

INNOVACIÓN Y OPERACIÓN DE TECNOLOGÍA EN LA FISIOLÓGÍA APLICADA A LA AGRICULTURA

Data de aceite: 02/06/2023

Eliezer Cocolletzi Vásquez

Facultad de Biología-Xalapa, Universidad Veracruzana

RESUMEN: La innovación y aplicación de tecnología en la práctica agrícola a pequeña y mediana escala tiene diversas áreas de oportunidad, en la presente información documental se proporciona un contexto sobre las principales herramientas y tecnologías empleadas actualmente. La propuesta comprende la utilización del sistema Arduino, que es una plataforma electrónica de código abierto fácil y accesible a bajo costo. Por lo anterior, aquí se plantean dos secciones, una teórica y otra práctica. En la primera sección se encuentra toda la información relacionada con la plataforma Arduino, los sensores y posibles aplicaciones. En la segunda sección se hace el planteamiento de un estudio de caso, aplicando el sistema Arduino a un cultivo en condiciones invernadero, analizando, interpretando y discutiendo la información generada por los sensores. Se determinaron condiciones adecuadas para la producción de plantas y por lo tanto se podrían establecer estrategias para su

aprovechamiento. Finalmente se hace una recapitulación de las herramientas digitales que se pueden emplear en la práctica agrícola.

PALABRAS CLAVE: Arduino, microclima, temperatura, radiación fotosintéticamente activa, programa

ABSTRACT: The innovation and application of technology in agricultural practice on a small and medium scale have various opportunity areas. The information provided here is a context on the main tools and technologies currently used for understanding plant physiology in agronomy. Here it included using the Arduino system, an easy and accessible open-source electronic platform at low cost. Due to the above, two sections are proposed here, one theory and the other practice. In the first section, you will find all the information related to the Arduino platform, the sensors, and possible applications. In the second section, the approach of a case study was made, applying the Arduino system to a crop under greenhouse conditions, analyzing, interpreting, and discussing the information generated by the sensors. The adequate conditions for plant production were determined; therefore, strategies could

be established for their use—finally, a recapitulation of the digital tools that can be used in agricultural practice.

KEYWORDS: Arduino, microclimate, temperature, photosynthetic active radiation, software

INTRODUCCIÓN

La propuesta de innovación surge en el contexto donde. Algunos de los principales cultivos del estado de Veracruz en México son la caña de azúcar, maíz grano, mango, naranja, limón, piña, vainilla y café. Sin embargo, Veracruz ocupa el tercer lugar a nivel de México por la diversidad biológica de su territorio. De acuerdo con el Plan Veracruzano de Desarrollo 2019-2024 se ha identificado una pérdida en las plantaciones de mango y de los cítricos en el estado. Principalmente debido a problemas por la sequía, cambios en ciclos productivos, cosechas y falta de aplicación de tecnologías para determinar adecuada y oportunamente las afectaciones en los cultivos. De allí que la importancia de reconocer estrategias tecnológicas que atiendan las necesidades sociales orientadas a una agricultura sustentable, en el beneficio de la producción agropecuaria y los recursos naturales.

INFRAESTRUCTURA AGROPECUARIA PRINCIPALMENTE UTILIZADA

El estado de Veracruz tiene una gran relevancia en el aspecto agropecuario, forestal y pesquero. Su clima, suelo, dotación de recursos naturales y humanos le permiten practicar esta actividad en casi todo su territorio. Sin embargo, ello no se da en las mejores condiciones, ya que, si bien cuenta con más de 30% de los recursos hidráulicos de México, tiene serios problemas de escasez de agua por insuficiencia de infraestructura hidráulica, hecho que se pone de manifiesto por la baja superficie de riego disponible que sólo cubre 111,315 hectáreas. En Veracruz predomina una agricultura de temporal y bajo rendimiento. Cabe señalar que también cuenta con el mayor número de ejidos en el país y una acentuada parcelación de la tierra, lo que genera problemas de organización y la insuficiencia de los recursos necesarios para el campo (Bada y Rivas 2010).

La actividad agraria requiere de una infraestructura para realizarse. Entre estas destacan las redes de riego, como bolsas, pozos, canales, etc., son fundamentales para el desarrollo del trabajo agrícola. Estas requieren de maquinaria y herramientas para hacerlas posibles, además de mantenimiento recurrente (Barreras 2018). Entre la infraestructura para incrementar el potencial hídrico se encuentran: sistemas de riego tecnificado que consisten en la construcción de sistemas de riego por aspersión, microaspersión y goteo para incrementar la productividad agropecuaria en la zonas bajo riego y bajo temporal (Ramírez et al. 2015).

INNOVACIÓN TECNOLÓGICA AGRÍCOLA

La agricultura ha avanzado con la ciencia y la tecnología, desde la utilización de

herramientas convencionales hasta las instrumentales de última generación permiten asimilar grandes cantidades de datos heterogéneos y proporcionar predicciones fiables de fenómenos complejos e inciertos. Estas herramientas están enfocadas en ayudar a resolver los paradigmas de identificación, clasificación, cuantificación y predicción del estrés en las plantas para generar conocimientos que antes no eran posibles, es decir, obtener resultados procesables en lo que se ha denominado como agricultura digital (Barreras 2018).

Con la innovación y el desarrollo tecnológico se obtiene una ventaja competitiva entre los productores del sector agropecuario, permitiendo obtener mayores rendimientos en la producción al menor costo de producción posible, además de mejorar el producto cosechado. Es por tal motivo que los productores para su desarrollo y competitividad participen en los procesos de innovación de productos nuevos o bien mejorar los existentes para continuar en el mercado, así mismo es necesaria la actualización constante en el desarrollo tecnológico para comprender procesos fisiológicos que desencadenen en producir plantas con mejores características (Ramírez et al. 2015).

La innovación es el resultado de un proceso intensivo de generación de ideas que permitan encontrar nuevas y mejores soluciones a las ya existentes, es un hecho que, a partir de la necesidad de resolver un problema, se originan procesos creativos en paralelo, la creatividad es un elemento fundamental para la innovación. En muchos casos, no es necesario inventar algo desde cero para resolver un problema, sino más bien encontrar los usos adecuados a dispositivos o técnicas que ya han sido inventadas, pero no existía la oportunidad aplicarlos (Hernández-Pérez 2019). Esta lógica se puede aplicar al sector agropecuario, el que ha empezado a adaptar las tecnologías para mejorar las condiciones fisiológicas de las plantas y por tanto mejorar la producción de alimentos, que, en la coyuntura actual de la humanidad, representa una preocupación importante (Chávez et al. 2020). Entre las principales innovaciones en la agricultura se encuentran la acuaponía, agricultura vertical, forraje verde hidropónico, cama profunda, trazabilidad, drones, imágenes satelitales, estaciones meteorológicas, telemática, internet de las cosas, ganadería de precisión y sensores remotos (Ramírez et al. 2015).

La problemática que la humanidad está viviendo en estos momentos, comprende las dificultades de agricultura y la ganadería en continuar al ritmo del intenso crecimiento demográfico para abastecer de alimentos a la población. Algunas prácticas sustentables de agricultura intensiva se han desarrollado para detener la erosión del suelo en las tierras aptas para la agricultura, incluso se han realizado acciones afirmativas para regenerar la salud del suelo y de los ecosistemas manteniendo los rendimientos productivos de la agricultura intensiva, estas iniciativas que integran lo mejor de la agricultura convencional con lo mejor de la agroecología, tienen un muy buen lugar reservado en el escenario actual en el que se demanda un mayor cuidado de los recursos, desde el enfoque sustentable (Flores 2008).

La agricultura moderna tiene sus bases en la difusión, conservación y mejoramiento de los sistemas de producción. La integración entre las nuevas tecnologías disponibles y el

cuidado de los recursos naturales es la mayor necesidad en la agricultura actualmente (FAO SAGARPA 2012). Los procesos de innovación en la actualidad adquieren gran importancia como un elemento diferencial en la competitividad y disminución de la pobreza. Sin embargo, a pesar de los beneficios, en algunos sectores su adopción ha sido lenta principalmente entre las pequeñas unidades rurales que representan el 73% en México (FAO SAGARPA 2012).

Es por ello que, utilizando el sistema Arduino se puede generar una alternativa para entender la interacción de los cultivos con el ambiente desde un punto de vista funcional. La propuesta se divide en dos secciones, una teórica y la otra práctica, donde se muestra un estudio de caso sobre la aplicación del sistema Arduino y su utilidad en la toma de decisiones para obtener planta de calidad para el campo.

AUTOMATIZACIÓN DE LA AGRICULTURA

El conjunto de tecnologías aplicadas al control y la automatización inteligente permiten una gestión eficiente del uso de la energía además de aportar seguridad, confort, y comunicación entre el usuario y el sistema. Para poder conseguir las propiedades comentadas anteriormente es necesario que los sistemas recojan la información de su entorno con sensores y dispongan de la lógica para actuar en consecuencia utilizando transductores (Kushner 2011).

Actualmente una opción de estos sistemas consiste en placas Arduino. Las cuales tiene una plataforma de hardware libre creada en 2005, basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo, diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios. Al ser Arduino una plataforma de hardware libre tanto su diseño como su distribución puede utilizarse libremente para el desarrollo de cualquier tipo de proyecto sin haber adquirido ninguna licencia. Por eso existen varios tipos de placa oficiales, las creadas por la comunidad Arduino o las no oficiales creadas por terceros, pero con características similares. En la placa Arduino es donde se conectan sensores, actuadores y otros elementos necesarios para comunicarnos con el sistema (Badamasi 2014).

La plataforma Arduino tiene un lenguaje propio que está basado en C/C++ y por ello soporta las funciones del estándar C y algunas de C++. Sin embargo, es posible utilizar otros lenguajes de programación y aplicaciones populares en Arduino como Java. Esto es posible debido a que Arduino se comunica mediante la transmisión de datos en formato serie. El entorno de desarrollo de Arduino es sencillo e intuitivo además puede descargarse gratuitamente desde su página oficial para distintos sistemas operativos (Evans 2011).

Este sistema cuenta con un órgano central de control a disposición de sensores que puedan recoger datos sobre la situación determinada. Dependiendo de estos datos el sistema debe ser capaz de comunicarse con los actuadores. Los dispositivos estarán conectados mediante cables o directamente acoplados a la placa Arduino. Algunos de ellos disponen de librerías que deberemos adjuntar al programa para poder usar las utilidades que contengan

(Lee et al. 2014).

Los sensores que se pueden conectar al Arduino son dispositivos capaces de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas. Las variables de instrumentación pueden ser, por ejemplo: temperatura, intensidad lumínica, distancia, aceleración, inclinación, desplazamiento, presión, fuerza, torsión, humedad, movimiento, pH, etc. Una magnitud eléctrica puede ser una resistencia eléctrica (como en un detector de temperatura resistivo), una capacidad eléctrica (como en un sensor de humedad), una tensión eléctrica (como en un termopar), una corriente eléctrica (como en un fototransistor) (Igoe 2011).

Proyectos Arduino aplicados a la agricultura

Debido a la gran oferta de sensores disponibles para Arduino, la aplicación en la agricultura es diversa. Actualmente existen sensores de bajo costo que permiten monitorear las características del agua como potenciómetros. Los sensores colorimétricos podrían permitir el registro del estado de maduración de los frutos, determinando cuantitativamente el punto exacto de maduración a partir del color de frutos como el plátano o el café, por poner un ejemplo; ya que son de los principales cultivos de la región. En sistemas de cultivo, los sensores de Arduino podrían funcionar detectando diversas variables de interés, como son la temperatura y humedad del aire y suelo, radiación e incluso la presencia de polinizadores o plagas asociadas a los cultivos.

Registro de condiciones ambientales en invernadero

Para realizar las mediciones de un grupo de plantas se utilizó la placa Arduino UNO, a la cual se le acoplaron sensores para el registro de las condiciones microclimáticas. Se incluyeron los sensores de temperatura y humedad relativa del aire, radiación, humedad del suelo y reloj. Los sensores se acoplaron a una planta joven de cacao (*Theobroma cacao*). Para realizar el registro de las condiciones se empleó un módulo acoplado a una tarjeta SD para guardar los datos en formato CSV y visualizarlos en Excel. Además, se instaló un módulo LCD para visualizar en tiempo real el registro de los sensores (Figura 1).

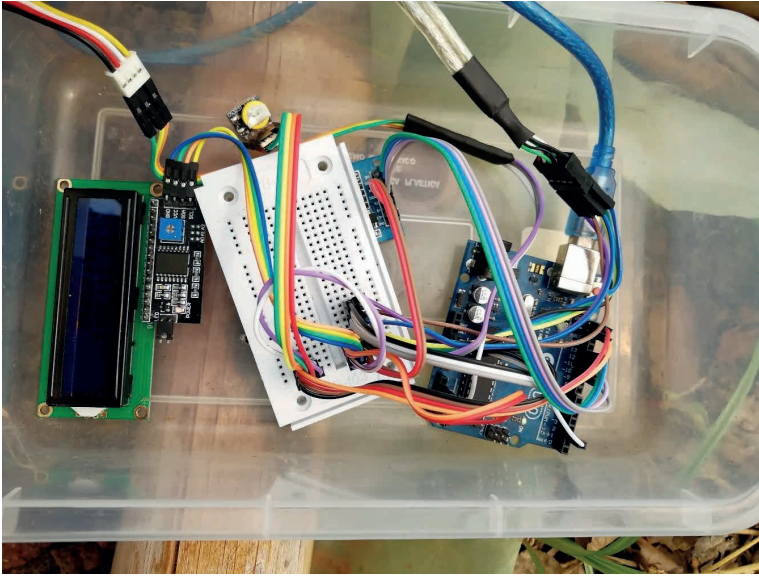


Figura 1. Sistema Arduino con los sensores de condiciones microclimáticas.

Como medida de referencia se empleó una estación de registro automática HOBO, a la que se agregaron sensores de humedad relativa del aire, temperatura y radiación fotosintéticamente activa (RAFA). La RAFA comprende la longitud de onda necesaria para estimular los fotosistemas I y II en las plantas, para así realizar fotosíntesis. La estación HOBO y los sensores acoplados a esta, se consideraron como referencia ya que su precisión en la medición de las condiciones ambientales es mayor a los sensores de Arduino, además de ser casi 20 veces más costoso.

Antes de conectar los sensores de Arduino y HOBO a la planta, esta se regó a capacidad de campo. Las condiciones microclimáticas se registraron durante 4 días, desde el 19/07/2020 al 22/07/2020 (Figura 2). Se graficaron los valores de los sensores, tal como se muestra a continuación.

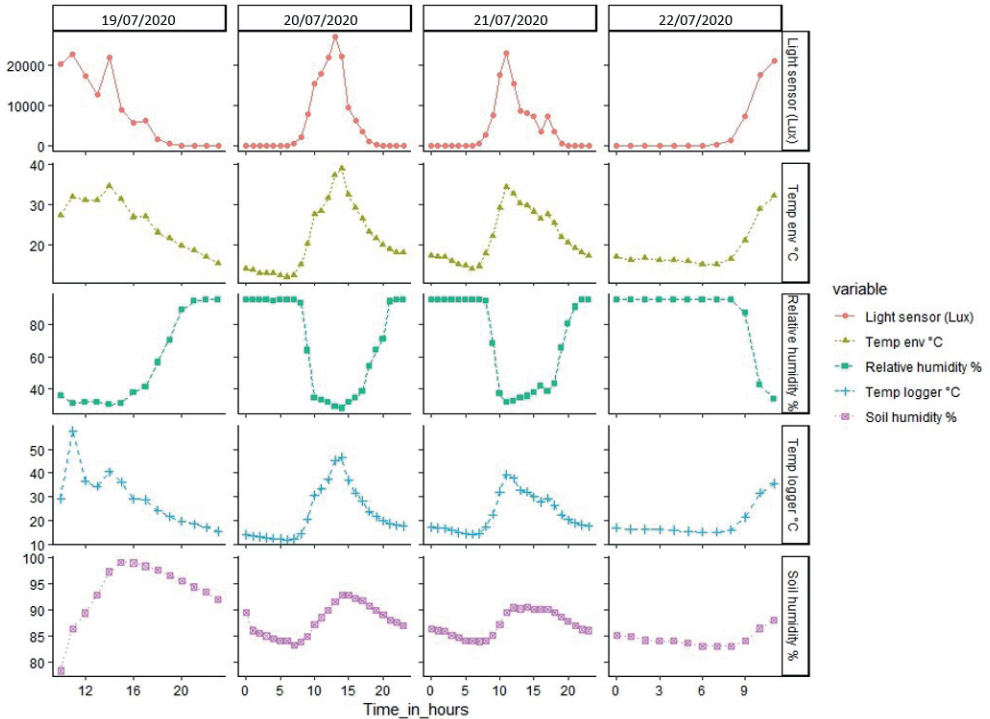


Figura 2. Registro de variables microclimáticas con sistema Arduino

En la parte inferior se puede observar como la variable de humedad relativa del suelo disminuye conforme transcurren los días. A partir de esta información se pueden elaborar un esquema de riego para mantener las raíces de la planta irrigadas adecuadamente. Se puede observar una relación directa entre la cantidad de radiación y la temperatura, sin embargo, la relación es negativa con la humedad relativa del aire, es decir, a mayor radiación, menor humedad. También se registró la temperatura que se encontraba dentro del sistema de medición ya que el reloj, cuenta con un sensor de temperatura, como se puede observar, la temperatura llegó casi a 50 °C, lo que sugiere que el contenedor no es adecuado para su almacenamiento.

Al comparar los resultados entre los sensores Arduino y HOBO de radiación fotosintéticamente activa, se encontró que la correlación en las mediciones fue significativa ($P < 0.0001$) asociado a esto, el coeficiente de correlación fue $R = 0.99$, tal como se muestra en el siguiente gráfico de dispersión (Figura 3). Lo anterior indica que es posible emplear sensores Arduino en vez de sensores HOBO mucho más costosos y de difícil acceso.

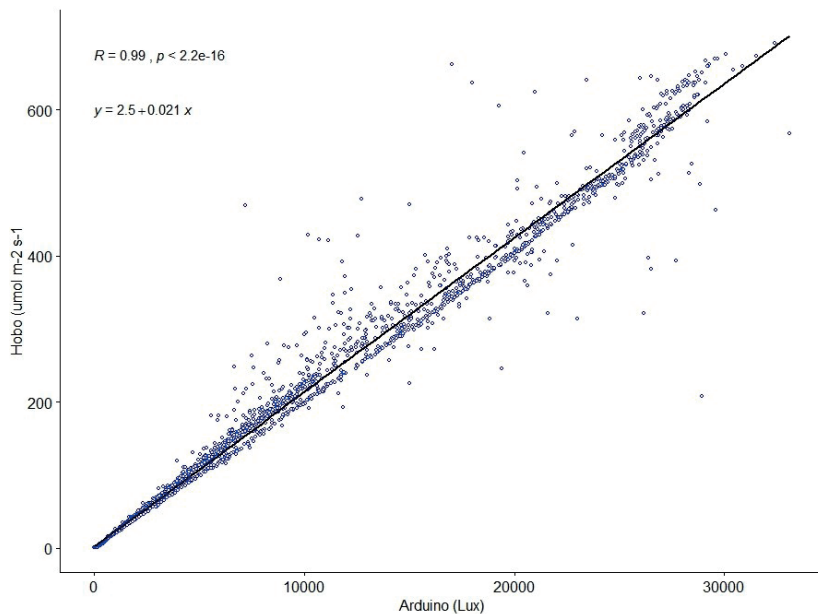


Figura 3. Gráfico de dispersión entre los datos registrados con sensores de Arduino y HOB0.

Una vez realizadas estas mediciones, se construyeron dos estaciones de registro basadas en Arduino con sensores de RAFA, temperatura y humedad relativa del aire (Figura 4). Las estaciones se colocaron en sitios opuestos en un invernadero, con el fin de determinar potenciales zonas microclimáticas en su interior.

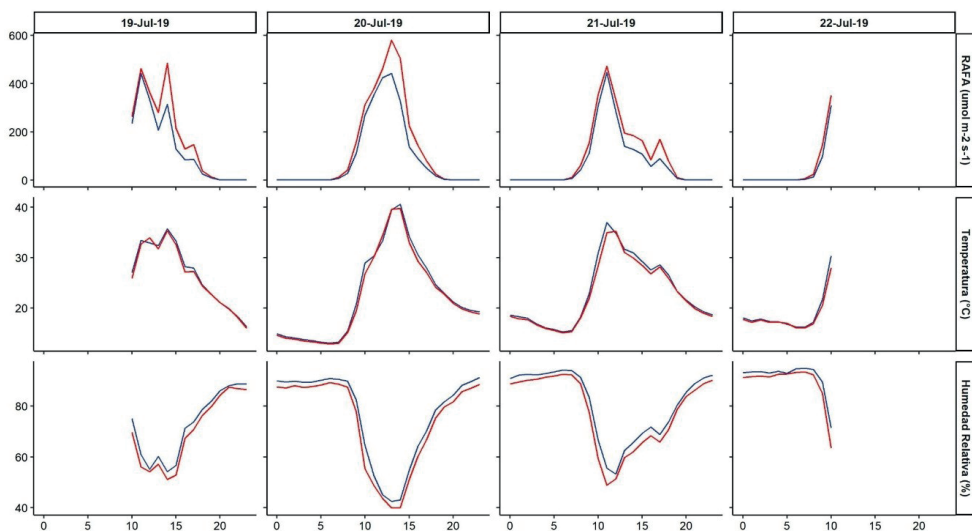


Figura 4. Registro de condiciones microclimáticas en dos secciones de invernadero

Al analizar las dos secciones del invernadero se determinó que las condiciones fueron significativamente diferentes en RAFA ($t = 6.32$, $P < 0.01$), temperatura del aire ($t = 3.23$, $P < 0.0001$) y humedad relativa del aire ($t = 2.31$, $P < 0.001$). Los atributos de las plantas también presentaron un patrón en su estructura, derivado de las dos zonas en el invernadero. Las plantas que crecieron en condiciones de mayor RAFA presentaron un mayor número de hojas, pero fueron plantas de menor tamaño; mientras que en sitio donde el RAFA fue menor las plantas presentaron mayor tamaño, pero menor número de hojas.

Con base en un ejercicio como este, se pueden identificar patrones ambientales a un nivel tan fino que permiten obtener plantas con la calidad adecuada para su producción agroindustrial. Ya que el principal criterio para considerar a las plantas listas para sacarlas de invernadero y ubicarlas en condiciones de campo es su altura, con la información recabada se puede modificar la incidencia lumínica para obtener plantas con las características deseadas en menor tiempo. De esta manera con el sistema Arduino se realizó un diseño que se podría implementar como una estrategia educativa para vincular a los estudiantes con su entorno, con competencias para establecer relaciones en un ambiente agrícola, identificando problemas, sus multi-relaciones y sus multi-causalidades. Con este ejercicio se buscará en los estudiantes la generación de soluciones con base en procesos organización y gestión, además de generar aprendizajes que detonen en prácticas transformadoras del entorno agrícola.

CONCLUSIONES

Esta propuesta busca dar una alternativa una base en software y electrónica que le permitirá tener la confianza suficiente para construir el hardware apropiado, desarrollar o corregir scripts simples. Permitirá crear, evaluar críticamente y encargar hardware y software, enfocado a solucionar problemas agrícolas.

El desarrollo de tecnologías basadas en Arduino aborda los siguientes temas: 1) Diseño y desarrollo de software, 2) principios de la electrónica, 3) diseño y construcción de circuitos electrónicos, 4) circuitos de interfaz a microcontroladores para control y adquisición de datos, 5) procesamiento y visualización de datos. Comprendiendo la aplicación de software y electrónica en sistemas agrícolas para entender las respuestas fisiológicas de las plantas.

REFERENCIAS

Bada, C. L. M., y T. L. A. Rivas. 2010. Los clusters agroindustriales en el estado de Veracruz. *Investigación administrativa* 39:73-100.

Badamasi, Y. A. 2014. The working principle of an Arduino. IEEE, New Zealand.

Barreras, I. Z. 2018. El desarrollo tecnológico y la innovación como ente principal de competitividad en las empresas del sector agropecuario en el municipio de Angostura, Sinaloa. *Revista Mexicana de Agronegocios* 42:867-877.

Chávez, C., I. Limón-Jiménez, B. Espinoza-Alcántara, J. A. López-Hernández, E. Bárcenas-Ferruzca, y J. Trejo-Alonso. 2020. Water-use efficiency and productivity improvements in surface irrigation systems. *Agronomy* **10**:1759.

Evans, B. 2011. *Beginning Arduino Programming*. Springer, New York.

FAO SAGARPA. 2012. Panorama de la seguridad alimentaria y nutricional en México 2012. SEDESOL **1**:1-35.

Flores, S. M. L. 2008. ¿Es posible hablar de un trabajo decente en la agricultura moderno- empresarial en México? *El cotidiano* **23**:25-33.

Hernández-Pérez, J. L. 2019. Sistema de innovación agrícola como estrategia de competitividad de los productores sonorenses en el contexto del TLCAN. *Estudios sociales. Revista de alimentación contemporánea y desarrollo regional* **29**:1-35.

Igoe, T. 2011. *Making things talk: Using sensors, networks, and Arduino to see, hear, and feel your world*. O'Reilly Media, Inc., New York.

Kushner, D. 2011. The making of arduino. *IEEE spectrum* **26**:1-36.

Lee, S., J. Jo, Y. Kim, y H. Stephen. 2014. *A framework for environmental monitoring with Arduino-based sensors using Restful web service*. IEEE, New York.

Ramírez, M. I., R. B. Ruilova, y M. J. Garzón. 2015. *Innovación Tecnológica en el sector Agropecuario*. Machala: Ecuador.