



Las opiniones y los contenidos de los trabajos publicados son responsabilidad de los autores, por tanto, no necesariamente coinciden con los de la Red Internacional de Investigadores en Competitividad.



Esta obra por la Red Internacional de Investigadores en Competitividad se encuentra bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 3.0 Unported. Basada en una obra en riico.net.

Ecosistema de datos agrícolas: sector hortícola mexicano

Alejandra Rosales-Soto¹
Ricardo Arechavala-Vargas
Bernardo Jaen-Jimenez

Resumen

El presente artículo estudia la importancia de la implementación de la *big data* y el internet de las cosas en los agronegocios, como elementos esenciales que nutren el ecosistema de datos agrícolas de México. Se examina el estado del arte de la agricultura digital, como una práctica innovadora y se analiza la diferencia entre agricultura inteligente y agricultura de precisión. Este estudio exploratorio resalta la importancia de los ecosistemas de datos abiertos, a través de la analítica de agronegocios, con base en los datos abiertos de cultivos hortícolas en un periodo de 2009-2010, que se producen bajo agricultura protegida, como la producción de jitomate y chile verde, en sistemas de malla sombra, macro túnel e invernadero, mostrando con ello el aumento de su competitividad gracias a la implementación de agricultura inteligente.

Palabras clave: Agricultura inteligente, Ecosistema de datos, horticultura.

Abstract

This article studies the importance of the implementation of big data and the internet of things in agribusiness, such as essential aspects that feed the agricultural data ecosystem in Mexico. The state-of-the-art of digital agriculture is examined as an innovative practice, and it analyzes the distinction between smart agriculture and precision agriculture. This study concludes with the importance of open data ecosystems through agribusiness analytics. Based on open data of horticultural crops as tomatoes and green chilies and peppers from 2009 to 2010. This research is exploratory and aims to emphasize competitiveness through the implementation of smart agriculture.

Keywords: *Data ecosystem, horticulture, smart agriculture.*

Introducción

La innovación es clave para impulsar la productividad, la digitalización ofrece a las PYMES nuevas oportunidades de formar parte de la nueva revolución en la producción. La innovación permite una mayor diferenciación y personalización masiva, con sistemas de cadenas de producción mejor integrados y, en general, con modelos empresariales novedosos, mejorados por la tecnología que aprovechan las distancias y el tiempo más cortos para llegar a los mercados.

¹ Universidad de Guadalajara

En México, las PyMEs aportan alrededor del 60% del PIB, y más del 90% de todas las empresas que operan en México. Coexisten en un mercado sumamente competitivo, desde lo local hasta lo global, y por eso es imperativo desarrollar sus capacidades competitivas es fundamental para lograr no solo el crecimiento, sino la supervivencia de las empresas.

Mejorar el desempeño y la sostenibilidad de las empresas del sector agroindustrial alimentario, es actualmente una necesidad esencial, ya que se requieren organizaciones con un alto desarrollo en aspectos administrativos y tecnológicos que contribuyan al uso racional de los recursos y el acceso a nuevos mercados, estos esfuerzos fortalecen la productividad y competitividad de este tipo de empresas. El reto de la producción sustentable no es una opción es una necesidad, alimentar al mundo de una manera sostenible es una doble necesidad, y la tecnología ayuda a alcanzar este reto.

La agricultura sostenible afronta en la actualidad uno de los desafíos más grandes del planeta: el cambio climático, la lucha contra el hambre, la sobrepoblación o el despoblamiento rural, en todos estos fenómenos la transformación digital puede jugar un rol importante (RRN, 2019). Es ahí donde la digitalización a través del uso de datos abiertos en el sector agrícola puede generar un ecosistema de datos para mejorar la eficiencia y producción de una mayor cantidad de alimentos respetando el medio ambiente.

El concepto de ecosistema de datos puede definirse como un conjunto de redes compuestas por organismos autónomos que directa o indirectamente consumen, producen, o proporcionan datos y otros recursos relacionados; cada actor desempeña uno o más roles y está interconectado a través de relaciones, de tal manera que la colaboración y la competencia de los organismos promueven la autorregulación del ecosistema de datos (Oliveira y Farias Lóscio, 2018, p. 4).

A partir del año 2011, el Gobierno de México crea el sistema de Datos Abiertos (Gobierno MX, 2019), donde provee un amplio conjunto de datos gratuitos y de libre uso, contiene, entre mucha más información estadística de producción agrícola, a través de diversos sitios. Esta plataforma de datos, permite que los productores y agricultores puedan obtener beneficios de forma ilimitada, sin embargo, aunque el acceso es gratuito, en muchas ocasiones es difícil la interpretación de los datos.

Es este contexto, este documento tiene como objetivo analizar la competitividad del sector hortícola de México, específicamente de la producción por agricultura protegida del jitomate y el chile verde, a partir de la analítica de agronegocios y el ecosistema de datos abiertos agrícolas.

El presente trabajo corresponde a un estudio exploratorio. Las etapas de esta investigación se incluye una fase documental porque se realiza una búsqueda, revisión y selección de

publicaciones en artículos científicos y libros e identifica reportes en redes sociales, revistas y periódicos digitales sobre agricultura digital, agricultura inteligente y la implementación de tecnologías agrícolas y es descriptivo porque se obtienen datos estadísticos de la producción y tipos de producción de agricultura protegida de diversas variedades hortícolas.

En este estudio se utiliza una estrategia de investigación secuencial basada en la combinación de métodos mixtos, de acuerdo a Creswell y Creswell (2018), donde a través del cruce de información cuantitativa y cualitativa se describe la importancia y el impacto de la tecnología y la *big data* en la agroindustria. Para realizar un análisis de inteligencia de agronegocios, se utiliza el software Power BI, específicamente del sector hortofrutícola utilizando las bases de datos abiertos que ofrece el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2020), de la producción hortícola mexicana, específicamente en la producción de jitomate y chile verde, cultivos en los cuales se implementan nuevas tecnológicas por ser cultivos de exportación y que generan una derrama económica significativa para nuestro país.

La estructura del documento es la siguiente: primero, se definen los ecosistemas de datos y se brindan algunos fundamentos teóricos acerca de la aplicación de la *big data* y el internet de las cosas en el sector agrícola, la conceptualización de agricultura de precisión y agricultura inteligente y el ecosistema de datos abiertos en México; segundo se indica la metodología utilizada en la investigación; tercero, se presentan y discuten los resultados obtenidos; y finalmente, la última sección indica las conclusiones, limitaciones del estudio y se describe el trabajo futuro.

1 Marco conceptual

Los datos son ahora una mercancía, un valioso recurso a nivel mundial, lo que dio lugar a un nuevo entorno, llamado Ecosistemas de Datos (DE). De acuerdo a Zuiderwijk, Janssen & Davis (2014) los Ecosistemas de Datos están compuestos por complejas redes de organizaciones e individuos que intercambian y utilizan datos como recurso principal, convirtiéndose así, en un nuevo campo de investigación, alimentado por las nuevas tecnologías de la información y la comunicación (NTICs) estos ecosistemas han permitido la creación de nuevos modelos de negocio y procesos para el consumo, la colaboración y la innovación, a partir de los datos.

Los beneficios que se esperan con los DE incluyen mejoras en la calidad de vida y la confianza social, el crecimiento económico, el apoyo a los procesos de formulación de políticas públicas y la mejora de los servicios a los ciudadanos (Dawes, Vidiasova y Parkhimovich, 2016; Smith, Ayaba-Ofe, Sandberg, 2016); además de beneficios relacionados con los aspectos económicos, como la creación de nuevas oportunidades comerciales mediante el uso de datos y servicios de datos, así como la facilitación de la innovación y la creación de valor (Ha, Lee y Lee, 2014). Es necesario resaltar que los ecosistemas de datos facilitan el consumo y producción de datos, a

través de su procesamiento con analítica de datos, es decir a través de diversas técnicas de recopilación, extracción e interpretación de los datos, con el fin de mejorar la productividad y el beneficio empresarial.

Para satisfacer la demanda mundial de alimentos en los próximos años, el uso de Internet de las Cosas, la red que conecta diversos dispositivos para intercambiar información, junto con Analítica de Datos va en aumento (Dawes, *et al.*, 2016). Al 2020, se estimaba que la instalación de dispositivos de Internet de las Cosas en el sector agrícola aumentaría en un 214% de 30 millones en 2015 a 75 millones en 2020.

El uso del internet de las cosas y la analítica de datos permiten una agricultura inteligente que pueden aumentar la eficiencia operativa y el rendimiento (Ding, *et al.*, 2011; Easterbrook, Singer, Storey y Damian, 2008).

1.1 Ecosistemas de datos

Diversos autores a través de los años han definido a los ecosistemas de datos, algunos de los más relevantes:

- Un ecosistema de datos es una especie de sistema basado en datos, en el que los interesados encuentran, administran, archivan, publican, reutilizan, integran, mezclan y consumen datos en relación con las herramientas, servicios y comunidades en línea (Ding *et al.*, 2011).
- En un ecosistema hay ciclos de datos, los consumidores intermedios, como los buscadores de datos y los desarrolladores de aplicaciones, pueden compartir sus datos limpios e integrados en el ecosistema de forma reutilizable y son a menudo más valiosos que la fuente original (Pollock, 2011).
- Un Ecosistema de Datos está compuesto por muchos elementos y pequeñas estructuras organizacionales que deben reconocer los datos como la materia prima que está en un proceso y es capaz de alimentar el ecosistema, proporcionando beneficios a todos los involucrados (Zubcoff, Llorenç, Garrigós, Mazón-López, Guilló, y Maciá Pérez, 2016).
- Los Ecosistemas de Datos consisten en la publicación y divulgación de datos en Internet, en las que los usuarios pueden realizar actividades como búsqueda, identificación, evaluación y visualización de datos para la limpieza, análisis, enriquecimiento, combinación, vinculación y visualización de datos (Zuiderwijk-van Eijk, Janssen, van de Kaa y Poulis, 2016)

Por lo tanto, de acuerdo a estas definiciones, los ecosistemas de datos dependen de un vasto y heterogéneo conjunto de entidades o fuentes, cada una con diferentes propiedades, capacidades y expectativas. Del mismo modo, los recursos de los Ecosistemas de Datos son heterogéneos. Por ejemplo, los conjuntos de datos son heterogéneos en lo que respecta a cuestiones

estructurales (esquema), sintácticas (formato) y semánticas (significado). Los usuarios pueden producir y consumir recursos utilizando diferentes actividades y en diferentes condiciones.

Además, muchos de estos elementos son dinámicos y evolucionan con el tiempo. Por lo que la adquisición y selección de una enorme cantidad de datos a través de la *big data*, para procesarlos como información y asimilarlos como conocimiento, se ha vuelto un desafío, al momento de que nuestros recursos y capacidades se ven limitados.

1.2 Aplicación de la *big data* en la Producción Agrícola

Actualmente la sociedad se enfrenta a una tremenda ola de innovación, productividad y crecimiento, así como a nuevos modos de competencia y de captura de valor, todo ello impulsado por *Big Data* (Manyika, 2011). El acceso a la *big data*, el cual es un conjunto de datos grande, diverso y/o complejo es generada a partir de una variedad de fuentes como, las transacciones por Internet, el correo electrónico, vídeos, flujos de clics y/o todas las demás fuentes digitales (National Science Foundation, 2012).

El uso de las nuevas tecnologías de la información y la comunicación (NTICs) pueden contribuir en conjunto, a resolver las principales preocupaciones relacionadas con la agricultura, como el acceso a la información, el intercambio de aptitudes y conocimientos, la inocuidad alimentaria y el control de plagas en los cultivos, garantizando la seguridad ambiental y el uso sostenible de los recursos naturales. Se estima, que ningún otro sector sea tan atractivo para las grandes innovaciones basadas en datos, como lo es el sector agrícola (Wolfert, Verdouw y Boodardt, 2017; Sonka, 2015; Gilpin, 2014). Es ahí donde, la industria agroalimentaria exige algún proceso inteligente adicional para mejorar el dinamismo de su producción.

De acuerdo a la CEPAL (2020) la agricultura digital está estrechamente asociada a: i) la recolección y el tratamiento de una gran cantidad de datos, que hace posible la optimización y racionalización de decisiones y uso de recursos y ii) al intercambio *peer to peer*, que rompe con el aislamiento tradicional de los agricultores y que permite emerger otros modos de gobernanza y de coordinación colaborativas, en donde pueden interactuar una gran cantidad de organismos.

Los avances en el concepto de agricultura inteligente hacen que la agricultura sea más eficiente y eficaz con la ayuda de algoritmos de alta precisión (Baseca, Sendra, Lloret y Tomas, 2019). Lo que significa que, la industria agrícola está siendo transformada mediante la inteligencia artificial y la ciencia de los datos. Actualmente la industria agrícola se enfrenta a la recopilación de datos agrícolas fiables para la toma de decisiones, lo que la vuelve una industria inteligente.

1.2.1 Agricultura de precisión

La agricultura de precisión (AP) es una técnica de administración que reúne, procesa y analiza datos de carácter temporal y espacial y los combina con otra información para apoyar la toma de decisiones (ISPA, 2019). Estos sistemas reúnen información que se utiliza para tomar decisiones con mayor precisión y optimizar el rendimiento de los cultivos (Baseca, *et al.*, 2019).

Es por ello que, la AP es la práctica agrícola moderna que hace que la producción de cultivos sea más eficiente, a través del uso de las tecnologías de Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), sensores y satélites.

La tecnología de AP ayuda a mejorar la eficiencia en el uso de los recursos, la productividad, la calidad, la rentabilidad y la sostenibilidad de la producción agrícola. Con la AP se obtiene información detallada sobre las características del cultivo, permitiendo optimizar la administración de una parcela, desde el punto de vista agronómico, medioambiental y económico.

Gracias a la rápida evolución del Internet de las cosas y el *Cloud Computing* ocurre una nueva práctica moderna importante denominada Agricultura Inteligente (Sundmaeker, Verdouw, Wolfert y Perez Freire, 2016).

1.2.2 Agricultura inteligente

El concepto de Agricultura Inteligente (AI) puede emplearse como un tablero de Inteligencia de negocios, por sus siglas en inglés *Business Intelligence (BI)*, donde el agricultor puede obtener la información más reciente de los productos básicos en los que está interesado.

La agricultura inteligente es la aplicación de las nuevas tecnologías de la información y las comunicaciones (*NTICs*) centrada en un enfoque basado en los datos para hacer frente a los desafíos y oportunidades existentes en la agricultura (Hoste, Suh, y Kortstee, 2017; Smart-Akis, 2016; Sundmaeker, 2016).

El concepto de Agricultura Inteligente está relacionado con al menos seis objetivos de desarrollo sostenible de las Naciones Unidas, tal y como se representa en el gráfico 1.

Gráfico 1. Interrelaciones entre la agricultura inteligente y los Objetivos de Desarrollo Sostenible.



Fuente: Elaboración propia, autores diversos.

La Agricultura Inteligente coincide con los 17 objetivos de desarrollo sostenible de las Naciones Unidas (Ciruela-Lorenzo, Del Águila-Obra, Padilla Meléndez y Plaza-Anguiano, 2020; FAO, 2020). Los 6 objetivos principales que impacta son: i) Objetivo 3: Salud y bienestar: Mediante AI se tiene una mejor gestión de plaguicidas, reduciendo enfermedades por contaminación del agua, aire y suelo); ii) Objetivo 8: Trabajo decente y crecimiento económico: La AI procura mejorar la eficiencia en el uso de los recursos en la producción de alimentos; iii) Objetivo 9: Industria, innovación, e infraestructura: La AI desarrolla una infraestructura sostenible con vías que conectan a los agricultores con los mercados o centros de distribución; iv) Objetivo 11: Ciudades y comunidades sostenibles: como parte de un plan de mitigación o adaptación al cambio climático en las ciudades, la AI promueve el compostaje de materiales orgánicos producidos en la ciudad y utilizado en las granjas cercanas; v) Objetivo 12: Consumo responsable y producción: La AI promueve un uso eficiente y sostenible de los recursos en la producción de alimentos, incluido el reciclado de desechos, así como la administración de agroquímicos y; vi) Objetivo 13: Acción Climática: sin duda la AI se centra en el fortalecimiento de la capacidad de adaptación al clima y la reducción de emisiones de gas de efecto invernadero, como parte de la mitigación al cambio climático.

A medida que la Big Data emerge en el sector de la agroindustria, grandes empresas agrícolas como Monsanto y John Deere, desde el año 2012, han gastado cientos de millones de dólares en tecnologías que utilizan datos detallados sobre el tipo de suelo, la variedad de las semillas y el

clima para ayudar a los agricultores a reducir los costos y aumentar los rendimientos (Faulkner y Cebul, 2014).

La Agricultura Inteligente implementa el uso de diversas tecnologías como sensores, analítica de datos y robótica, tal y como se puede observar en la tabla 1.

Tabla 1. Aplicación de la Agricultura Inteligente

Tecnología	Aplicación	Autores
Sensor y monitoreo inteligente	Agricultura de Precisión, Teledetección, Monitoreo del Suelo, agua, iluminación, humedad, temperatura	Wolfert <i>et al</i> (2017), Hoste, Suh y Korstee (2017); Jørgensen <i>et al</i> (2016); Faulkner y Cebul, (2014); Pixia y Xiangdong (2013); Paparozzi (2013); Rode P. C., et al., (2010);
Analítica de datos	Plataformas de Internet de las cosas, <i>big data</i> , <i>analítica de negocios</i> , Inteligencia artificial, censo agrícola, información del mercado	CEPAL (2020); Maya-Gopal y Renta Chintala (2020); Lioutas et al., (2019); Ozdogan, Gacar y Huseyn (2017); Bronson y Knezevic (2016)
Robótica	Tractores autónomos, plantas de tratamiento, recolección de la cosecha, automatización	Hoste, Suh y Korstee (2017); King (2017); Duckett, <i>et al.</i> , (2018)

Fuente: Elaboración propia a partir de diversos autores.

Con el desarrollo de los sensores agrícolas, la comunicación inalámbrica, la computación en nube, aprendizaje de máquinas y tecnologías de Big Data, la tecnología del Internet de las cosas ha surgido y se está promoviendo y aplicando gradualmente en el campo de la agricultura protegida (Mekala y Viswanathan, 2017; Wolfert, *et al.*, 2017).

Lo valioso de estos datos puede reflejarse en cuatro dimensiones: volumen, velocidad, variedad y veracidad (Zhou, Fu y Yang, 2016). Las técnicas más utilizadas para tratar la *Big Data* son el procesamiento de imágenes, la modelización y la simulación, el aprendizaje automático, el análisis estadístico y los sistemas de información geográfica (Shi et al., 2019).

El mecanismo utilizado en la agricultura inteligente es el *Machine Learning*, el campo científico que da a las máquinas la capacidad de aprender sin mucha programación, el cual ha surgido

junto con las grandes tecnologías de datos y la informática de alto rendimiento para crear nuevas oportunidades de facilitar, cuantificar y comprender los procesos intensivos en datos en los entornos operativos agrícolas. Los avances indican que la agricultura puede beneficiarse del aprendizaje de las máquinas en todas las etapas, como la administración de semillas, campos, cultivos y cosecha.

La inteligencia artificial y el *machine learning* se utilizan en varias aplicaciones agrícolas actuales, entre ellas los algoritmos de predicción del rendimiento basados en datos meteorológicos y de rendimiento histórico, los algoritmos de reconocimiento de imágenes para detectar plagas y enfermedades en las plantas y la robótica para cosechar diferentes tipos de cultivos especializados (Tibbetts 2018).

1.3 Ecosistema de Datos Abiertos en México

En años recientes, México pone a la disposición el acceso a los datos abiertos (Gobierno MX, 2016), datos gratuitos y de libre uso, como parte del programa “alianza para el gobierno abierto”, una iniciativa fundada en el 2011 e integrada por 79 gobiernos a nivel mundial (Gobierno Abierto MX, 2019), en el cual se facilita el acceso a la estadística de producción agrícola, a través de diversos sitios: i) a nivel internacional el *International Trade Centre* (2020) y FAOSTAT (2019); ii) a nivel nacional el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2020); y iii) a nivel estatal el Monitoreo de indicadores del desarrollo de Jalisco (MIDE, 2016). Gracias a los datos extraídos de estas plataformas en línea, los productores y agricultores pueden obtener beneficios de forma ilimitada; sin embargo, aunque el acceso es gratuito, en muchas ocasiones es difícil la interpretación de los datos.

La FAO además de ofrecer el acceso libre a datos estadísticos sobre alimentación y agricultura de más de 245 países (FAOSTAT, 2019), promueve una plataforma llamada TECA (FAO, 2020), la cual reúne tecnologías y prácticas agrícolas exitosas para facilitar la adopción y el intercambio del conocimiento para ayudar a los agricultores y sus familiares en el campo, contribuyendo a los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, como: i) Objetivo 1: fin de la pobreza; ii) Objetivo 2: hambre cero; iii) Objetivo 3: salud y bienestar y; iv) Objetivo 12: producción y consumo responsables (NU, 2015). Es así que se alimenta un ecosistema de datos agrícolas.

En la Agricultura Inteligente, las tecnologías digitales ayudan al monitoreo continuo y la medición del entorno físico. Esto da lugar a grandes cantidades de datos que requieren la recopilación, el almacenamiento, el pre-procesamiento, la modelización y el análisis en gran escala. Recientemente, el término "agricultura digital" se ha utilizado para abarcar los conceptos de agricultura inteligente, agricultura de precisión, agricultura de decisión y Agricultura 4.0 (Klerkx, Jakku y Labarthe, 2019).

Los grandes datos agrícolas no tendrán ningún valor real sin el análisis de los grandes datos (Sun, Du, Zheng y Yin, 2013). Para obtener los análisis de Big Data, es necesario integrar los datos de diferentes fuentes. En este proceso, es probable que surjan problemas de calidad de los datos debido a errores y duplicaciones en los datos.

Resultados y discusión

La industrialización de la agricultura se ha expandido mucho en las décadas anteriores. Las explotaciones agrícolas y las empresas del sector alimentario se están desarrollando hacia industrias de alta tecnología que se caracterizan cada vez más por la producción a gran escala y el uso intensivo de la tecnología (Sundmaeker, et al., 2016).

La aplicación de Internet de las Cosas en la agricultura consiste en dar una herramienta a los productores y agricultores que, gracias al uso de las tecnologías de automatización, le permita validar una toma de decisiones, a través de una plataforma que integre perfectamente el producto, el conocimiento y los servicios para mejorar la productividad y la calidad y por tanto la competitividad en la industrial.

Para la analítica de datos, existen diversas opciones en el mercado como Tableau (2020), Qlik (2020) o Power Bi (2020), las cuales facilitan la visualización de los datos, ya sea a manera de gráficos, mapas o tablas. Por ello, se presenta un análisis de la producción de diversos productos hortofrutícolas, pudiendo destacar su desempeño gracias a la implementación de agricultura inteligente.

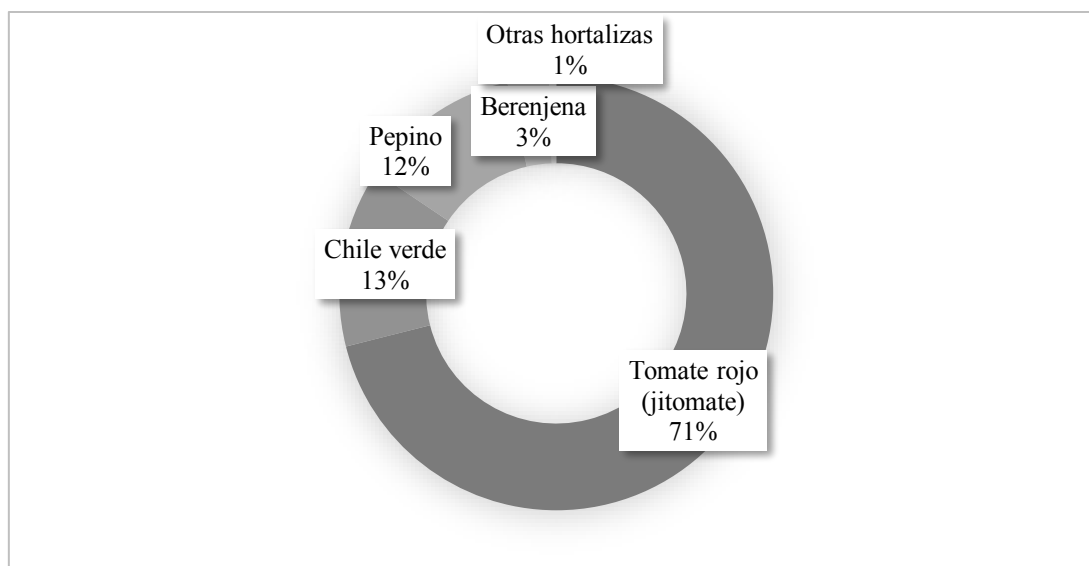
El principal objetivo de la visualización de datos es transmitir la información o el conocimiento, que se encuentran en los complejos y grandes conjuntos de datos de forma visual (Rice, 2018). La presentación de los datos es crucial, ya que el usuario final se esfuerza por extraer la información vital de los datos generados de diversas fuentes, porque suelen ser desestructurados y heterogéneos.

La agricultura protegida México está en crecimiento, a medida que los productores toman cada vez más conciencia de los beneficios en materia de producción, calidad, lucha contra las plagas y reducción de la exposición a los riesgos del cambio climático, se opta por los sistemas de invernadero, macro túnel y malla sombra. Esta transición es acogida por el Gobierno de México, que considera los beneficios de introducir este método de producción en las zonas rurales como una forma de desarrollo social.

El sector hortofrutícola, es beneficiado por los sistemas de agricultura protegida. Las inversiones en agricultura protegida buscan mejorar los niveles de rentabilidad en la producción, principalmente en la que se destina al mercado de exportación (FIRA, 2017). El gráfico 2

muestra la producción nacional de hortalizas en el ciclo agrícola 2019 y su porcentaje de producción en sistemas de invernadero.

Gráfico 2. Producción nacional de hortalizas en sistemas de invernadero 2019.

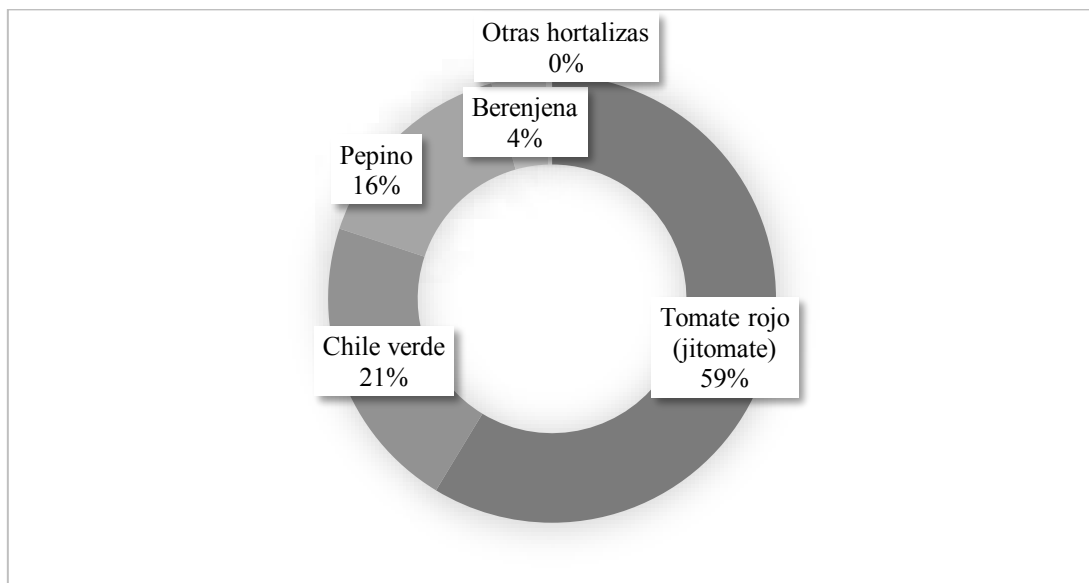


Fuente: Elaboración propia con datos extraídos de SIAP (2020).

Los principales productos hortícolas que se producen bajo sistemas de invernadero para consumo nacional y de exportación durante el 2019 son el jitomate (71.06%), la variedad de chile verde (serrano, poblano, pimiento morrón, manzano, habanero y húngaro) en un 13.36%, la producción de pepino en un 11.95%, la berenjena en un 3.05% y el resto son productos como la lechuga, la col, la calabacita y el brócoli.

La producción en malla sombra también ha tenido un crecimiento significativo, en el gráfico 3 se muestra la producción nacional de hortalizas y su porcentaje de producción en sistemas de malla sombra durante el ciclo agrícola 2019.

Gráfico 3. Producción nacional de hortalizas en malla sombra 2019.



Fuente: Elaboración propia con datos extraídos de SIAP (2020).

Los principales productos hortícolas que se producen bajo sistemas de malla sombra para consumo nacional y de exportación durante el 2019 son el jitomate 58.67%, la variedad de chile verde (anaheim, chilaca, habanero, húngaro, jalapeño, morrón, poblano y serrano) en un 21.14%, el pepino en un 15.55%, la berenjena en un 3.92% y el resto son productos como el apio, la calabacita, el chícharo, la coliflor y el ejote. Como se puede observar tanto en sistemas de malla sombra como invernadero, el jitomate o tomate rojo es el cultivo principal como hortaliza en agricultura protegida y es además un productor líder de exportación. La ilustración 3 muestra los estados productores de jitomate en el ciclo agrícola 2019.

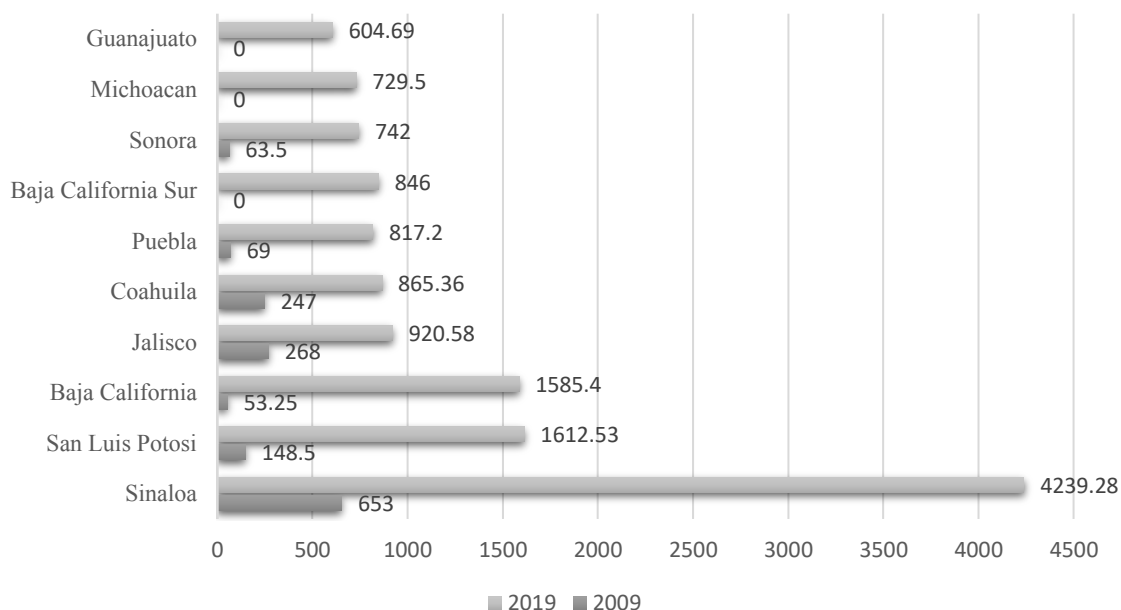
Gráfico 4. Estados productores de jitomate por agricultura protegida 2019.



Fuente: Elaboración propia con software *Power Bi* y Cifras de SIAP (2020).

La visualización utilizada con el software *Power BI* es Map, donde la saturación del color indica el nivel de participación de cada estado, ubicando en escala de grises a los 29 estados con producción de jitomate con agricultura protegida. Aunque los 32 estados producen jitomate, durante los últimos 10 años, la extensión del cultivo por agricultura protegida ha pasado de una participación de 199 municipios con 2156.98 ha a 673 municipios con 16,358 ha en 2019. Los principales estados que aportan 40 % de hectáreas sembradas a nivel nacional bajo agricultura protegida durante el 2019 son Sinaloa (22.90%), San Luis Potosí (8.71%) y Baja California (8.71%), tal como se puede observar en el gráfico 5.

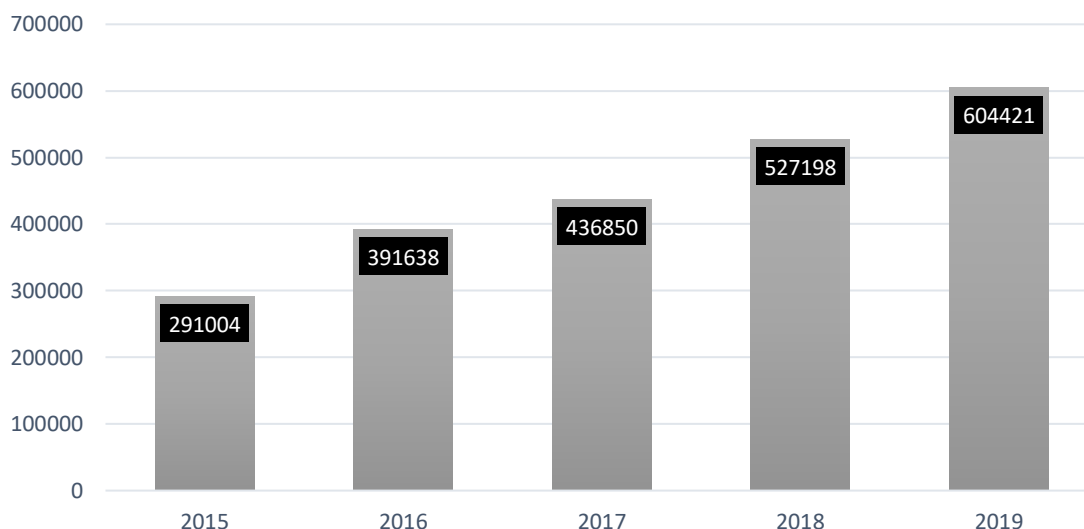
Gráfico 5. Hectáreas sembradas de jitomate por agricultura protegida de los 10 principales estados. 2009-2019



Fuente: Elaboración propia con software *Power Bi* y Cifras de SIAP (2020).

Tanto el volumen de producción como la superficie sembrada en nuestro país está fuertemente influenciada por el comportamiento del país vecino, los Estados Unidos, ya que los productores tratan de plantar sólo lo que el mercado americano importa, además de abastecer el mercado nacional. Otro de los cultivos que llevan una tendencia creciente bajo el sistema de agricultura protegida es el chile verde y sus diversas variedades, tal y como se puede observar en el gráfico 6.

Gráfico 6. Volumen de producción de chile verde por agricultura protegida 2015-2019.

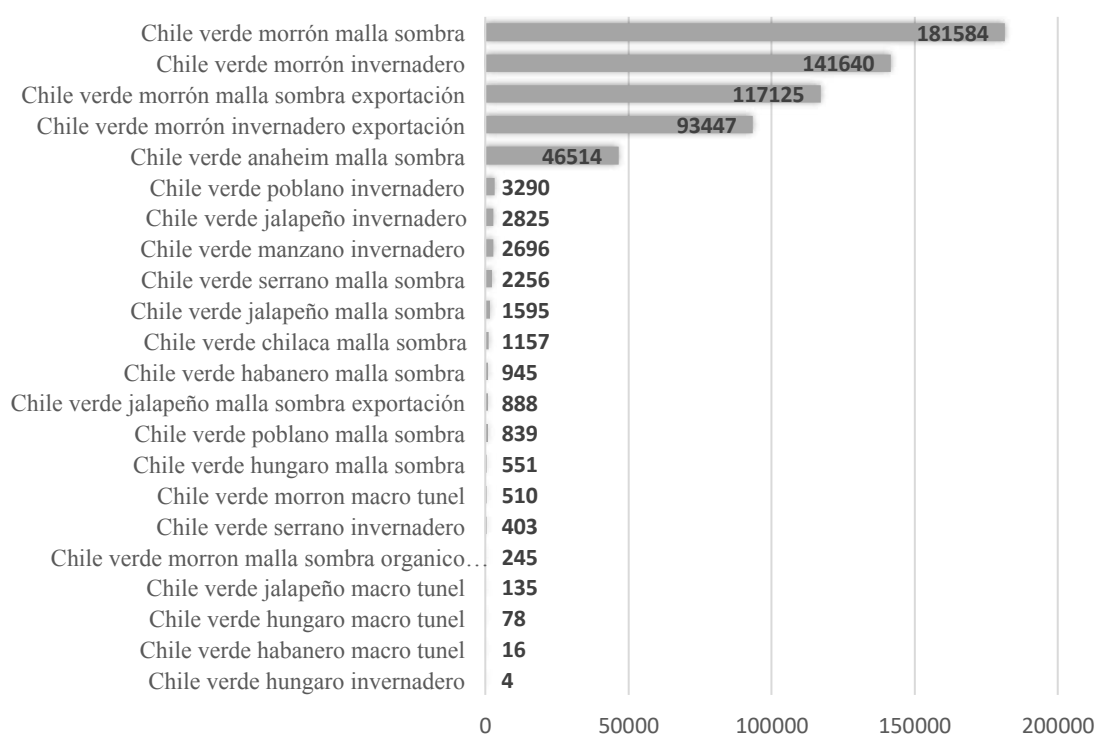


Fuente: Elaboración propia con software *Power Bi* y Cifras de SIAP (2020).

Se puede observar un crecimiento anual en el volumen de producción de chile verde, bajo sistema de agricultura protegida, su producción ha aumentado alrededor de un 200% en los últimos 5 años, pasando de las 291,004 toneladas en el ciclo agrícola 2015, a 604,421 toneladas en el ciclo agrícola 2019. La aportación del volumen total en el 2019, es de 3 estados principales: Sinaloa (57%), Sonora (14%) y Guanajuato (8%).

Existen 9 variedades de chile verde bajo agricultura protegida como lo son el anaheim, chilaca, habanero, húngaro, jalapeño, manzano, morrón, poblano y serrano. En el gráfico 7, puede observarse el volumen en toneladas de cada variedad por malla sombra, macro túnel e invernadero.

Gráfico 7. Volumen de producción de variedades de chile verde bajo agricultura protegida 2019.



Fuente: Elaboración propia con software *Power Bi* y Cifras de SIAP (2020).

Las variedades principales para el ciclo agrícola 2019 son chile verde morrón en malla sombra (30%), chile morrón en invernadero (23%), chile morrón en malla sombra para exportación (19%) y chile morrón invernadero para exportación (15%).

El entorno de la agricultura protegida está total o mayoritariamente controlado artificialmente y ha roto en cierta medida los límites de las condiciones climáticas y terrestres para el crecimiento de los animales y las plantas. Por ello se denomina también agricultura controlable. En comparación con la agricultura a cielo abierto, la agricultura protegida tiene más potencial para

aplicar la tecnología del Internet de las cosas, porque se ve menos afectada por factores climáticos y geográficos.

Sin duda, la producción hortícola de México, tiene una tendencia a entornos de agricultura protegida, que le ayuda a controlar plagas y a mitigar los efectos del cambio climático.

Conclusiones

Este trabajo se propuso como objetivo analizar la competitividad del sector hortícola de México, específicamente de la producción por agricultura protegida del jitomate y el chile verde, a partir de la analítica de agronegocios y el ecosistema de datos abiertos agrícolas.

Los principales hallazgos apuntan que con el reciente uso de las nuevas tecnologías de la información y la comunicación (NTICs), la industria agrícola mexicana se propone producir más con menos recursos, con agricultura inteligente. Los sistemas de control del clima, los sistemas de control de procesos de maquinaria y logística, las aplicaciones para teléfonos inteligentes de horticultura, los sistemas de registro y análisis de la mano de obra y muchas otras soluciones de TICs ayudan a los productores a operar de la manera más eficiente posible con un uso mínimo de recursos y obteniendo al mismo tiempo el máximo rendimiento, a través de agricultura protegida, bajo sistemas de invernadero, malla sombra y macro túnel.

A medida que la *big data* y el internet de las cosas aparecen en las granjas con la implementación de maquinaria, sensores inteligentes, tractores autónomos, los datos se alimentan, creciendo en cantidad y alcance, es así como los procesos serán cada vez más impulsados y habilitados por los datos, promoviendo una mayor rentabilidad.

En resumen, los ecosistemas de datos abiertos, facilitan la inteligencia de agronegocios, estableciendo lo siguiente:

Primero, México posee las condiciones agronómicas necesarias para la producción de hortalizas, siendo líder en Latinoamérica, en la producción de jitomate y chile verde para consumo nacional y exportación en sus diferentes variedades a más de 30 países, es así que se demuestra que existe una tendencia en la industria hortícola, de producir en sistemas de agricultura protegida, especialmente en malla sombra e invernadero, dando como resultado un mejor uso de los recursos: suelo, agua, plaguicidas y fertilizantes y obteniendo mejores rendimientos.

Segundo, la agricultura inteligente va más allá del concepto de agricultura de precisión, ya que basa las tareas de administración no sólo en el lugar sino también en los datos, mejorados por el conocimiento del contexto y la situación, desencadenados por los acontecimientos en tiempo real.

Tercero, la agricultura inteligente representa una oportunidad para atender los objetivos de la Organización de las Naciones Unidas, para contribuir a mejorar la calidad de vida de la sociedad con el incremento de la producción de alimentos que otorguen salud y bienestar y así mismo, permitan la generación de empleos; una mejora en el medio ambiente con producción y consumo responsable y; una industria que innove y mejore su infraestructura.

Por último, el ecosistema agrícola de datos abiertos, permite de una manera dinámica e inteligente realizar análisis de datos y generación de reportes, que le permiten al productor y al agricultor, identificar la tendencia en cultivos y formas de cultivos, por regiones, volumen y valor de la producción y tener un respaldo en su toma de decisiones. Tal y como se presentó, a través de visualizaciones en herramientas de software de inteligencia de agronegocios.

Referencias

- Baseca, C. C., Sendra, S., Lloret, J. y Tomas, J. (2019). A Smart Decision System for Digital Farming. *Agronomy*, 9(5), 216.
- CEPAL (2020). *Perspectivas de la agricultura y del desarrollo rural en las Américas: una mirada hacia América Latina y el Caribe 2019-2020*.
- Ciruela-Lorenzo, A. M., Del-Aguila-Obra, A. R., Padilla-Meléndez, A. y Plaza-Angulo, J. J. (2020). Digitalization of agri-cooperatives in the smart agriculture context. Proposal of a digital diagnosis tool. *Sustainability*, 12 (4)
- Dawes, S., Vidasova, L. y Parkhimovich, O. (2016). Planning and designing open government data programs: An ecosystem approach. *Government Information Quarterly*, 33(1):15–27
- Ding, L. *et al.*, (2011). TWC LOGD: A portal for linked open government data ecosystems. Web Semantics. *Science, Services and Agents on the World Wide Web*, 9 (3), 325-333
- Duckett, T., Pearson, S., Blackmore, S., Grieve, B., Chen, W.-H., Cielniak, G., ... Yang, G.-Z. (2018). Agricultural Robotics: The Future of Robotic Agriculture. *Robotics & Autonomous systems*,
- Easterbrook, S., Singer, J., Storey, M. A. y Damian, D. (2008). Selecting empirical methods for software engineering research. *Guide to advanced empirical software engineering*. Springer, 285–311
- FAO (2019). Climate-smart agriculture and the sustainable development goals. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*.
- FAO (2020). TECA – Tecnologías y prácticas para pequeños productores agrícolas. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- FAOSTAT (2019). Datos sobre alimentación y agricultura. *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*.
- FIRA (2017). *Panorama Agroalimentario Tomate Rojo 2017*. Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura.

- Faulkner, A. y Cebul, K. (2014). Agriculture Gets Smart: The Rise of Data and Robotics, Cleantech Agriculture Report. *Cleantech Group*. 1-6
- Gilpin, L. (2014). How Big Data Is Going to Help Feed Nine Billion People by 2050. *TechRepublic*. 1-12.
- Gobierno Abierto MX (2019). ¿Qué es? Alianza para el gobierno abierto de México. Gobierno de México. Recuperado de: <http://dgti-transparencia-gobierno-abierto-staging.k8s.funcionpublica.gob.mx/quienes-somos/>
- Gobierno MX (2016). ¿Qué son los datos abiertos? Gobierno de México. Recuperado de: <https://datos.gob.mx/blog/que-son-los-datos-abiertos?category=casos-de-uso>
- Ha, S., Lee, S. y Lee, K. (2014). Standardization Requirements Analysis on Big Data in Public Sector based on Potential Business Models. *International Journal of Software Engineering and Its Applications*, 8 (11), 165–172.
- Hoste, R., Suh, H. y Kortee, H. (2017). Smart farming in pig production and greenhouse horticulture. An inventory in the Netherlands. *Wageningen University and Research*, 42.
- ITC (2020). International trade statistics 2001-2020. *The International Trade Centre*. Recuperado de: <https://www.intracen.org/itc/market-info-tools/trade-statistics/>
- Jensen, M. H. y Malter, A.J. (1995). *Protected Agriculture: A Global Review*. World Bank Publications.
- King, A. (2017). The future of agriculture. *Nature*, 544, 21-23.
- Manyika, J. (2011). Big Data: The next frontier for innovation, competition, and productivity. *McKinsey Global Institute*.
- Maya-Gopal, P. S. y Chintala, B. R. (2020). Big Data Challenges and Opportunities in Agriculture. *International Journal of Agricultural and Environmental Information Systems*, 11(1), 48-66.
- Mekala, M.S. y Viswanathan, P. (2017). A Survey: Smart agriculture IoT with cloud computing. In *Proceedings of the 2017 International conference on Microelectronic Devices, Circuits and Systems*, 1–7.
- MIDE (2016). Monitoreo de indicadores del Desarrollo de Jalisco. Recuperado de: <https://seplan.app.jalisco.gob.mx/mide/panelCiudadano/inicio>
- National Science Foundation. (2012). Core Techniques and Technologies for Advancing Big Data Science & Engineering. *National Science Foundation USA*.
- NU (2015). Objetivos de Desarrollo Sostenible. Naciones Unidas. Recuperado de: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Oliveira, M. I. S. y Lóscio, B. F. (2018). What is a data ecosystem? *Proceedings of the 19th Annual International Conference on Digital Government Research Governance in the Data Age*.

- Ozdogan, B., Gacar, A. y Huseyin, A. (2017). Digital agriculture practices in the context of agriculture 4.0. *Journal of Economics Finance and Accounting*, 4(2), 184- 191.
- Pixia, D. y Xiangdong, W. (2013). Recognition of greenhouse cucumber disease based on image processing technology. *Open Journal of Applied Sciences*, 3 (01), 27-31.
- Pollock, R. (2011). Building the (open) data ecosystem. *Open Knowledge Foundation*.
- Power BI (2020). Convierta los datos en oportunidades. *Power BI Microsoft*.
- Rice, I. (2018). Improved data visualisation through nonlinear dissimilarity modelling. *Pattern Recognition*, 73 (1), 76-88.
- Rode, P. C., Gamarra, R. R., Espinosa, H. P., Guizar, A. G. R., Daz, D. R., Cruz, P. P. y Gutiérrez, A. M. (2010). Invernadero inteligente basado en un enfoque sustentable para la agricultura mexicana. *Memorias del VIII Congreso Internacional sobre Innovación y Desarrollo Tecnológico*, 623-630.
- RRN (2019). El MAPA, en el centro del ecosistema abierto de datos agrícolas y medioambientales. *Red Rural Nacional*.
- Shi, X. *et al.*, (2019). State-of-the-Art Internet of Things in Protected Agriculture. *MDPI. Sensors*. 19,
- SIAP (2020). Avance de siembras y cosechas. Resumen nacional por cultivo. *Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera*. Recuperado de: http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalSinPrograma.do
- Smart-Akis (2016). What is smart-farming? *Smart Farming Thematic Network*.
- Smith, G., Ayaba-Ofe, H. y Sandberg, J. (2016). Digital service innovation from open data: exploring the value proposition of an open data marketplace. *In System Sciences (HICSS)*, 49th Hawaii International Conference on IEEE.
- Sonka, S. (2015). Big data: from hype to agricultural tool. *Farm Policy Journal*. 12, 1-9.
- Sun, Z., Du, K., Zheng, F. y Yin, S. (2013). Perspectives of research and application of Big Data on smart agriculture. *Journal of Agriculture Sciences Technology*, 15, 63–71.
- Sundmaeker, H., Verdouw, C. N., Wolfert, J. y Freire, L. P. (2016). Internet of food and farm 2020. En Vermasan, O., Fries, P. (Coords). Digitising industry internet of things connecting physical, digital and virtual worlds, *River Publishers Series*, 129-150.
- Tableau (2020). Cambia tu manera de pensar en los datos. Tableau. Recuperado: <https://www.tableau.com/es-mx>
- Tibbets, J. H. (2018). The Frontiers of Artificial Intelligence: Deep learning brings speed, accuracy to the life sciences. *BioScience*, 68 (1). 5-10.
- Wolfert, S., Ge, L. Verdouw, C. y Boodardt, M.C. (2017) Big Data in Smart Farming – A review, *Agricultural Systems*, 153, 69-80.
- Zhou, K., Fu, C. y Yang, S. (2016). Big data driven smart energy management: From big data to big insights. *Renewable and Sustainable Energy*, 56, 215–225.

Zubcoff, J., Llorenç, V. G., Garrigós, I., Mazón-López, J.N., Guilló, A. y Maciá Pérez, F. (2016). The University as an Open Data Ecosystem. *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics*, 11 (3), 250.

Zuiderwijk, A., Janssen, M., y Davis, C. (2014). Innovation with open data: Essential elements of open data ecosystems. *Information Polity*, 19(1–2), 17–33. <https://doi.org/10.3233/IP-140329>

Zuiderwijk, A., Janssen, M., Van De Kaa, G., y Poulis, K. (2016). The wicked problem of commercial value creation in open data ecosystems: Policy guidelines for governments. *Information Polity*, 21(3), 223–236. <https://doi.org/10.3233/IP-160391>