>, and Martin G. Martínez-Rangel, Doctor en Ingeniería y Ciencias Aplicadas<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidad Nacional Autónoma de Honduras Tegucigalpa, Honduras,

<sup>2</sup> Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC) San Pedro Sula, Honduras, jlordonex@unitec.edu

<sup>3</sup> Universidad Autónoma del Estado de Morelos Morelos, México, mmtzr@uaem.mx

**Resumen—** Los países que más café producen a nivel mundial tienen una economía basada en la agroindustria y cabe destacar que algunos de ellos aplican diversos métodos basados en la Industria 4.0 en sus procesos. Sin embargo, en la producción de café estas tecnologías tienen una aplicación muy limitada. El uso de sistemas abiertos permite hablar de agricultura inteligente, que implementa diversas tecnologías para mejorar algunos procesos. Este trabajo de investigación identifica las diferentes tecnologías de la Industria 4.0 que podrían ser utilizadas en la agricultura por los países líderes en producción de café tal como se propone en este trabajo de investigación. El desarrollo del marco teórico y metodológico permite identificar tres pasos generales en el manejo de la información en este ámbito: generación, agrupación y visualización. Luego de la revisión teórica, se presentan como resultados las principales tendencias de estos países con signos de agricultura inteligente, dado que aplican tecnologías de Industria 4.0. Para visualizar el impacto que estas tecnologías pueden tener en las fincas cafetaleras, se propone el modelo de sistemas abiertos de Katz & Kan. La aplicación de este modelo permitirá la integración de la Industria 4.0 dentro de las fincas cafetaleras. Finalmente, se concluye que la tecnología más utilizada es el internet de las cosas y los sensores, que muchos de los autores utilizaron en conjunto, mientras que la robótica es la menos implementada. Al implementar estas tecnologías, los autores mostraron beneficios en el monitoreo de cultivos, sistemas de riego y sistemas de gestión.

**Palabras clave--** Países productores de café, Agricultura Inteligente, Industria 4.0, Katz Kahn.

## I. INTRODUCCIÓN

Para el 2020 la demanda mundial de café alcanzo más de 159 millones de sacos. Esta demanda es suplida por pocos países, donde Brasil lidero las exportaciones de café a nivel mundial con más de 50 millones de sacos; Vietnam, Colombia e Indonesia le siguen en producción de café a Brasil; mientras que Honduras y Etiopía están rotando el quinto y sexto lugar año con año con producciones de café que oscilan entre ocho y nueve millones de sacos [1].

Posteriormente Estos seis países tienen diferentes formas de cosechar el café, cada uno ha desarrollado métodos aplicando diferentes tecnologías que les ha permitido posicionarse como los grandes productores a nivel mundial. Por ejemplo, un caso de estudio desarrollado en Etiopía se mostró que los cambios en los métodos de producción aumentaron la productividad y calidad del café, no obstante,

algunas de las técnicas fueron apreciadas como no rentables por parte de los caficultores [2]. Para Eakin et al., (2009) el cambio climático es uno de los factores que afectan la producción del café, por lo que es necesario la creación de sistemas tele conectados que puedan reducir este factor [3]. Además, Minten et al., (2019) mostró un gran énfasis en el constante ataque de enfermedades, siendo enfermedades como la roya el factor determinante de producciones reducidas de café [2]. Las fincas que aplican diferentes métodos y tecnologías logran niveles más altos de producción que los productores de café convencionales [4].

La cuarta revolución industrial mejor conocida como industria 4.0 trae consigo la aplicación de tecnologías como el big data, inteligencia artificial, la robótica entre otros. Ramachandran et al., (2022) menciona que la agricultura inteligente es la inclusión de las tecnologías de la industria 4.0 en la agricultura, teniendo desarrollos como softwares para administración basados en sensores que actúan en tiempo real, riego inteligente y la agricultura de precisión [5]. Estas tecnologías aplicadas a la agricultura han traído nuevos conceptos y métodos para mejorar las cosechas. Haque et al., (2021) concluye mencionando que la agricultura inteligente basada en inteligencia artificial y el internet de las cosas tienen un impacto significativo en la agricultura sostenible y que el liderazgo responsable puede desempeñar un papel crucial en la oferta de beneficios mutuos para las partes interesadas [6].

Kittichotsawat et al., (2021) afirma que todas las redes de sensores inalámbricos de datos, computación en la nube, el internet de las cosas, procesamiento de imágenes, sensores remotos y tecnología de trazabilidad se utilizará en el suministro de café [7]. Esas grandes aplicaciones de datos se utilizaron para aumentar la producción y eficiencia en la gestión empresarial al servicio de las necesidades del cliente [4],[7]. Por lo que esta investigación tiene como objetivo identificar las diferentes tecnologías de la industria 4.0 que son utilizados en la agroindustria por los países líderes en producción de café.

## II. BASES TEÓRICAS

Actualmente El Hoy en día, las empresas enfrentan muchos desafíos que vienen desde diferentes áreas, desde la globalización, el desarrollo tecnológico y la rápida difusión de nuevas tecnologías hasta el desarrollo y explotación del

Digital Object Identifier (DOI):  
<http://dx.doi.org/10.18687/LEIRD2022.1.1.77>  
ISBN: 978-628-95207-3-6 ISSN: 2414-6390

conocimiento o las nuevas demandas de los clientes [8]. Uno de los nuevos desafíos de la industria moderna es la Industria 4.0 o también llamada fabrica inteligente, esta nueva revolución industrial, puede ser útil en varias industrias incluidas las de fabricación ecológica [9] y la logística [10]. Para Gažová et al., (2022) estos nuevos desafíos requieren que las organizaciones hagan las cosas de manera diferente, no solo para adaptarse sino también para encontrar nuevas fuentes de ventaja competitiva y participar en nuevas formas de competencia [9].

Para Mon & Del Giorgio, (2022), diferenciaron en 3 niveles de desarrollo tecnológico de acuerdo con los productos específicos que cada empresa ha implementado y extraído el subconjunto de productos que conforman la Industria 4.0 [11]. La tabla 1 muestra las tecnologías que son parte de la Industria 4.0 y conducen al nivel de desarrollo tecnológico más alto. De esta forma el nivel más alto, son las fábricas inteligentes que generan grandes cantidades de datos, se necesita personal que puedan interpretar estos datos para optimizar procesos y equipos, y mantener la fábrica en funcionamiento [10].

TABLA 1.

Conceptualización de las tecnologías aplicadas en la industria 4.0.

Tecnología	Concepto
Realidad Aumentada	Entorno tridimensional generado por computadoras que crean en el usuario la sensación de estar inmerso en él.
Robótica	Equipos que realizan alguna función de movimiento físico a través de la mecánica artificial. (Drones, vehículos móviles y articulados)
Big Data	Conjunto de técnicas tendientes a tomar decisiones en tiempo real que involucran un gran volumen de datos provenientes típicamente de diferentes fuentes.
Realidad Virtual	Es la visualización en tiempo real de elementos virtuales visuales y/o auditivos superpuestos a un entorno del mundo real.
Sensores	proporcionan señales con las que se realizan mediciones.
Impresión 3D	Conjunto de tecnologías de fabricación por adición, donde un el objeto dimensional se crea superponiendo capas sucesivas de material
Internet de las cosas	Infraestructura basada en comunicación celular.
Aprendizaje Automático	Se refiere a un método de análisis de datos que automatiza la construcción de modelos analíticos.
Ciber seguridad	Implementación de técnicas y aplicaciones para asegurar la integridad, privacidad, confidencialidad y disponibilidad de los activos pertenecientes a los sistemas de información de las organizaciones frente a amenazas internas y externas
Redes Neuronales	Uso de imágenes para la detección de parámetros específicos.

Fuente: adaptado de [6],[11].

Es Esta transformación tecnológica se está desarrollado en la agroindustria, una agroindustria inteligente [7]. Los datos se pueden utilizar para concluir casi todo, esto era un desafío, realizar un seguimiento y obtener información sobre los

modelos comerciales y los costos de producción sin digitalización generando una transformación tecnológica [10].

En la mayoría de los casos, los agricultores aplican el fertilizante inorgánico manualmente en base a su suposición, lo que conduce al uso desproporcionado de fertilizante en las plantas, no utilizan ningún sensor para medir el contenido de nutrientes del sistema suelo-planta antes de aplicar los fertilizantes [6].

Mon & Del Giorgio, (2022) definen el aprendizaje automático como una rama de la inteligencia artificial basada en la idea de que los sistemas pueden aprender de datos previos, y así identificar patrones y tomar decisiones con mínima intervención humana a partir de la programación de un algoritmo [11]. Por lo que una opción para reducir el uso de fertilizantes es el aprendizaje automático, este concepto se refiere a un método de análisis de datos que automatiza la construcción de modelos analíticos.

Para poder alimentar los modelos de aprendizaje automático es necesario el uso de sensores que tengan conectividad, a esto se le conoce como el internet de las cosas por sus siglas en inglés (IoT) [11]. Al no optimizar el uso de fertilizantes se conduce a el desequilibrio de nutriente lo que reduce la producción y afecta el cambio climático y la salud pública [6]. Por lo que la relevancia de la agricultura inteligente conducirá a un aumento en la eficiencia y eficacia de la cadena de suministro agrícola [7].

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se basa en una revisión de la literatura conocida como revisión sistemática. La revisión sistemática tiene un enfoque cuantitativo, obteniendo los datos en un proceso con tres pasos generales (ver figura 1). El primer paso es la generación de información en el cual se buscan artículos en tres editoriales (IEEE, ACM, API) relacionando con la variable de la investigación (Agroindustria Inteligente y los seis países con mayor producción de café) que se publicaron entre el 2017 y el 2022. Posteriormente se agrupan los artículos cuyos resúmenes contengan al menos dos de los criterios de aceptación y los que tienen todos los criterios. Los criterios son la mención de al menos una tecnología de la industria 4.0, la aplicabilidad y claridad en la conclusión. Seguido, los artículos se ingresarán a un formulario de Google tomando datos relaciones al país de la investigación, a los autores, las tecnologías aplicadas en la agroindustria, el tipo de finca y su aplicabilidad. Estos resultados se mostrarán en forma de gráficos utilizando R studio. Finalmente, basado en los hallazgos de la revisión literaria se propone un modelo de sistema abierto para la administración de fincas de café.

Al realizar la búsqueda sistemática de los artículos se encontraron 66 publicaciones con las palabras claves de la investigación, de los cuales 46 pertenecen al IEEE, 10 ACM y 10 API. Estos artículos que muestran la aplicación de la industria 4.0 en sus desarrollos y sus posibles beneficios, separando aquellos artículos que se orientan más a la tecnología y no a su beneficio y a las revisiones literarias.

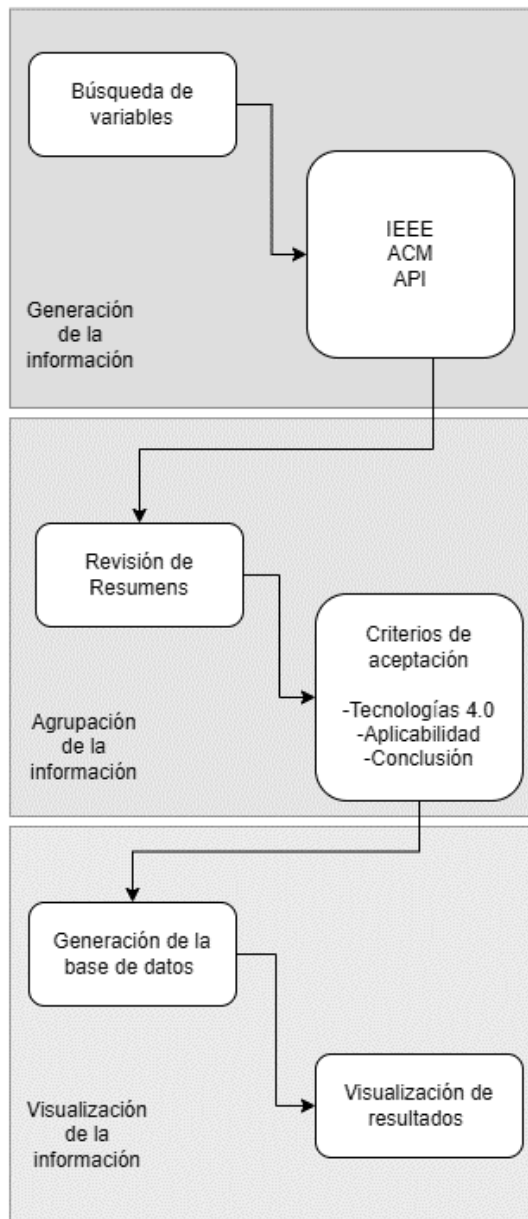


Figura 1. Pasos para realizar revisión sistemática.

#### IV. RESULTADOS

En esa sección se muestran los resultados de la revisión literaria mediante gráficos. Comenzando con la tendencia de estos seis países para la investigación relacionada a la agricultura inteligente, la tendencia por país, las tecnologías de la industria 4.0 aplicadas, el tipo de agricultura donde se aplica, la aplicabilidad y finalmente la citación de estos artículos. La tabla 2 muestra los 66 artículos de los autores agrupados por la tecnología que se aplica, para los gráficos de aplicabilidad y citas solo se tomaron en cuenta los 43 artículos que cumplían con los tres criterios propuestos en la metodología.

TABLA 2.  
Autores agrupados por tecnología incluidos los 66 artículos que fueron revisados

Tecnología	Autores que aplican la tecnología
Realidad Aumentada	-----
Robótica	Khan & Adnan, 2021[12]; Nguyen et al., 2021 [13]; Quach et al., 2021[14]; Wijnarko et al., 2019 [15]
Big Data	Alfred et al., 2021 [16]; Andrianto et al., 2020 [17]; Dewangga A & Suhono H, 2020 [18]; Kuzmanovski et al., 2019 [19]; Valle et al., 2019 [20]
Realidad Virtual	-----
Sensores	Arévalo-Gómez et al., 2018 [21]; Arjona et al., 2018 [22]; Collazos-Burbano et al., 2021 [23]; Dewangga A & Suhono H, 2020 [18]; Fatmawati et al., 2019 [24]; Harun Al Rasyid et al., 2020 [25]; Heideker et al., 2020 [26]; Khoa et al., 2021 [27]; Krongthong & Muangmeesri, 2019 [28]; Luz et al., 2019 [29]; Manogaran et al., 2021 [30]; Martini et al., 2019 [31]; Minh et al., 2017 [32]; Nguyen et al., 2021 [13]; Nguyen-Xuan & Nhat, 2019 [33]; Okayasu et al., 2017 [34]; Oliveira et al., 2017 [35]; Quach et al., 2021 [14]; Queté et al., 2020 [36]; Ribeiro et al., 2020 [37]; Shahrooz et al., 2020 [38]; Tran et al., 2018 [39]; Vu et al., 2018 [40]
Impresión 3D	-----
Internet de las cosas	Albuquerque et al., 2020 [41]; Ammad et al., 2020 [42]; Anzum et al., 2021[43]; Araujo et al., 2019 [22]; Arévalo-Gómez et al., 2018 [21]; Arjona et al., 2018 [44]; Augusto Sales Dantas et al., 2020 [45]; Bachuwar et al., 2018 [46]; Bhanu et al., 2021 [47]; Bischoff & Farias, 2020 [48]; Borelli et al., 2021 [49]; Collazos-Burbano et al., 2021[23]; Dewangga A & Suhono H, 2020 [18]; Ellison Mathe et al., 2022 [50]; Handayani & Folz, 2021 [51]; Harun Al Rasyid et al., 2020 [25]; Hidayat et al., 2020 [52]; Joshi et al., 2017 [53]; Kamelia et al., 2018 [54]; Krongthong & Muangmeesri, 2019 [28]; Maheswari et al., 2019 [55]; Martini et al., 2019 [31]; Minh et al., 2017 [32]; Murdyantoro et al., 2019 [56]; Nursyahid et al., 2019 [57]; Okayasu et al., 2017 [34]; Princess T & E, 2021[58]; Queté et al., 2020 [36]; Ribeiro et al., 2020 [37]; Rodić et al., 2021 [59]; Rodrigues et al., 2018 [60]; Salim et al., 2021 [61]; Shahrooz et al., 2020 [38]; Shengule, 2021 [62]; Thi et al., 2021 [63]; Tran et al., 2018 [39]; Truong & Berardinelli, 2017 [65]; Tuan Tran et al., 2018 [65]; Valle et al., 2021 [20]; Venal et al., 2019 [66]; Vu et al., 2018 [40]; Zyrianoff et al., 2021[67].
Aprendizaje Automático	Agarwal et al., 2021[68]; Alfred et al., 2021 [16]; Augusto Sales Dantas et al., 2020 [45]; Bhanu et al., 2021 [47]; Rodić et al., 2021[59].
Ciber seguridad	Borelli et al., 2021 [49]; Heideker et al., 2020 [26]
Redes Neuronales	Anh Khoa et al., 2021 [69]; Budi Cahyo Suryo et al., 2019 [70]; Maghfiroh et al., 2019 [71]; Quach et al., 2021 [14]; Rizkiana et al., 2019 [72]; Suryo Putro S et al., 2018 [73]; Thai et al., 2021 [75]; L. P. Truong & Duc, 2021 [76]

La tendencia de la aplicación de las diferentes tecnologías de la industria 4.0 muestra un crecimiento en los países con mayor producción de café (ver figura 2). Desde el 2017 al 2021 se aprecia un incremento en la producción científica, teniendo un declive el 2020, pero mostrando una rápida recuperación 2021.

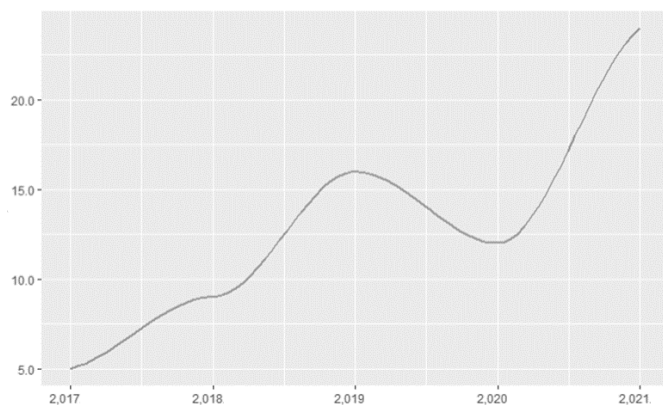


Figura 2. Línea de tendencia del 2017 al 2021. (Eje Y Cantidad de artículos, Eje X años) Fuente: elaboración propia

En los años 2017, 2018, y 2021 Vietnam es el país que más producción científica aporta una mayor cantidad de producción científica sobre el resto de los países (ver figura 3). Como parte de la agricultura inteligente el uso de los drones con cámaras es una alternativa viable para el monitoreo de cultivos [14]. Otra aplicación muy estudiada por este país es el uso de sistemas de sensores que recopilan los datos de humedad del suelo para optimizar el riego [27],[33],[40]. Por otro lado, Indonesia en el 2019 y Brasil en 2020 lograron la mayor cantidad de producción científica.

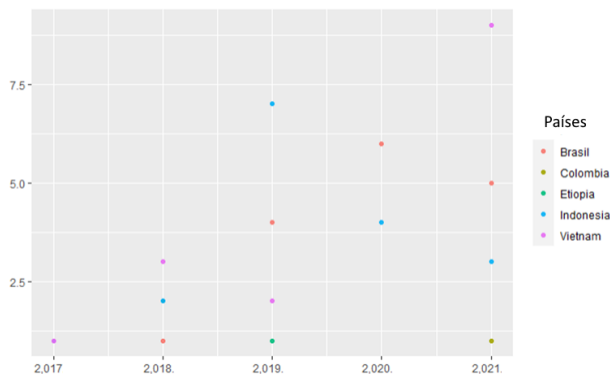


Figura 3. Gráfico de dispersión por país y por año de publicaciones. Fuente: elaboración propia

El país que aplica más tecnologías de la industria 4.0 es Brasil, seguido de Indonesia y Vietnam. Donde las tecnologías más utilizadas son el internet de las cosas y los sensores, el uso de las tecnologías de la información pasa a segundo plano como el big data, ciberseguridad, redes neuronales o aprendizaje automático, dejando a la robótica como la tecnología de menor relevancias (ver figura 4). Un ejemplo de

la implementación de estas tecnologías en conjunto es el de Heideker et al., (2020) donde se implementó el uso del internet de las cosas y aprendizaje automático para mostrar datos de una finca en Brasil en tiempo real [26].

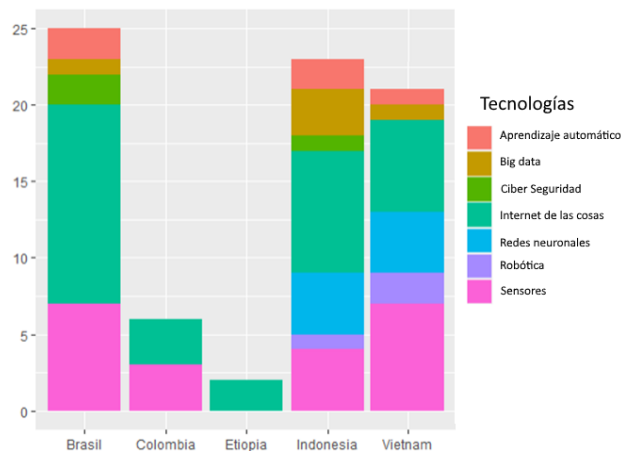


Figura 4. Tecnologías aplicadas en la agroindustria inteligente por país. Fuente: elaboración propia

Al realizar la selección de los artículos que muestra los beneficios de la agroindustria inteligente el número de artículos se reduce al 65.7%. Donde el 86% de las aplicaciones son de uso genérico, y apenas un estudio se especializa en fincas de café (ver figura 5). Este estudio fue desarrollado por Colombia y consistió en un detector de plagas utilizando el internet de las cosas y los sensores para el monitor del café arábico [23].

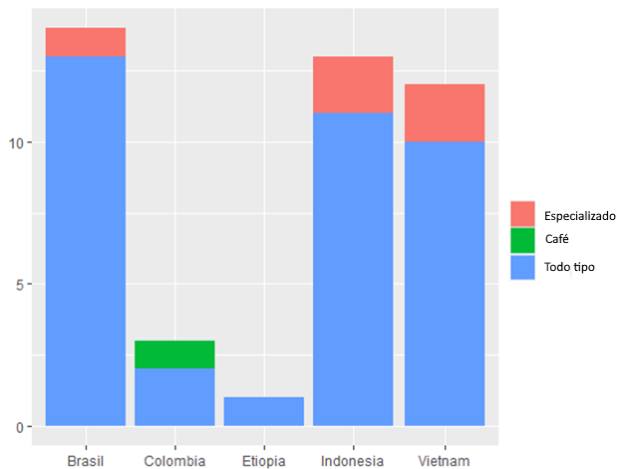


Figura 5. Tipos de fincas por país. Fuente: elaboración propia

La aplicabilidad en la mayoría de los artículos muestra el uso del internet de las cosas para monitorear cultivos, detectando plagas y controlando los sistemas de riego. Algunas de estas aplicaciones muestran nuevos métodos para la agricultura e incluso beneficios en la administración de estas (ver figura 6). Se destacan como novedosas las siguientes aplicaciones:

- Wijanarko A. et al. (2021) propone un robot movil llamado RoboVision el cual utiliza una cámara estéreo para el monitoreo automático del crecimiento de cultivos [15].
- Andrianto et al., (2020) desarrollo un sistema de computación de servicios se utilizan para diseñar un sistema de computación para monitorear las deficiencias en las plantas [17].
- Nursyahid et al., (2019) propone un sistema inteligente para que los agricultores obtengan todos los detalles relevantes sobre la fertilización del suelo mediante la entrega de información sobre el cambio climático a través del internet de las cosas [57].
- Augusto Sales Dantas et al., (2020) desarrollan una plataforma para la gestión inteligente del agua utilizando el internet de las cosas, aprendizaje y aprendizaje automático, con el cual es posible monitorear el estado del agua y controlar el riego [45].
- Thai et al., (2021) desarrollan una red neuronal que mediante imágenes es capaz de detectar enfermedades en hojas [75].

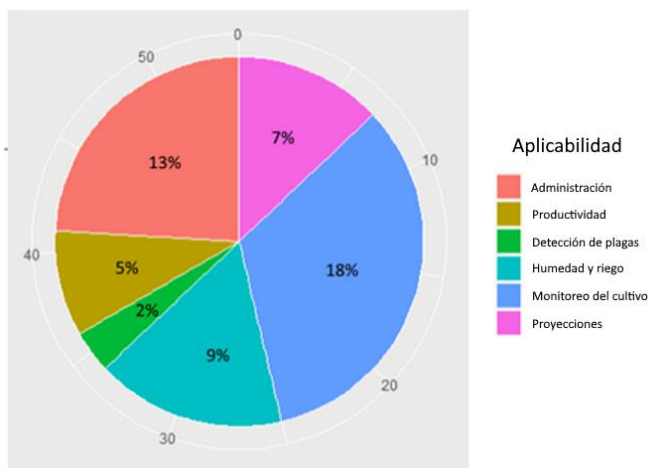


Figura 6. Aplicabilidad o beneficios de la agricultura inteligente. Fuente: elaboración propia

## V. APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE SISTEMA ABIERTOS DE KATZ KAHN

La administración de las fincas de café tiene un efecto cultural, es decir que los métodos son pasados de generación en generación. Estas fincas de café se sitúan geográficamente en zonas montañosas por lo que en ocasiones estos procesos son difíciles de mecanizar aumentando los costos en el uso de pesticidas. Por lo que la adopción de nuevas tecnologías puede ser un proceso lento e incluso no viable en algunas comunidades. Al realizar la revisión literaria se encontró una gran variedad de soluciones que buscan mejorar los rendimientos de la agricultura. Por lo que la figura 7 muestra

el modelo propuesto según los hallazgos de esta revisión literaria.

Las entradas de este modelo de administración serían los recursos humanos, los recursos tecnológicos que le darán energía al sistema. Además, se debe considerar el cambio climático y las enfermedades como los mayores efectos negativos que tienen estas fincas. Por lo que la principal salida de estas fincas de café es la producción en quintales de café. Donde algunos procesos agrícolas y logísticos son básicos para lograr generar la comercialización del café. Para la retroalimentación del sistema es necesario tener en cuenta la rentabilidad que el modelo pueda tener y la información que sirva para generar ajustes por parte de los administradores.

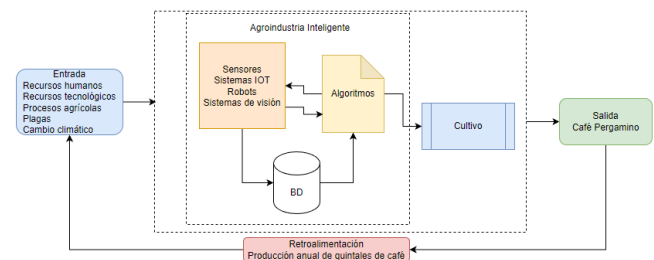


Figura 7. Modelo Katz Kahn propuesto para la administración de la agricultura inteligente en fincas de café.

Para controlar la entropía de estos sistemas de café, es necesario generar información sobre el estado de las plantas de café. Las enfermedades como la roya reducen considerablemente la capacidad de las plantas de dar fruto y el cambio climático complica las labores agrícolas, dentro y fuera de las fincas de café. Por lo que es necesario aplicar las tecnologías de la información para tener una entropía negativa es decir reducir la incertidumbre.

La codificación se encargará de filtrar datos al proceso utilizando las tecnologías de la industria 4.0. Por lo que se propone el uso de la agricultura inteligente para mejorar la administración de estas fincas y aumentar el rendimiento teniendo en cuenta tres aplicaciones básicas, las cuales se denominaran algoritmos.

El primer algoritmo se basa en el uso de un recurso tecnológico (robot) que permita la movilidad dentro de la finca con el fin de adquirir datos y una red neuronal para el monitoreo de la roya. Esto basado en el monitoreo los cultivos por medio de un robot como el utilizado por Wijanarko A. et al. (2021) [15] y la aplicación de redes neuronales de detección de plagas como lo propone Thai et al., (2021) [75].

El segundo algoritmo procesara toda la información del primer algoritmo con el nivel de producción de una planta de café. De esta forma los administradores de las fincas de café podrán proyectar la productividad esperada de cada planta en la finca de café. Y aplicar fertilizantes e insecticidas utilizando drones en las plantas según su necesidad.

El tercer algoritmo es el desarrollo de una aplicación que utiliza sensores e internet de las cosas para monitorear el cambio climático. Esta aplicación puede tener beneficios



como los mostrados por Nursyahid et al., (2019) y reducir el uso de insecticidas y fertilizantes [57].

La aplicación de estos tres algoritmos como filtros del proceso de cultivo de café permitirán que estas fincas tengan una mayor homeostasis. Un equilibrio dinámico que permita detectar la roya en etapas tempranas para la aplicación de insecticidas. Evitar el uso de abono o fertilizantes en plantas que ya no son productivas. Y entender el cambio climático permitirá que los administradores de estas fincas puedan adaptarse mejor al ambiente.

Si bien es cierto que existen otros métodos propuestos por otros autores para tener la misma equifinidad, los propuestos en este modelo son basados en esta revisión literaria. Por lo que la misma revisión literaria coloca los límites del modelo.

Finalmente, con la aplicación de este modelo es posible determinar las deficiencias de las plantas [17]. Esto con el fin de lograr proyectar la cosecha y mejorar las herramientas de administración de fincas de café. Por lo que estos países deben desarrollar aplicaciones de agricultura inteligente para obtener mejores rendimientos de su finca como lo mencionan diversos autores [4-7].

## VI. CONCLUSIÓN

Al revisar la literatura de los últimos 5 años de los países con mayor producción de café a nivel mundial se pudo documentar que la agroindustria inteligente va en ascenso, donde vietnam es el país que lidera la producción científica. También se destaca que no se encontró ni un documento de Honduras en esta investigación. La tecnología más utilizada es el internet de las cosas y los sensores que muchos de los autores los utilizaron en conjunto, mientras que la robótica es la de menor implementación. Al implementar estas tecnologías los autores mostraron beneficios en el monitoreo de cultivos, sistemas de riego y sistemas de administración.

Basado en las practicas más novedosas se proponen dos aplicaciones básicas para mejorar las fincas de café, un robot para monitorear la roya y un software para monitorear el cambio climático. El modelo de sistemas abiertos propuesto en este documento trata de solventar los problemas más importantes de las fincas de café utilizando las tecnologías de la industria 4.0. Brindando a los administradores herramientas modernas para aumentar la productividad de las fincas de café y mejorar la toma de decisiones. Estos algoritmos y recursos tecnológicos generan un diferenciador tecnológico para la administración de fincas de café. No obstante, como trabajos futuros los autores proponen la realización de un análisis financiero y la determinación de competencias necesarias por parte del personal.

## VI. REFERENCIAS

- [1] Vegro, C. L. R., & de Almeida, L. F. (2020). Chapter 1 - Global coffee market: Socio-economic and cultural dynamics. En L. F. de Almeida & E. E. Spers (Eds.), *Coffee Consumption and Industry Strategies in Brazil* (pp. 3–19). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814721-4.00001-9>
- [2] Minten, B., Dereje, M., Engida, E., & Kuma, T. (2019). Coffee value chains on the move: Evidence in Ethiopia. *Food Policy*, 83, 370–383. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2017.07.012>
- [3] Eakin, H., Winkels, A., & Sendzimir, J. (2009). Nested vulnerability: Exploring cross-scale linkages and vulnerability teleconnections in Mexican and Vietnamese coffee systems. *Environmental Science & Policy*, 12(4), 398–412. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2008.09.003>
- [4] Kouadio, L., Byrareddy, V. M., Sawadogo, A., & Newlands, N. K. (2021). Probabilistic yield forecasting of robusta coffee at the farm scale using agroclimatic and remote sensing derived indices. *Agricultural and Forest Meteorology*, 306, 108449. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108449>
- [5] Ramachandran, V., Ramalakshmi, R., Kavin, B. P., Hussain, I., Almaliki, A. H., Almaliki, A. A., Elnaggar, A. Y., & Hussein, E. E. (2022). Exploiting IoT and Its Enabled Technologies for Irrigation Needs in Agriculture. *Water*, 14(5), 719. <https://doi.org/10.3390/w14050719>
- [6] Haque, A., Islam, N., Samrat, N. H., Dey, S., & Ray, B. (2021). Smart Farming through Responsible Leadership in Bangladesh: Possibilities, Opportunities, and Beyond. *Sustainability*, 13(8), 4511. <https://doi.org/10.3390/su13084511>
- [7] Kittichotsatsawat, Y.; Jangkrajarn, V.; Tippayawong, K.Y. Enhancing Coffee Supply Chain towards Sustainable Growth with Big Data and Modern Agricultural Technologies. *Sustainability* 2021, 13, 4593. <https://doi.org/10.3390/su13084593>
- [8] Gažová, A., Papulová, Z., & Smolka, D. (2022). Effect of Business Process Management on Level of Automation and Technologies Connected to Industry 4.0. *Procedia Computer Science*, 200, 1498–1507. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.351>
- [9] Javaid, M., Haleem, A., Singh, R. P., Suman, R., & Gonzalez, E. S. (2022). Understanding the adoption of Industry 4.0 technologies in improving environmental sustainability. *Sustainable Operations and Computers*, 3, 203–217. <https://doi.org/10.1016/j.susoc.2022.01.008>
- [10] J. L. O. Avila et al., “Study Case: Teleoperated Voice Picking Robots prototype as a logistic solution in Honduras”, en 2020 5th International Conference on Control and Robotics Engineering (ICCCE), abr. 2020, pp. 19–24. doi: 10.1109/ICCCE49379.2020.9096483.
- [11] Mon, A., & Del Giorgio, H. R. (2022). Analysis of Industry 4.0 Products in Small and Medium Enterprises. *Procedia Computer Science*, 200, 914–923. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.289>
- [12] Khan, S., & Adnan, A. (2021). Application of Technology for Achieving Sustainable Agriculture. En *Sustainable Engineering Technologies and Architectures* (pp. 6-1–6-28). AIP Publishing LLC. [https://doi.org/10.1063/9780735424036\\_006](https://doi.org/10.1063/9780735424036_006)
- [13] Nguyen, A. Q., Nguyen, A. M., Nguyen, H. T., Luong, H. Q., & Dao, N. P. (2021). Fruits Detection and Distance Estimation using RGB-D camera for Harvesting Robot. 2021 International Conference on Science Contemporary Technologies (ICSCT), 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICSCT53883.2021.9642700>
- [14] Quach, C. H., Phung, M. D., Le, H. V., & Perry, S. (2021). SupSLAM: A Robust Visual Inertial SLAM System Using SuperPoint for Unmanned Aerial Vehicles. 2021 8th NAFOSTED Conference on Information and Computer Science (NICS), 507–512. <https://doi.org/10.1109/NICS54270.2021.9701527>
- [15] Wijanarko, A., Nugroho, A. P., Sutiarto, L., & Okayasu, T. (2019). Development of mobile RoboVision with stereo camera for automatic crop growth monitoring in plant factory. *AIP Conference Proceedings*, 2202(1), 020100. <https://doi.org/10.1063/1.5141713>
- [16] Alfred, R., Obit, J. H., Chin, C. P.-Y., Haviluddin, H., & Lim, Y. (2021). Towards Paddy Rice Smart Farming: A Review on Big Data, Machine Learning, and Rice Production Tasks. *IEEE Access*, 9, 50358–50380. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3069449>
- [17] Andrianto, H., Suhardi, & Faizal, A. (2020). Design of a service computing system platform for monitoring plant nutrient deficiencies based on the SCSE framework. 2020 International Conference on Information Technology Systems and Innovation (ICITSI), 226–235. <https://doi.org/10.1109/ICITSI50517.2020.9264921>
- [18] Dewangga A. P., & Suhono H. S. (2020). Internet of Things in the Field of Smart Farming: Benefits and Challenges. 2020 International Conference on ICT for Smart Society (ICISS), 1–7. <https://doi.org/10.1109/ICISS50791.2020.9307602>

- [19]Kuzmanovski, V., Larsen, D. E., & Henriksen, C. B. (2019). Optimization of arable land use towards meat-free and climate-smart agriculture: A case study in food self-sufficiency of Vietnam. 2019 IEEE International Conference on Big Data (Big Data), 5140–5148. <https://doi.org/10.1109/BigData47090.2019.9006264>
- [20]Valle, P. H. D., Garcés, L., & Nakagawa, E. Y. (2019). A Typology of Architectural Strategies for Interoperability. Proceedings of the XIII Brazilian Symposium on Software Components, Architectures, and Reuse, 3–12. <https://doi.org/10.1145/3357141.3357144>
- [21]Arévalo-Gómez, M. Á., Carrillo-Zambrano, E., Herrera-Quintero, L. F., & Chavarriaga, J. (2018). Water wells monitoring solution in rural zones using IoT approaches and cloud-based real-time databases. Proceedings of the Euro American Conference on Telematics and Information Systems, 1–5. <https://doi.org/10.1145/3293614.3293659>
- [22]Araujo, E., Dantas, J., Matos, R., Pereira, P., & Maciel, P. (2019). Dependability Evaluation of an IoT System: A Hierarchical Modelling Approach. 2019 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC), 2121–2126. <https://doi.org/10.1109/SMC.2019.8914032>
- [23]Collazos-Burbano, D. A., Cuello, J. L. E., & Villagrán-Muniz, M. (2021). Ultrasonic Wave Propagation for Smart Agriculture: An Arabica Coffee Case of Study. 2021 IEEE UFFC Latin America Ultrasonics Symposium (LAUS), 1–4. <https://doi.org/10.1109/LAUS53676.2021.9639172>
- [24]Fatmawati, D., Nugroho, A. P., Widiyatmoko, A., Sutiarsa, L., & Okayasu, T. (2019). Design and performance evaluation of multi-camera for continuous plant motion monitoring system. AIP Conference Proceedings, 2202(1), 020103. <https://doi.org/10.1063/1.5141716>
- [25]Harun Al Rasyid, M. U., Syauqi Ahsan, A., & Najaa, M. F. (2020). Fuzzy Logic for Automatic Watering System of Smart Agriculture with IoT. 2020 International Conference on Applied Science and Technology (ICAST), 1–7. <https://doi.org/10.1109/ICAST51016.2020.9557707>
- [26]Heideker, A., Ottolini, D., Zyrianoff, I., Neto, A. T., Salmon Cinotti, T., & Kamienski, C. (2020). IoT-based Measurement for Smart Agriculture. 2020 IEEE International Workshop on Metrology for Agriculture and Forestry (MetroAgriFor), 68–72. <https://doi.org/10.1109/MetroAgriFor50201.2020.9277546>
- [27]Khao, T. A., Trong, N. M., Bao Nhu, L. M., Phuc, C. H., Nguyen, V., & Dang, D. M. (2021). Design of a Soil Moisture Sensor for Application in a Smart Watering System. 2021 IEEE Sensors Applications Symposium (SAS), 1–6. <https://doi.org/10.1109/SAS51076.2021.9530105>
- [28]Krongthong, T., & Muangmeesri, B. (2019). Modeling and Simulink of Smart Agriculture Using IoT Framework. 2019 1st International Conference on Cybernetics and Intelligent System (ICORIS), 1, 185–188. <https://doi.org/10.1109/ICORIS.2019.8874914>
- [29]Luz, T. C., Nunez, G. A., Margi, C. B., & Verdi, F. L. (2019). In-network performance measurements for Software Defined Wireless Sensor Networks. 2019 IEEE 16th International Conference on Networking, Sensing and Control (ICNSC), 206–211. <https://doi.org/10.1109/ICNSC.2019.8743237>
- [30]Manogaran, G., Alazab, M., Muhammad, K., & de Albuquerque, V. H. C. (2021). Smart Sensing Based Functional Control for Reducing Uncertainties in Agricultural Farm Data Analysis. IEEE Sensors Journal, 21(16), 17469–17478. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2021.3054561>
- [31]Martini, B. G., Helfer, G. A., Barbosa, J. L. V., Silva, M. R. da, de Figueiredo, R. M., Modolo, R. C. E., & Yamin, A. C. (2019). A computational model for ubiquitous intelligent services in indoor agriculture. Proceedings of the 25th Brazilian Symposium on Multimedia and the Web, 497–500. <https://doi.org/10.1145/3323503.3360641>
- [32]Minh, Q. T., Phan, T. N., Takahashi, A., Thanh, T. T., Duy, S. N., Thanh, M. N., & Hong, C. N. (2017). A Cost-effective Smart Farming System with Knowledge Base. Proceedings of the Eighth International Symposium on Information and Communication Technology, 309–316. <https://doi.org/10.1145/3155133.3155151>
- [33]Nguyen-Xuan, S., & Nhat, N. L. (2019). A dynamic model for temperature prediction in glass greenhouse. 2019 6th NAFOSTED Conference on Information and Computer Science (NICS), 274–278. <https://doi.org/10.1109/NICS48868.2019.9023791>
- [34]Okayasu, T., Nugroho, A. P., Sakai, A., Arita, D., Yoshinaga, T., Taniguchi, R., Horimoto, M., Inoue, E., Hirai, Y., & Mitsuoka, M. (2017). Affordable field environmental monitoring and plant growth measurement system for smart agriculture. 2017 Eleventh International Conference on Sensing Technology (ICST), 1–4. <https://doi.org/10.1109/ICSensT.2017.8304486>
- [35]Oliveira, K. V. de, Esgalha Castelli, H. M., José Montebeller, S., & Prado Avancini, T. G. (2017). Wireless Sensor Network for Smart Agriculture using ZigBee Protocol. 2017 IEEE First Summer School on Smart Cities (S3C), 61–66. <https://doi.org/10.1109/S3C.2017.8501379>
- [36]Queté, B., Heideker, A., Zyrianoff, I., Ottolini, D., Kleinschmidt, J. H., Soininen, J.-P., & Kamienski, C. (2020). Understanding the tradeoffs of LoRaWAN for IoT-based Smart Irrigation. 2020 IEEE International Workshop on Metrology for Agriculture and Forestry (MetroAgriFor), 73–77. <https://doi.org/10.1109/MetroAgriFor50201.2020.9277566>
- [37]Ribeiro, F. M., Prati, R., Bianchi, R., & Kamienski, C. (2020). A Nearest Neighbors based Data Filter for Fog Computing in IoT Smart Agriculture. 2020 IEEE International Workshop on Metrology for Agriculture and Forestry (MetroAgriFor), 63–67. <https://doi.org/10.1109/MetroAgriFor50201.2020.9277661>
- [38]Shahrooz, M., Talaeizadeh, A., & Alasty, A. (2020). Agricultural Spraying Drones: Advantages and Disadvantages. 2020 Virtual Symposium in Plant Omics Sciences (OMICAS), 1–5. <https://doi.org/10.1109/OMICAS52284.2020.9535527>
- [39]Tran, H. A. M., Ngo, H. Q. T., Nguyen, T. P., & Nguyen, H. (2018). Design of Green Agriculture System Using Internet of Things and Image Processing Techniques. 2018 4th International Conference on Green Technology and Sustainable Development (GTSD), 28–32. <https://doi.org/10.1109/GTSD.2018.8595663>
- [40]Vu, V. A., Cong Trinh, D., TRUVANT, T. C., & Dang Bui, T. (2018). Design of automatic irrigation system for greenhouse based on LoRa technology. 2018 International Conference on Advanced Technologies for Communications (ATC), 72–77. <https://doi.org/10.1109/ATC.2018.8587487>
- [41]Albuquerque, C. K. G., Polimante, S., Torre-Neto, A., & Prati, R. C. (2020). Water spray detection for smart irrigation systems with Mask R-CNN and UAV footage. 2020 IEEE International Workshop on Metrology for Agriculture and Forestry (MetroAgriFor), 236–240. <https://doi.org/10.1109/MetroAgriFor50201.2020.9277542>
- [42]Ammad, M., Shah, M. A., Islam, S. U., Maple, C., Alaulamie, A. A., Rodrigues, J. J. P. C., Mussadiq, S., & Tariq, U. (2020). A Novel Fog-Based Multi-Level Energy-Efficient Framework for IoT-Enabled Smart Environments. IEEE Access, 8, 150010–150026. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3010157>
- [43]Anzum, R., Habaebi, M. H., Islam, M. R., & Hakim, G. P. N. (2021). Modeling and Quantifying Palm Trees Foliage Loss using LoRa Radio Links for Smart Agriculture Applications. 2021 IEEE 7th International Conference on Smart Instrumentation, Measurement and Applications (ICSIMA), 105–110. <https://doi.org/10.1109/ICSIMA50015.2021.9526311>
- [44]Arjona, R., Fumagalli, A., Lee, C., & Vijayasankar, K. (2018). An Experimental End-to-End Delay Study of a Sub-1GHz Wireless Sensor Network with LTE Backhaul. 2018 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM), 1–7. <https://doi.org/10.1109/GLOCOM.2018.8647618>
- [45]Augusto Sales Dantas, R., Vasconcelos da Gama Neto, M., Dimitry Zyrianoff, I., & Alberto Kamienski, C. (2020). The SWAMP Farmer App for IoT-based Smart Water Status Monitoring and Irrigation Control. 2020 IEEE International Workshop on Metrology for Agriculture and Forestry (MetroAgriFor), 109–113. <https://doi.org/10.1109/MetroAgriFor50201.2020.9277588>
- [46]Bachuwar, V. D., Shligram, A. D., & Deshmukh, L. P. (2018). Monitoring the soil parameters using IoT and Android based application for smart agriculture. AIP Conference Proceedings, 1989(1), 020003. <https://doi.org/10.1063/1.5047679>
- [47]Bhanu, J. S., Bigul, S. D., & Prakash, A. (2021). Agricultural internet of things using machine learning. AIP Conference Proceedings, 2358(1), 080010. <https://doi.org/10.1063/5.0058012>
- [48]Bischoff, V., & Farias, K. (2020). ViForecast: An IoT approach to predict diseases in vineyard. XVI Brazilian Symposium on Information Systems, 1–8. <https://doi.org/10.1145/3411564.3411584>
- [49]Borelli, F., Biondi, G., Silva, D., & Kamienski, C. (2021). Managing Smart Agriculture: The IoT Entity Management System (IoTEMS). 2021



- IEEE International Workshop on Metrology for Agriculture and Forestry (MetroAgriFor), 310–314. <https://doi.org/10.1109/MetroAgriFor52389.2021.9628882>
- [50] Ellison Mathe, S., Bandaru, M., Kishan Kondaveeti, H., Vappangi, S., & Sanjiv Rao, G. (2022). A Survey of Agriculture Applications Utilizing Raspberry Pi. 2022 International Conference on Innovative Trends in Information Technology (ICITIIT), 1–7. <https://doi.org/10.1109/ICITIIT54346.2022.9744152>
- [51] Handayani, I. P., & Folz, N. (2021). Adaptive Land Management for Climate-Smart Agriculture. 2021 IEEE International Conference on Health, Instrumentation Measurement, and Natural Sciences (InHeNce), 1–7. <https://doi.org/10.1109/InHeNce52833.2021.9537265>
- [52] Hidayat, T., Mahardiko, R., & Santuri Tigor, F. D. (2020). Method of Systematic Literature Review for Internet of Things in ZigBee Smart Agriculture. 2020 8th International Conference on Information and Communication Technology (ICOICT), 1–4. <https://doi.org/10.1109/ICOICT49345.2020.9166195>
- [53] Joshi, J., Polepally, S., Kumar, P., Samineni, R., Rahul, S. R., Sumedh, K., Tej, D. G. K., & Rajapriya, V. (2017). Machine Learning Based Cloud Integrated Farming. Proceedings of the 2017 International Conference on Machine Learning and Soft Computing, 1–6. <https://doi.org/10.1145/3036290.3036297>
- [54] Kamelia, L., Zaki Hamidi, E. A., & Jazuli Baskara, A. (2018). E-Key Prototype Implementation Based on Short Message Service (SMS) Technology. 2018 12th International Conference on Telecommunication Systems, Services, and Applications (TSSA), 1–4. <https://doi.org/10.1109/TSSA.2018.8708768>
- [55] Maheswari, R., Azath, H., Sharmila, P., & Sheeba Rani Gnanamalar, S. (2019). Smart Village: Solar Based Smart Agriculture with IoT Enabled for Climatic Change and Fertilization of Soil. 2019 IEEE 5th International Conference on Mechatronics System and Robots (ICMSR), 102–105. <https://doi.org/10.1109/ICMSR.2019.8835454>
- [56] Murdyantoro, E., Nugraha, A. W. W., Wardhana, A. W., Fadli, A., & Zulfa, M. I. (2019). A review of LoRa technology and its potential use for rural development in Indonesia. AIP Conference Proceedings, 2094(1), 020011. <https://doi.org/10.1063/1.5097480>
- [57] Nursyahid, A., Aprilian, T., Setyawan, T. A., Helmy, Nugroho, A. S., & Susilo, D. (2019). Automatic Sprinkler System for Water Efficiency Based on LoRa Network. 2019 6th International Conference on Information Technology, Computer and Electrical Engineering (ICITACEE), 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICITACEE.2019.8904278>
- [58] Princess T, G., & E, P. (2021). Intelligent Greenhouse cultivation empowered in IoT ecosystem. 2021 IEEE Asia-Pacific Conference on Geoscience, Electronics and Remote Sensing Technology (AGERS), 141–146. <https://doi.org/10.1109/AGERS53903.2021.9617304>
- [59] Rodić, L. D., Županović, T., Perković, T., Šolić, P., & Rodrigues, J. J. P. C. (2021). Machine Learning and Soil Humidity Sensing: Signal Strength Approach. ACM Transactions on Internet Technology, 22(2), 39:1–39:21. <https://doi.org/10.1145/3418207>
- [60] Rodrigues, R. R., Rodrigues, J. J. P. C., da Cruz, M. A. A., Khanna, A., & Gupta, D. (2018). An IoT-based Automated Shower System for Smart Homes. 2018 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI), 254–258. <https://doi.org/10.1109/ICACCI.2018.8554793>
- [61] Salim, S. A., Amin, Md. R., Rahman, Md. S., Arafat, Md. Y., & Khan, R. (2021). An IoT-based Smart Agriculture System with Locust Prevention and Data Prediction. 2021 8th International Conference on Information Technology, Computer and Electrical Engineering (ICITACEE), 201–206. <https://doi.org/10.1109/ICITACEE53184.2021.9617550>
- [62] Shengule, R. D. (2021). Progress of solar renewable energy: Research and achievement in particular reference to the world and India. AIP Conference Proceedings, 2369(1), 020208. <https://doi.org/10.1063/5.0061030>
- [63] Thi, M. H., Hoang Son, L., Quoc Vinh, N. T., & Thi Huong Quynh, N. (2021). Computing Infrastructure Of IoT Applications In Smart Agriculture: A Systematical Review. 2021 6th International Conference on Innovative Technology in Intelligent System and Industrial Applications (CITISIA), 1–9. <https://doi.org/10.1109/CITISIA53721.2021.9719974>
- [64] Tuan Tran, M. A., Le, T. N., & Vo, T. P. (2018). Smart-Config Wifi Technology Using ESP8266 for Low-Cost Wireless Sensor Networks. 2018 International Conference on Advanced Computing and Applications (ACOMP), 22–28. <https://doi.org/10.1109/ACOMP.2018.00012>
- [65] Truong, H.-L., & Berardinelli, L. (2017). Testing uncertainty of cyber-physical systems in IoT cloud infrastructures: Combining model-driven engineering and elastic execution. Proceedings of the 1st ACM SIGSOFT International Workshop on Testing Embedded and Cyber-Physical Systems, 5–8. <https://doi.org/10.1145/3107091.3107093>
- [66] Venal, M. C. A., Fajardo, A. C., & Hernandez, A. A. (2019). Plant Stress Classification for Smart Agriculture utilizing Convolutional Neural Network—Support Vector Machine. 2019 International Conference on ICT for Smart Society (ICISS), 7, 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICISS48059.2019.8969799>
- [67] Zyrianoff, I. D., Neto, A. T., Silva, D., Cinotti, T. S., Di Felice, M., & Kamiński, C. (2021). A Soil Moisture Calibration Service for IoT-based Smart Irrigation. 2021 IEEE International Workshop on Metrology for Agriculture and Forestry (MetroAgriFor), 315–319. <https://doi.org/10.1109/MetroAgriFor52389.2021.9628393>
- [68] Agarwal, R., Shekhawat, N. S., Kumar, S., Nayyar, A., & Qureshi, B. (2021). Improved Feature Selection Method for the Identification of Soil Images Using Oscillating Spider Monkey Optimization. IEEE Access, 9, 167128–167139. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3135536>
- [69] Anh Khoa, T., The Truong, D. N., & Dang, D. N. M. (2021). Cross-Modal Deep Neural Networks based Smartphone Authentication for Intelligent Things System. Proceedings of the 2021 Workshop on Intelligent Cross-Data Analysis and Retrieval, 48–51. <https://doi.org/10.1145/3463944.3469101>
- [70] Budi Cahyo Suryo, P. S., Wayan Mustika, I., Wahyunggoro, O., & Wasisto, H. S. (2019). Improved Time Series Prediction Using LSTM Neural Network for Smart Agriculture Application. 2019 5th International Conference on Science and Technology (ICST), 1, 1–4. <https://doi.org/10.1109/ICST47872.2019.9166401>
- [71] Maghfiroh, S., Nugroho, A. P., Putra, A. R., Sutiarso, L., & Okayasu, T. (2019). Implementation of leaf motion monitoring system to study plant behavior with variations of the lighting interval in Capsicum annum L. AIP Conference Proceedings, 2202(1), 020102. <https://doi.org/10.1063/1.5141715>
- [72] Rizkiana, A., Nugroho, A. P., Irfan, M. A., Sutiarso, L., & Okayasu, T. (2019). Crop growth prediction model at vegetative phase to support the precision agriculture application in plant factory. AIP Conference Proceedings, 2202(1), 020104. <https://doi.org/10.1063/1.5141717>
- [73] Suryo Putro S, B. C., Mustika, I. W., & Nugroho, L. E. (2018). Optimized Back-propagation Artificial Neural Network Algorithm for Smart Agriculture Applications. 2018 4th International Conference on Science and Technology (ICST), 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICSTC.2018.8528655>
- [74] Truong, L. P., & Duc, P. V. (2021). Cost-effective controlling for abalone mushrooms based fuzzy logic control solely in MATLAB/Simulink environment. AIP Conference Proceedings, 2406(1), 060010. <https://doi.org/10.1063/5.0066465>
- [75] Thai, H.-T., Tran-Van, N.-Y., & Le, K.-H. (2021). Artificial Cognition for Early Leaf Disease Detection using Vision Transformers. 2021 International Conference on Advanced Technologies for Communications (ATC), 33–38. <https://doi.org/10.1109/ATC52653.2021.9598303>