

Internet de las Cosas (IoT) para el Sector Agrícola

Cornejo-Velazquez, Eduardo^{a,*}, Romero-Trejo, Hugo^b, Acevedo-Sandoval, Otilio Arturo^b, Toriz-Palacios, Alfredo^a

^aDepartamento de Planeación Estratégica y Dirección de Tecnologías, Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, Puebla, México.

^bInstituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Hidalgo, México.

Resumen

A nivel mundial el sector agrícola enfrenta retos relacionados con los efectos del cambio climático, la degradación de los recursos naturales, la disminución del agua y de la tierra cultivable. La aplicación de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones integradas con herramientas de procesamiento de datos ofrece una alternativa innovadora para la adaptación de los sistemas de producción agrícola. El Internet de las Cosas con la integración de las tecnologías de sensores, actuadores, comunicación y procesamiento de datos brinda la posibilidad de construir sistemas tecnológicos que recolectan y analizan datos de los campos de cultivo para apoyar a los productores agrícolas. El propósito de este artículo es presentar el análisis comparativo de las tecnologías de bajo costo disponibles para la implementación de sistema IoT en los campos agrícolas considerando las plataformas de hardware, las tecnologías de comunicación, los servicios IoT Cloud para el almacenamiento de los datos y consideraciones para la etapa de diseño del sistema.

Palabras Clave: Internet de las cosas, agricultura digital, estrategias tecnológicas

1. Introducción

El sector agrícola debe enfrentar los efectos del cambio climático, el incremento de la población mundial, la degradación de los recursos naturales y la disminución del agua disponible (Bayala et al., 2017; Singh and Singh, 2017; Struik and Kuiper, 2017; Lipper et al., 2018). Los primeros efectos están relacionados con la limitación de la superficie de tierra cultivable y la disminución en los rendimientos de los cultivos (FAO, 2015). La aplicación de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) y el procesamiento de los datos de los sistemas agrícolas brinda la posibilidad de mejorar las prácticas de campo, optimizar los recursos naturales y transformar los sistemas de producción tradicionales a través de un paradigma colaborativo, distribuido y flexible (Zhang et al., 2016; Janssen et al., 2017).

El rápido avance de las tecnologías de los sensores, el poder de cómputo y las redes de comunicación aumentan la capacidad de los sistemas informáticos para recolectar y analizar conjuntos de datos a una gran velocidad; además, el intercambio de información y experiencias brindan mejores oportunidades a los productores agrícolas, lo que favorecen a una mayor y mejor

inclusión digital.

En la literatura científica se describe que el Internet de las Cosas (IoT) puede contribuir en la mitigación y adaptación del sector agrícola a los retos del siglo XXI (Pérez-Freire and Brillouet, 2015; Sundmaeker et al., 2016). IoT es una alternativa para los sistemas de producción agrícola para transformar algunas de las siguientes tareas:

- detección y monitoreo de la producción, incluido el uso de los recursos agrícolas, desarrollo de cultivos, comportamiento animal y procesamiento de alimentos;
- comprensión de las condiciones específicas de la agricultura como el clima, las condiciones ambientales y emergencia por plagas, malezas o enfermedades;
- control más sofisticado y remoto de las operaciones de los cultivos, el procesamiento y la logística mediante actuadores y robots;
- monitoreo y trazabilidad de la calidad de los alimentos mediante el control remoto de la ubicación y las condiciones de los envíos y productos;
- mejorar la conciencia de los consumidores acerca de la sostenibilidad y la importancia de la salud mediante nutrición personalizada, wearables y domótica.

En relación con estas posibilidades, en este artículo se hace un análisis descriptivo y comparativo de las tecnologías de

*Autor en correspondencia.

Correos electrónicos: eduardo.cornejo@upaep.edu.mx (Cornejo-Velazquez, Eduardo), rhugo@uaeh.edu.mx (Romero-Trejo, Hugo), acevedo@uaeh.edu.mx (Acevedo-Sandoval, Otilio Arturo), alfredo.toriz@upaep.mx (Toriz-Palacios, Alfredo)

bajo costo que pueden ser consideradas para desplegar sistemas IoT en los campos agrícolas en relación con las plataformas de hardware, tecnologías de comunicación y servicio de almacenamiento IoT Cloud.

2. Modelo IoT en el sector agrícola

La National Intelligence Council (NIC) reconoce a IoT como una de las tecnologías civiles disruptivas responsables de la transformación digital del mundo. El Foro Económico Mundial (WEF, 2018) estima que para 2030, IoT en el sector industrial puede agregar 14 billones de dólares americanos al valor de la economía global. Además, IoT es el punto de convergencia de varias tecnologías de la Cuarta Revolución Industrial, como la inteligencia artificial y el cómputo en la nube, por ello tiene un enorme potencial para ofrecer valor social.

La consultora Gartner pronostica que para el año 2020 estarán conectados a Internet 20 mil millones de dispositivos IoT y se encargarán de definir los conjuntos de datos empleados para analizar, planificar, gestionar y tomar decisiones inteligentes de manera autónoma (Hung, 2017).

IoT es una red de objetos físicos dedicados que contienen tecnología embebida para comunicarse, detectar o interactuar con sus estados internos o con el entorno externo. La conexión de activos, procesos y personas permite la captura de datos y eventos a partir de los cuales: a) se puede aprender del comportamiento de personas y procesos así como del uso de activos; b) reaccionar a través de acciones preventivas o correctivas a estados internos o externos; y c) aumentar o transformar los procesos empresariales.

La arquitectura funcional para IoT se compone de tres capas: percepción, transporte y aplicación. En la capa de percepción se diseñan e implementan plataformas IoT que recolectan datos del mundo real. En la capa de transporte se utilizan diferentes protocolos, redes y conexiones para permitir un enlace machine-to-machine (M2M) que habilita el transporte de los datos desde la capa de percepción a la capa de aplicación. Finalmente, en la capa de aplicación se diseña y despliega la interfaz con los usuarios finales para explotar las prestaciones y funcionalidades de los dispositivos IoT.

Desde la perspectiva operacional, el despliegue de los sistemas IoT en los campos agrícolas se basa en nodos IoT, gateways de comunicación, almacenamiento IoT Cloud y herramientas computacionales para el análisis y visualización de resultados que en conjunto presentan a los productores agrícolas información relevante del estado de sus cultivos para soportar la toma de decisiones informada. El framework de integración, comunicación e interacción de los componente IoT para el sector agrícola se presenta en la Figura 1.

Desde una perspectiva funcional un sistema IoT consta de los siguientes bloques (Tzounis et al., 2017; Sebastian and Ray, 2015):

1. *Dispositivo*: un sistema IoT se basa en dispositivos que proporcionan actividades de detección, actuación, control y monitoreo. Los dispositivos IoT se encargan de recolectar datos que pueden ser procesados de forma local o

enviados a través de la red de comunicación para ser almacenados. Un dispositivo IoT puede constar de varias interfaces para comunicarse con otros dispositivos, tanto cableados como inalámbricos. Estos incluyen:

- interfaz I/O para sensores,
- interfaz para conectividad a Internet,
- interfaz de memoria y almacenamiento, e
- interfaz de audio/video.

2. *Comunicación*: el bloque de comunicación enlaza los dispositivos con servidores remotos centralizados o virtuales en los servicios de cómputo en la nube. Los protocolos de comunicación IoT generalmente funcionan en las capas de enlace de datos, red, transporte y aplicación.
3. *Aplicación*: el bloque de aplicación es la más importante en términos de los usuarios finales del sistema IoT. Las aplicaciones permiten a los usuarios visualizar y analizar el estado actual del sistema de producción agrícola y presentar predicciones o pronósticos de condiciones futuras.

En las siguientes secciones se presenta un análisis comparativo de las tecnologías digitales de bajo costo utilizadas para implementar los bloques funcionales de los sistemas IoT en los campos agrícolas.

3. Plataformas de hardware

Para el despliegue de dispositivos IoT en los campos agrícolas deben considerarse características específicas del sitio físico y del entorno donde se instalarán. Las características físicas y biológicas de los cultivos al igual que obstáculos físicos o artificiales presentes en los ecosistemas agrícolas condicionan el diseño del sistema IoT y afectan su implementación y operación.

En la Tabla 1 se presenta el análisis comparativo de las plataformas de hardware reportadas en la literatura científica considerando los siguientes parámetros: procesador, voltaje, velocidad de reloj, ancho de bus, memoria del sistema, memoria flash, soporte de comunicación, entornos de desarrollo, lenguaje de programación y conectividad I/O.

Arduino Uno, Intel Edison, Beagle Bone Black, NodeMCU y Raspberry Pi son plataformas de hardware de código abierto y de bajo costo que posibilitan el diseño y construcción de nodos de monitoreo para detectar eventos, adquirir datos y medir cambios que se producen en el entorno físico.

La plataforma Arduino Uno es la más popular por su bajo costo, una curva de aprendizaje corta y fácil manejo del entorno de desarrollo. Sin embargo, las posibilidades de procesamiento local de datos se ven limitadas por la cantidad de memoria del sistema y la velocidad del microprocesador. Beagle Bone Black tiene la mayor velocidad de reloj, Intel Edison tiene la mayor cantidad de memoria de sistema y NodeMCU tiene soporte de comunicación WiFi integrado en la placa. Las características técnicas de cada plataforma de hardware son relevantes para la planificación y diseño de los sistemas IoT para el sector agrícola, debido a que ellas determinan las funcionalidades y limitaciones de los nodos desplegados.

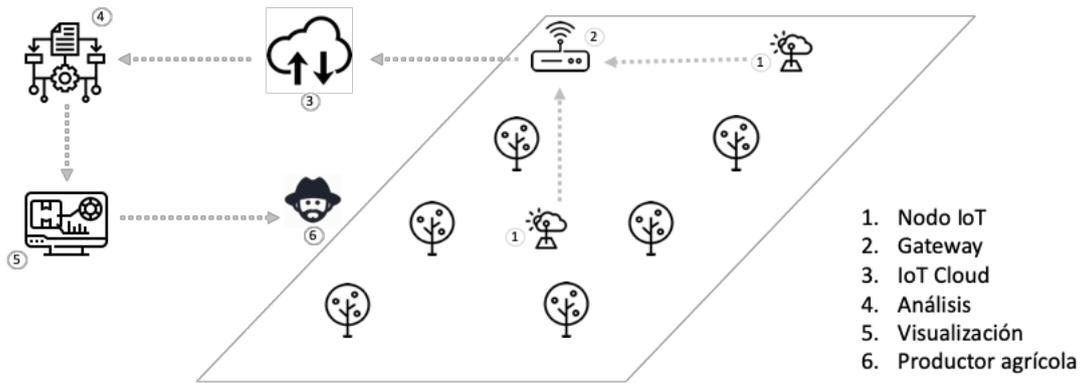


Figura 1: Framework de IoT en el sector agrícola.

Tabla 1: Plataformas de hardware para desplegar IoT en los campos agrícolas.

Plataforma	Arduino Uno	Intel Edison	Beagle Black	Bone	NodeMCU	Raspberry Pi
Procesador	ATMega328P	Intel Quark SoC X1000	Sitara BZCZ100	AM3358	ESP8266/LX106	Broadcom BCM2835 SoC based ARM11 76JZF
Voltaje (Volts)	5	3.3	3.3		3.6	5
Velocidad de reloj (MHz)	16	100	1 GHz		80	700
Ancho de bus (bits)	8	32	32		32	32
Memoria de sistema	2 KB	1 GB	512 MB		20 KB	512 MB
Soporte de comunicación	IEEE 802.11 b/g/n, IEEE 802.15.4, 433RF, BLE 4.0, Ethernet, Serial	IEEE 802.11 b/g/n, IEEE 802.15.4, 433RF, BLE 4.0, Ethernet, Serial	IEEE 802.11 b/g/n, IEEE 802.15.4, 433RF, BLE 4.0, Ethernet, Serial	IEEE 802.11 433RF, IEEE 802.15.4, Ethernet, Serial	IEEE 802.11 b/g/n	IEEE 802.11 b/g/n, IEEE 802.15.4, 433RF, BLE 4.0, Ethernet, Serial
Entorno de desarrollo	Arduino IDE	Arduino IDE, Eclipse, Intel XDK	Debian, Ubuntu, Intel IDE	Android, Cloud9	Arduino IDE	NOOBS
Lenguaje de programación	C, Processing	Wiring, C++, Node.JS, HTML5	C, C++, Python, Perl, Ruby, Java, Node.js		Lua, C, Processing, Python	Python, C, C++, Java, Scratch, Ruby
Conectividad I/O	SPI, I2C, UART, GPIO	SPI, I2C, UART, I2S, GPIO	SPI, UART, I2C, McASP, GPIO		SPI, UART, I2C, I2S, GPIO	SPI, DSI, UART, SDIO, CSI, GPIO

Tabla 2: Tecnologías de comunicación para desplegar IoT en los campos agrícolas.

Tecnología	Estándar	Frecuencia	Velocidad	Rango	Consumo	Seguridad	Costo
WiFi	IEEE 802.11 a/c/b/d/g/n	60 GHz	1 MB a 6.75 GB	20 a 100 m	Alto	WEP, WPA, WPA2	Alto
WiMAX	IEEE 802.16	66 GHz	1 Mb a 100 MB	< 50 Km	Medio		Alto
ZigBee	IEEE 802.15.4	868 MHz, 2.4 GHz	40 a 250 KB	10 a 20 m	Bajo	128 bits	Bajo
Telefonía celular	2G-GSM, CDMA, 3G-UMTS, CD-MA2000, 4G-LTE	865 MHz, 2.4 GHz	2G: 50 a 100 KB 3G: 200 KB 4G: 1 Gb	Red Celular	Medio		Medio
Bluetooth	IEEE 802.15.1	2.4 GHz	1 a 24 MB	8 a 10 m	Bluetooth: Medio BLE: Muy bajo	128 bits	Bajo
LoRa	LoRaWAN R1.0	868 MHz, 900 MHz	50 KB	< 30 Km	Muy bajo		Alto

Para realizar las tareas de monitoreo los nodos deben ser habilitados con sensores específicos en correspondencia con las variables de interés para el sistema IoT. Los sensores pueden ser digitales o analógicos y permiten medir la temperatura ambiental, humedad en el ambiente, presión atmosférica, radiación solar, velocidad del viento, dirección del viento, humedad del suelo, temperatura del suelo, detección de lluvia, cantidad de lluvia, luminosidad y dióxido de carbono entre otros.

En lo que respecta a las acciones y tareas automáticas que el nodo debe realizar para interactuar con el exterior en base a los estados internos o externos se utilizan actuadores que son activados de acuerdo con las reglas implementadas en el sistema IoT.

La selección de la plataforma de hardware y de los sensores determina el consumo de energía, el método de procesamiento de las señales, los tipos de dato de salida y el tipo de comunicación. Además, es necesario considerar los factores del entorno físico (tamaño, materiales a utilizar, fuentes de energía, comunicación, etc.), económicos (costos, tiempo de vida, disponibilidad, etc.) y las características de cada sensor seleccionado (sensibilidad, estabilidad, precisión, etc.).

Por otro lado, los factores medio ambientales como la temperatura, humedad, lluvia y radiación solar pueden afectar el funcionamiento y, en algunos casos, llegan a dañar las plataformas de hardware y sensores. Por ello, el éxito de un proyecto IoT depende de la consideración de dichos fenómenos pues condicionan la selección de los componentes físicos y electrónicos y determinan las adecuaciones a las instalaciones físicas de los nodos y al empaquetado de los componentes.

4. Tecnologías de comunicación

Los protocolos de comunicación son la columna vertebral de los sistemas IoT debido a que permiten la conectividad con la red, entre los mismos dispositivos y el acoplamiento con las aplicaciones.

La elección de los protocolos de comunicación del sistema IoT determina la eficiencia, velocidad y seguridad en la transferencia de los datos, ya que cada protocolo implementa de diferente forma el control de secuencia, control de flujo y retransmisión de paquetes.

En el sector agrícola, IoT se ha implementado con la combinación de distintos protocolos y redes de comunicación de forma generalizada a través de conexiones inalámbricas.

Las tecnologías inalámbricas pueden ser agrupadas en cuatro bloques:

- *Tecnologías tradicionales.* El WiFi y la conectividad celular (2G, 3G y 4G) tienen un alto consumo energético, son ampliamente soportadas y tienen una cobertura amplia.
- *Tecnologías de corto alcance.* ZigBee, Z-Wave y 6Low-Pan son tecnología que han sido claves en el éxito de IoT y requieren de repetidores para ampliar su cobertura.
- *Tecnologías de área personal.* Bluetooth Low Energy (BLE) y Near Field Communication (NFC) son tecnologías sin contacto que ofrecen la conectividad entre objetos y dispositivos móviles permitiendo soluciones de bajo costo.
- *Tecnologías nativas.* Son tecnologías de muy bajo consumo de energía, largo alcance y bajo costo de dispositivos. Dentro de este grupo se consideran:

- Sigfox. Bajo el control de un operador francés que despliega y gestiona su propia red.
- LoRa. Tecnologías que brinda la opción de desplegar redes privadas.
- LTE/4G. Tecnologías optimizadas para aplicaciones de bajo consumo de datos y energía.

En la Tabla 2, se presenta un estudio comparativo de las tecnologías de comunicación que están reportadas en la literatura científica para desplegar IoT en el sector agrícola, se consideran los siguientes aspectos: estándar de comunicación, frecuencia de operación, velocidad, rango de cobertura, consumo de energía, estándares de seguridad y costo.

De la tecnologías de comunicación presentadas WiFi y WiMAX tienen la frecuencia más grande, 60 GHz; la comunicación celular 4G tiene la mayor velocidad, 1 Gb; LoRa tiene un rango de cobertura de hasta 30 Km, siendo el más grande, con un consumo de energía muy bajo. ZigBee es una tecnología popular y ampliamente descrita en la literatura por su bajo costo y fácil implementación; sin embargo, tiene los limitantes de cobertura y velocidad de transmisión.

Para la elección de la tecnología de comunicación, además de las características técnicas descritas es necesario considerar la modalidad de participación e interacción de los usuarios con el sistema IoT ya que ello permite determinar los servicios de comunicación que se necesitan junto con los aspectos de seguridad y costos.

Las tecnologías de comunicaciones inalámbricas proporcionan una amplia variedad de anchos de banda, consumo de energía, seguridad y costos. La variedad de tecnologías y estándares, así como la diferenciación entre proyectos de IoT y sus requisitos específicos, dificultan la interoperabilidad entre diferentes implementaciones.

En el caso particular de los despliegues agrícolas las características de los cultivos y los obstáculos presentes son factores que sumados a los fenómenos de alta temperatura y alta humedad deben ser considerados para la elección de la tecnología de comunicación en la solución a implementar.

5. Servicio de almacenamiento para IoT

Las soluciones de almacenamiento son conocidos como servicios IoT Cloud y ofrecen la captura de datos en tiempo real, visualización y análisis de datos, herramientas para la toma de decisiones y gestión de dispositivos basados en el uso de servidores remotos.

Un estudio comparativo entre plataforma IoT Cloud se presentan en la Tabla 3. Se consideran los aspectos de captura de datos en tiempo real, herramientas de visualización, tipo de servicio, herramientas de análisis y costo por uso.

Los servicios de Xively, ThingSpeak y Plotly son de públicos y gratuitos. ThingSpeak y Plotly tienen herramientas de analítica de datos, mientras que Xively no. Por otro lado, Carriots, Exosite y ThingWorx tienen un costo, proveen de almacenamiento privado y sólo Exosite y ThingWorx tiene herramientas

Tabla 3: Servicios de IoT Cloud para aplicaciones en la agricultura.

Plataforma IoT	Tipo	Analítica	Costo
Xively (xively.com)	Público (IoTaaS)	No	Gratuito
ThingSpeak (thingspeak.com)	Público	Si	Gratuito
Plotly (plot.ly)	Público	Si	Gratuito
Carriots (carriots.com)	Privado (PaaS)	No	Limitado a 10 dispositivos
Exosite (exosite.com)	IoTaaS	Si	2 dispositivos
ThingWorx (thingworx.com)	Privado (IaaS)	Si	Pago por uso

de analítica de datos. Una diferencia adicional para ThingWorx es que está orientado a aplicaciones industriales.

En la elección de la plataforma de IoT Cloud se debe considerar los estándares de comunicación disponibles, las herramientas de analítica de datos y el tipo de aplicaciones a entregar al usuario final.

6. Diseño de sistemas IoT agrícolas

Para el diseño de sistemas IoT para el sector agrícola es relevante determinar la forma en que se implementa la interacción de los usuarios con la tecnología. Es posible implementar tres tipos de interacciones: *i) humano-humano*, en esta modalidad el humano es el responsable de la operación del sistema, de la toma de decisiones y la determinación de las acciones a realizar; *ii) humano-máquina*, en esta modalidad el humano puede visualizar los datos y resultados de los análisis, el sistema sugiere acciones y el humano se encarga de la elección; y, *iii) máquina-máquina*, en esta modalidad el sistema se encarga del funcionamiento de los componentes además de la elección de las tareas y acciones a realizar de forma automática, necesariamente debe entregar reportes al humano.

De esta forma, la modalidad de las interacciones sirven de marco de referencia para el análisis de los requerimiento que se deben cubrir a través de los bloques funcionales del sistema IoT. Las actividades a desarrollar están relacionadas con la definición de los componentes físicos, de monitoreo y de comunicación.

Para la definición de los componentes físicos es importante considerar los requerimientos técnicos (propiedades de los materiales, selección de materiales, restricciones de espacio y forma, fuerza, durabilidad, etc.) así como el diseño del sistema eléctrico/electrónico (sensores, actuadores, indicadores, display, etc.). En el caso de los componentes para las funciones de monitoreo

es importante considerar la selección de la plataforma de hardware junto con el microprocesador, la selección del servicio de almacenamiento de datos, el diseño del sistema de control (control, electrónica, implementaciones de software) y el diseño de las interfaces gráficas para el usuario. Y finalmente, la elección de la conectividad del sistema.

7. Conclusiones

Las plataformas de hardware de código abierto y de bajo costo permiten diseñar sistemas IoT para el sector agrícola que ayudan en la tarea de recolección de datos de los cultivos mediante los sensores. Sus características técnicas determinan las funcionalidades y limitaciones del sistema IoT diseñado.

Las tecnologías de comunicación permiten a los sistemas IoT agrícolas la transmisión de los datos capturados por los sensores a través de la red de comunicación, principalmente para ser almacenados en servidores remotos. La configuración de la conectividad del sistema IoT determina la cobertura, distancia entre nodos, velocidad de transmisión y seguridad de los datos. El almacenamiento del conjunto de datos generado por el sistema IoT puede ser implementando en los servicios de IoT Cloud tanto público como privados. La elección del servicio esta vinculada de forma directa con el tipo de aplicaciones que se desarrollan para los usuarios finales.

Para el diseño de sistemas IoT para el sector agrícola es importante definir las modalidades de interacción entre los usuarios y las tecnologías implementadas para que con esa información se determinen los requerimientos físicos, técnicos y de conectividad necesarios.

Desde un enfoque optimista con la implantación de soluciones de IoT en el sector agrícola, las tierras de cultivo podrán pasar de un modelo de precisión a un modelo de microprecisión en la producción.

En un escenario IoT real, las diferentes características y especificaciones técnicas de las plataformas de hardware, de sensores y actuadores requieren de una definición semántica de los datos que posibilite el intercambio de datos entre sistemas heterogéneos.

Por su parte, las redes de comunicación deben ser protegidas contra la interferencia de otras redes y resolver los problemas de interoperabilidad y filtrado de datos. Y en lo que respecta al almacenamiento, es necesario diseñar una estrategia de integración y análisis que considere la cantidad, calidad y velocidad del conjunto de datos para construir herramientas de toma de decisiones efectivas.

English Summary

Internet of Things (IoT) for the Agricultural Sector.

Abstract

At the global level, the agricultural sector faces challenges related to the effects of climate change, the degradation of natural resources, the decrease of water and available arable land. The application of Information and Communication Technologies integrated with data processing tools offers an innovative alternative for the adaptation of agricultural production systems. The Internet of Things integrates sensor, actuator, communication and data processing technologies to provide the ability to build technological systems that collect and analyze field data to support agricultural producers. The purpose of this article is to present a comparative analysis of the low-cost technologies available for IoT system implementation in agricultural fields considering hardware platforms, communication technologies, IoT Cloud services for data storage and considerations for the system design stage.

Keywords:

Internet of Things, digital agriculture, technological strategy.

Referencias

- Bayala, J., Zougmore, R., Dayamba, S. D., Olivier, A., sep 2017. Editorial for the thematic series in agriculture & food security: Climate-smart agriculture technologies in west africa: learning from the ground AR4d experiences. *Agriculture & Food Security* 6 (1). DOI: 10.1186/s40066-017-0117-5
- FAO, 2015. *Climate-Smart Agriculture: A call for action*. ONU-FAO.
- Hung, M., 2017. *Leading the IoT*. Tech. rep., Gartner.
- Janssen, S. J., Porter, C. H., Moore, A. D., Athanasiadis, I. N., Foster, I., Jones, J. W., Antle, J. M., jul 2017. Towards a new generation of agricultural system data, models and knowledge products: Information and communication technology. *Agricultural Systems* 155, 200–212. DOI: 10.1016/j.agsy.2016.09.017
- Lipper, L., McCarthy, N., Zilberman, D., Asfaw, S., Branca, G. (Eds.), 2018. *Climate Smart Agriculture*. Springer International Publishing. DOI: 10.1007/978-3-319-61194-5
- Pérez-Freire, L., Brillouet, L., 2015. *Smart Farming and Food Safety Internet of Things Applications - Challenges for Large Scale Implementations*. Tech. rep., AIOTI WG06.
- Sebastian, S., Ray, P., 2015. Development of IoT invasive architecture for complying with health of home. *Proceedings of I3CS, Shillong*, 79–83.
- Singh, R., Singh, G. S., sep 2017. Traditional agriculture: a climate-smart approach for sustainable food production. *Energy, Ecology and Environment* 2 (5), 296–316. DOI: 10.1007/s40974-017-0074-7
- Struik, P. C., Kuyper, T. W., aug 2017. Sustainable intensification in agriculture: the richer shade of green. a review. *Agronomy for Sustainable Development* 37 (5). DOI: 10.1007/s13593-017-0445-7
- Sundmaeker, H., Verdouw, C., Wolfert, S., Freire, L. P., 2016. *Internet of Food and Farm 2020*. In: River Publishers (Ed.), *Digitising the Industry*. pp. 129–150.
- Tzounis, A., Katsoulas, N., Bartzanas, T., Kittas, C., dec 2017. Internet of Things in agriculture, recent advances and future challenges. *Biosystems Engineering* 164, 31–48. DOI: 10.1016/J.BIOSYSTEMSENG.2017.09.007
- WEF, 2018. *Internet of Things Guidelines for Sustainability*. Tech. rep., World Economic Forum.
- Zhang, Y., Wang, L., Duan, Y., mar 2016. Agricultural information dissemination using ICTs: A review and analysis of information dissemination models in china. *Information Processing in Agriculture* 3 (1), 17–29. DOI: 10.1016/j.inpa.2015.11.002