



# Sistema de monitoreo inteligente para controlar los factores ambientales de un invernadero en la región Junín

## Intelligent monitoring system to control the environmental factors of a greenhouse in the Junín region

Arturo Gamarra Moreno<sup>1</sup>, José Antonio Taipe Castro<sup>1</sup>, Mario Alfonso Arellano Vélchez<sup>1</sup>, Yovany Damicela Lozano Paulino<sup>2</sup>

E-mail: [ahgamarra@uncp.edu.pe](mailto:ahgamarra@uncp.edu.pe) / [jtaipe@uncp.edu.pe](mailto:jtaipe@uncp.edu.pe) / [marellano@uncp.edu.pe](mailto:marellano@uncp.edu.pe) / [e\\_0009120590b@uncp.edu.pe](mailto:e_0009120590b@uncp.edu.pe)

### Cómo citar

Gamarra Moreno, A.; Taipe Castro, J. A.; Arellano Vélchez, M. A. & Lozano Paulino, Y. D. (2020). *Sistema de monitoreo inteligente para controlar los factores ambientales de un invernadero en la región Junín*. *Prospectiva Universitaria*, Revista de la UNCP. 17(1), 47-57. <https://doi.org/10.26490/uncp.prospectivauniversitaria.2020.17.1381>

### Resumen

El control de los factores climáticos mediante el uso de invernaderos es importante para mejorar la producción y la calidad de los cultivos; sin embargo, se requiere que estos invernaderos cuenten con un sistema meteorológico que mida valores de humedad, temperatura, iluminación y otros. Para el presente estudio se formuló como problema la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo un sistema de monitoreo inteligente controla los factores ambientales en un prototipo de un invernadero real para la producción de espinacas?; la cual, ha requerido la elaboración de un prototipo para comprobar que la temperatura, la humedad relativa y la humedad del suelo no sobrepasen los valores de control asignados previamente. El estudio es de enfoque cualitativo y cuantitativo requirió la presentación de las características del comportamiento del prototipo y la medición de los factores ambientales del invernadero; así mismo, corresponde a la investigación tecnológica, debido a que se aplicó el conocimiento científico para plantear una solución al problema formulado y, de este modo, proporcionar una contribución a la sociedad y específicamente a las actividades agrícolas. El prototipo de un sistema de control inteligente incluye el software y hardware requerido para controlar los factores ambientales de un invernadero en la región Junín. Luego del desarrollo de la investigación se concluye que, con un error del 5 %, se puede afirmar que los valores promedios de la temperatura (13,36 °C), humedad relativa (86,85 %) y humedad del suelo (83,25 %) medidos en el prototipo de un invernadero real no superan los valores máximos de control considerados para este estudio y que fueron de 15 °C, 90 % y 90 % respectivamente.

**Palabras clave:** sistema de monitoreo inteligente, Internet, factores ambientales, invernadero, producción agrícola

### Abstract

Controlling climatic factors through the use of greenhouses is important for improving crop production and quality, however these greenhouses are required to have a meteorological system that measure values of humidity, temperature, lighting, etc. The problem formulated for this research was: How does an intelligent monitoring system control environmental factors in a real prototype of a spinach production greenhouse? which has required the development of a prototype to verify that the temperature, relative humidity and soil moisture does not exceed the previously assigned control values. This qualitative and quantitative approach required the presentation of the characteristics of the prototype behaviour and the measurement of environmental factors of the greenhouse, besides, it is Technological Research, because scientific knowledge was applied to propose the formulated problem solution to contribute with society and specifically to agricultural activities. The prototype of an intelligent control system includes the software and hardware required to control environmental factors of a greenhouse in the Junin Region. After this research development, it is concluded that, with an error of 5 %, the average values of temperature (13.36 °C), relative humidity (86.85 %) and soil humidity (83.25 %) measured in the actual greenhouse prototype do not exceed the maximum control values considered for this study, which were 15 °C, 90 % and 90 % respectively.

**Keywords:** intelligent monitoring system, Internet of things, temperature, ambient humidity, soil humidity

<sup>1</sup>Docentes de la Facultad de Ingeniería Mecánica - UNCP / Investigador externo

## Introducción

El continuo desarrollo de la Internet permite, hoy en día, que el monitoreo en tiempo real sea una realidad; de esta manera, los productores agrícolas tienen la posibilidad de monitorear y controlar el medio de producción agrícola a través de este medio y, esto es gracias al denominado control inteligente de la agricultura; tal es así, que en diversos países se han llevado estudios relacionados con la agricultura inteligente, donde puede distinguirse dos enfoques totalmente característicos que tienen que ver en; el primer caso, con el sistema de suministro y comercialización de productos agrícolas, que es análogo al centro comercial electrónico y; el segundo caso, corresponde a los estudios en los que el índice de producción de cultivos puede ser monitoreado y analizado.

En la región Junín existen muchos invernaderos que son utilizados para disminuir las adversidades climáticas que perjudican la actividad agrícola, pero es necesario monitorear los parámetros climáticos con el fin de mejorar la producción, por lo que el problema planteado es ¿cómo es el comportamiento de los factores ambientales de un invernadero en la región Junín? El propósito que se pretende alcanzar es la elaboración del prototipo que sirva para monitorear y controlar los parámetros climáticos en un invernadero y, su importancia radica en tener control de los parámetros del entorno de las plantas, que serán utilizadas para mejorar la producción y calidad de dichas plantaciones. En lo que respecta a las tecnologías de control climático, hay diversidad de sistemas de control que tienen un costo alto, ya que estas tecnologías están destinadas al uso en invernaderos de producción a gran escala. Por lo que se tuvo que elaborar un prototipo, con el que se logró determinar el comportamiento de la temperatura, la humedad del ambiente y la humedad del suelo, el cual fue el objetivo de esta investigación.

Los trabajos relacionados, que permitieron dar sustento a esta investigación, se detallan a continuación:

Shi, Wang, Liu, Zhao & Huang (2011) desarrollaron hardware y software WSN (sensor de redes inalámbricas) para proporcionar funciones para la adquisición de datos medidos en tiempo real mediante la Internet, y mostrar el RSSI y la topología de los WSN dinámicamente; como también, para transmitir comandos de enlace descendente a los nodos sensores. Para la comprobación del sistema propuesto, realizaron experimentos tanto en el laboratorio como en el invernadero; de este modo, en una etapa inicial se desplegó una pequeña red ZigBee con varios nodos para la recopilación de datos de SHT11 y sensores de temperatura infrarrojos en el plano superior de la luz para complementar la selección de canales analógicos en el transformador; así mismo, se realizaron pruebas

experimentales para verificar el hardware propuesto y soluciones de software. En una segunda fase, el WSN se desplegó en el invernadero para evaluar el rendimiento del sistema en lo concerniente a la gama, robustez y flexibilidad.

Yu et al. (2017) presentaron el desarrollo de un sistema remoto inteligente de control de invernaderos de hongos, basado en la tecnología ZigBee; señalan que, con este sistema, no solo es más eficiente la producción y la automatización del invernadero, sino que además permite a los productores controlar los factores ambientales en la producción agrícola a través de la red móvil en cualquier momento y en cualquier lugar.

Liang & Tsai (2018) precisan que la programación automática convencional ha sido considerablemente utilizada para el control ambiental de invernaderos; sin embargo, este tipo de programación carece de percepción ambiental en tiempo real y control de retroalimentación, por cual el crecimiento del cultivo no es bien controlado. Por dicha razón, realizaron un estudio que consideró la integración de parámetros, como la temperatura, la humedad, la iluminación, la concentración de dióxido de carbono y la humedad del suelo en el invernadero del campus, que se utilizaron para mejorar el medio de desarrollo de los cultivos; para ello, utilizaron sensores para monitorear las condiciones ambientales y, seguidamente, los datos recopilados se transmitieron por conexión inalámbrica a un servidor remoto, dichos datos ambientales se almacenaron en una base de datos para el análisis estadístico correspondiente. Como resultado fundamental se obtuvo la posibilidad de cambiar estratégicamente las condiciones ambientales, para lograr un monitoreo y control inteligente.

Suryawanshi, Ramasamy, Umashankar & Sanjeevikumar (2018) indican que, en el actual contexto, monitorear un invernadero de manera automática mediante energía solar es una necesidad existente debido a las limitaciones de energía y el cambio climático; en tal sentido, propusieron un sistema que considera una nueva técnica para monitorear y controlar el ambiente del invernadero mediante el uso de módulos de sensores de costo reducido para el microcontrolador Arduino; así, con este sistema fue posible medir tres parámetros fundamentales, como son la humedad, la temperatura y la humedad del suelo cuyos valores se mostraron en una pantalla LCD. Los parámetros físicos, antes indicados, fueron controlados continuamente para el adecuado funcionamiento de la unidad de calefacción natural, el enfriador y el rociador, los mismos que fueron accionados por microcontroladores a través de un relé; por otro lado, se implementó una unidad de administración de energía efectiva que funcionaba

con energía solar, en este estudio se concluye que sí se pueden desarrollar ciudades inteligentes, también se pueden desarrollar granjas inteligentes.

Janpla, Kularbphettong & Chuandcham (2019) diseñaron y desarrollaron un sistema de control de monitoreo automático de crecimiento de la planta para evaluar el efecto del uso de este prototipo, se controlaron los factores ambientales significativos que afectan el crecimiento de las plantas, como la temperatura, la humedad, la luz y el agua; así, para llevar a cabo este proceso, la placa Arduino se adaptó para programar los distintos sensores empleados para controlar la temperatura y la humedad para el cultivo. La implementación de este prototipo consideró la preparación de la solución de nutrientes para plantas, así fue posible el diseño del sistema automatizado para controlar la apertura, siendo la mejor solución para el sistema de control automatizado. Entre los resultados principales, se obtuvo que la cantidad de plantas cultivadas en invernadero con cosecha fue del 25 % y el crecimiento de las plantas fue del 10 %; mientras que la cantidad de plantas cultivadas en condiciones normales, con cosecha fue del 10 % y el crecimiento de las mismas fue del 2 %.

Moummadi, Abidar, Medromi & Ziani (2019) señalan que los formalismos conducentes a los agentes de consulta actualmente se utilizan cada vez más en inteligencia artificial; su éxito se debe, en parte, a su fácil adaptación a las necesidades de las aplicaciones distribuidas en tiempo real. Como propósito, explicaron el diseño y la implementación de una singular plataforma llamada Control Remoto Seguro de Invernadero (SRCG), para el control del clima interior y exterior y, también, los parámetros del suelo que influyen en la producción en invernaderos, como temperatura, humedad, CO<sub>2</sub> y humedad del suelo; de esta forma, una red de sensores inalámbricos (WSN) provee información pertinente que se utiliza para controlar la ventilación, la calefacción y la bomba. En este caso, se buscó que el uso de SRCG evitara las acciones de monitoreo en el sitio, debido a que la plataforma desarrollada es fácil de instalar y utilizar por los agricultores que requerían conocimientos de informática; así, todos los agricultores pueden controlar sus invernaderos desde un dispositivo a distancia de una manera fácil y omnipresente, controlando actuadores para ajustar esos parámetros (ventilación, calefacción y riego por goteo); por otro lado, la arquitectura de esta plataforma se basa en sistemas de múltiples agentes (MAS) y un problema de satisfacción de restricciones distribuidas (DCSP), donde los MAS recopilan, integran y proporcionan la información de parámetros del clima recogidos por sensores distribuidos que sincronizan la información con un ordenador supervisor remoto.

Navarrete (2006) argumenta que entre las características climáticas promedio de 42 años evaluado entre los meses de enero y abril, para la humedad relativa se consideraron valores del 67 %, 69 %, 75 % y 82 % respectivamente; por otro lado, señala que se ejecutaron riegos semanales con el fin de mantener un nivel apropiado de humedad en el suelo, ello considerando que el periodo de cultivo correspondiente fue en la época estival.

A continuación, se presenta la teoría básica que se utilizó en este trabajo de investigación:

### Sistema de control automático

PRODUCTOS AGRI-NOVA Science (2015) señala que actualmente se cuenta con diversos sistemas de automatización con la capacidad de controlar los factores climáticos de los invernaderos; así mismo, generalmente estos sistemas utilizan un ordenador central al que se interconectan un conjunto de sensores, que acopian las variaciones de los distintos factores climáticos respecto a ciertos valores programados inicialmente; es decir, a través de este sistema se dispone de una pequeña estación meteorológica que verifica los valores correspondientes a la humedad, temperatura, iluminación, etc.

### Funcionamiento de un sistema de control genérico

Kennedy, Bertao, Arrúa y Ayala (2016) señalan que las variables obtenidas en un sistema de control de manera general mediante los sensores, son comprobados por un controlador que posee una orden asignada; así mismo, dicho controlador activa el actuador con el objetivo de cambiar las variables a sus valores ideales; por otro lado, en el sistema también estarán presentes señales que afectan adversamente a las variables de salidas, estas son las perturbaciones del sistema de control.

### Internet de las cosas (IoT)

Rodríguez, Betancourt y Germán (2016) indican que esa tecnología fue presentada y desarrollada por la red mundial de laboratorios de investigación Auto-ID Labs en 1999; así mismo, precisan que es una red fundamentada en la identificación por radiofrecuencia, que une objetos mediante dispositivos de detección e Internet, ello permite caracterizar en tiempo real cualquier tipo de dispositivo electrónico y/o componente ambiental.

Panda y Bhatnagar (2020), por otro lado argumentan que gracias al Internet de las cosas (IoT) es posible conectar cualquier tecnología (ordenadores, móviles, sensores, coche, cámara, electrodomésticos, etc.) con los protocolos determinados o definidos de Internet, ello para integrar múltiples tecnologías y enlazarlos

en tiempo real; permite también, la recopilación e intercambio de datos a través de una red sin el apoyo de la interacción de persona a persona o de persona a computadora, con el propósito de lograr una solución inteligente de cualquier problema.

### Sensores

Karvinen y Karvinen (2014) afirman que los sensores son elementos eléctricos que actúan como dispositivos de entrada; sin embargo, no todas las entradas son directamente sensores, pero la mayoría de las entradas usan sensores; así, el mouse, un teclado o el panel táctil de un ordenador o, inclusive una cámara web no son sensores, pero definitivamente emplean sensores en su diseño; adicionalmente, y de forma más abstracta, se pueden considerar a los sensores como dispositivos para medir un estímulo externo al sistema en el que se encuentran (su entorno), luego los datos de salida se fundamentan en la medición.

### Fotoreistor para medir luz

Karvinen y Karvinen (2014) afirman que el sensor más sencillo que permite detectar luz es un fotorresistor, así mismo, este elemento se denomina también sensor: resistencia dependiente de la luz (LDR) y funciona variando su resistencia en función de la cantidad de luz que lo afecta.

### Invernadero

Vega et al. (2018) dicen que un invernadero constituye una instalación encerrada compuesto de una infraestructura y equipamiento que preserva las plantas y semillas de las inclemencias del medio ambiente, permitiendo cultivar diversas plantaciones durante todo el año; por lo tanto, el correcto funcionamiento de un invernadero involucra el monitoreo constante de variables ambientales y la manipulación de las unidades que controlan el valor de dichas variables.

Diversos problemas se presentan en los invernaderos debido a la escasa experiencia en el campo y al número reducido de personal capacitado; así mismo, uno de los aspectos importantes de un invernadero es que tiene la capacidad de poseer internamente un microclima que puede ser controlado y que el clima exterior tenga poco o ningún efecto sobre el mismo (Palominos, 2017).

### Factores climáticos a controlar en un invernadero

Según PRODUCTOSAGRI-NOVA Science (2015) el tratamiento de los cultivos en sus distintas fases de desarrollo viene condicionado por cuatro factores climáticos (ó ambientales) que son: La temperatura, la humedad relativa, la luz y el dióxido de carbono CO<sub>2</sub>; por lo tanto, para que las plantas cumplan sus funciones se requiere de la interacción de dichos factores en-

tre ciertos límites mínimos y máximos para evitar el cese del metabolismo y la muertes de las plantas.

En MSC Invernaderos (2015) se especifica que los principales sistemas controlados en un invernadero inteligente tienen que ver con el control de: a) Los parámetros climáticos de cultivo, b) la periodicidad de riego y la aplicación de nutrientes, c) la medición de la temperatura y d) el control de radiación incidente.

### La agricultura en el Perú

Maletta (2017) argumenta que extremadamente diversificada y heterogénea es la agricultura en el Perú, ello debido fundamentalmente a las condiciones ecológicas y socioeconómicas en las micro-regiones; debido a ello, se requiere de un punto de vista altamente desagregado para su correspondiente comprensión y monitoreo. Según el estudio fundamentado en el Cuarto Censo Nacional Agropecuario del Perú efectuado en el 2012, la pequeña agricultura familiar constituye el 97 % de las fincas agropecuarias; por lo tanto, su interés fue la formulación de las recomendaciones para el desarrollo de un sistema de información y monitoreo de la agricultura peruana enfocado esencialmente a la pequeña agricultura familiar.

Marcelino, Casagrande, Cunha, Crotti & Gruber (2018) señalan que la pequeña agricultura familiar actualmente se viene incrementado considerablemente, primordialmente en los países en desarrollo y, es común que las familias dedicadas a esta actividad agrícola estén influenciadas por el clima; por lo tanto, para afrontar las adversidades que se puedan presentar se requieren soluciones de bajo costo tanto para el control, monitoreo y automatización de un invernadero agrícola.

### Factores ambientales en el cultivo de espinaca

Bacho (2011) cita a Taiz y Zeiger (1991) quienes, de manera general, señalan que el agua es el componente con mayor presencia en las células de las plantas, conformando entre el 80 y 95 % de la masa de los tejidos vivos; así mismo, indican que la luz constituye el factor de mayor importancia, debido a que la radiación que beneficia, es aquella que puede ser utilizada en fotosíntesis, de forma que la energía de los fotones incidentes puede ser transformada en energía celular (ATP).

Valverde (2014) dice que la temperatura promedio mensual mínima de crecimiento para la espinaca es de aproximadamente 5 °C; argumenta además que, esta hortaliza se desarrolla temperaturas muy bajas comprendidas entre los valores promedio mensual de 5 a 15 °C y que la iluminación es otro de los factores que contribuye para su desarrollo.

Vasco (2015) indica que la temperatura mínima mensual para el buen desarrollo de la planta es de 7 °C. Sin embargo, la espinaca es resistente aún a



0 °C, siempre y cuando esta temperatura no se mantenga por mucho tiempo (de lo contrario causa efectos negativos e irreversibles en el crecimiento); por otro lado, señala que la humedad relativa debe estar comprendida entre el 60 % y 75 %.

Calvo (2018) afirma que el cultivo de espinacas se adecua a las condiciones agroecológicas comprendidas entre 1430 y 2800 msnm; así mismo, señala que es posible alcanzar su crecimiento óptimo durante un tiempo relativamente frío; resistente a las heladas cuando estos no son de gran magnitud. Las temperaturas medias para el crecimiento son las siguientes: óptimo de 15 - 18 °C. Máximo de 24 °C y mínimo 5 °C.

## Métodos y materiales

Arias (2012) arguye que, considerando el nivel, la investigación se clasifica en exploratoria, descriptiva y explicativa; señala que, una investigación descriptiva radica en caracterizar un hecho, fenómeno, un sujeto o grupo con la finalidad de fundamentar su estructura o comportamiento. También, afirma que la estrategia general que implanta el investigador para dar respuesta al problema planteado corresponde al diseño de investigación, el mismo que se clasifica en: a) diseño documental, b) diseño de campo (no experimental) y c) diseño experimental. Con respecto al diseño de campo - no experimental indica que se caracteriza por el acopio de datos directamente de los sujetos de estudio o del contexto o realidad donde se suscitan dichos hechos (son datos primarios), no se efectúa manipulación o control de variable alguna; por lo tanto, el investigador consigue la información pero no modifica las condiciones existentes; debido a ello, el diseño de investigación de campo se denomina también diseño de investigación no experimental.

Sánchez, Reyes y Mejía (2018) afirman que no siempre la hipótesis está presente en una investigación descriptiva, pero si deben partir de un supuesto anticipado básico; por otro lado, alegan que el concepto de prototipo que se refiere a un modelo o molde inicial en que se elabora una figura u otro objeto, se utiliza en la investigación e innovación tecnológica que de manera general está estrechamente ligado con la investigación tecnológica que demanda de un proceso planificado, sistemático y metódico de investigación que se ejecuta para probar su efectividad.

Hernández, Fernández y Baptista (2014) citan a Creswell (2013) y a Lieber & Weisner (2010) quienes señalan que los métodos mixtos (cualitativo y cuantitativo) emplean evidencia de datos numéricos, verbales, textuales, visuales, simbólicos y de otras variedades para entender problemas en las ciencias; por otro lado, afirman que el enfoque cuantitativo, a través de la recolección de datos, permite comprobar hipótesis

considerando la medición numérica y el análisis estadístico; mientras que, el enfoque cualitativo mediante la recolección y análisis de los datos permite mejorar las preguntas de investigación o formular nuevas interrogaciones en el proceso de interpretación.

Basado en lo expuesto anteriormente, se pasa a detallar la metodología empleada para el desarrollo del sistema de monitoreo inteligente para controlar los factores ambientales de un invernadero en la región Junín, que en este caso constituyó en la unidad de estudio propuesto. El prototipo desarrollado incluyó los siguientes sensores: Sensor de temperatura y humedad relativa DHT11, sensor de humedad de suelo y un sensor de luz (sensor fotoeléctrico); de igual manera, se requirió la plataforma de desarrollo NodeMcu v2 - ESP8266 utilizado para una gama de proyectos fundamentados en Internet de las cosas (IoT) ya que incorpora una unidad de microcontrolador como módulo principal de procesamiento al igual que de un módulo de transmisión de datos ESP8266 módulo Wi-Fi (NodeMCU). La unidad de microcontrolador constituye una parte importante del sistema desarrollado porque, juntamente con un driver de potencia, permite el control de la bomba de agua sumergible de 30 W que se caracteriza por tener un tamaño reducido, bajo consumo de energía eléctrica y ha sido diseñado fundamentalmente para operar de modo continuo y sumergido; así mismo, la inclusión del driver ubicado entre el microcontrolador y la bomba fue obligatoria debido a que los valores de corriente y voltaje de la bomba son mayores a los utilizados por el microcontrolador; por tanto, una conexión directa sin la consideración de este driver de potencia hubiese originado daño al circuito.

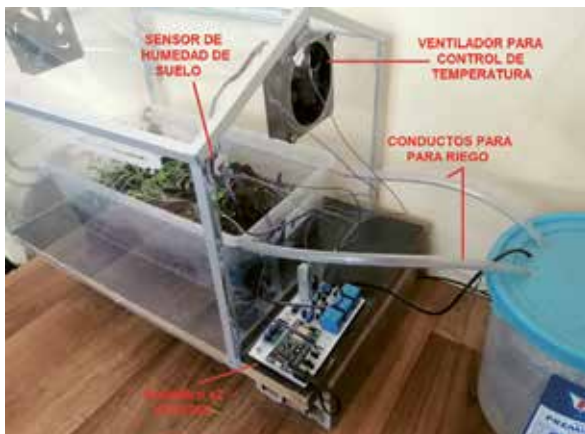
Para el control de temperatura mediante el sensor DHT11, se consideró en primer lugar la calibración de laboratorio de este dispositivo y luego el rango de temperatura recomendado para el cultivo y desarrollo de la espinaca, en este caso a través de la programación se tuvo en cuenta un intervalo de temperatura entre 5 °C y 15 °C; si en caso sobrepasara la temperatura máxima de 15 °C entran en funcionamiento los ventiladores mostrados en la Figura 1; en este caso, los dos ventiladores que fueron instalados son de 24 VDC del tipo axial, flujo de aire 36.37 CFM, velocidad 2900 RPM y dimensiones 80 mm x 80 mm x 25 mm.

Debido a que los valores de humedad relativa del ambiente adecuado para el desarrollo de la espinaca son variables de acuerdo a la información revisada para la ejecución de este proyecto y; como el objetivo fue que mediante la programación en Arduino IDE se logre controlar los factores ambientales dentro del prototipo de un invernadero real entre los que se tuvo la humedad relativa se tuvo en cuenta para el presente estudio que este parámetro no sea mayor al 90 %.

En cuanto al sensor de humedad de suelo mostrado en la Figura 2, las puntas de este componente fueron colocados directamente en el terreno de cultivo de la espinaca, fue posible obtener el nivel de humedad ya que gracias a este elemento se tiene la posibilidad con una precisión relativa de conocer si la tierra se encuentra seca, húmeda o posee excesiva cantidad de agua; en este caso, también se controló que la humedad del suelo no sobrepase el valor de 90 %.

### Figura 1

Placa NodeMcu v2 - ESP8266, ventiladores para control de temperatura, conductos para riego y sensor de humedad de suelo. Los componentes señalados forman partes indispensables del prototipo desarrollado.



Gracias a la placa de desarrollo NodeMcu v2-ESP8266, también fue posible la elaboración de códigos de programación directamente en IDE de Arduino, lo cual permitió censar las condiciones del invernadero y luego enviar los datos a ThingSpeak, en este caso ello hizo posible monitorear las magnitudes físicas relacionadas con el cultivo de la espinaca consideradas en este proyecto; del mismo modo, tal como se muestra en la Figura 2, se instaló un sensor de luz que activa la iluminación del invernadero, ello contribuye con el desarrollo de esta planta.

### Figura 2

Sensor de humedad de suelo unido a la tierra donde se cultivó la espinaca y; sensor de luz ubicado en la superficie externa. Imagen obtenida a partir del prototipo desarrollado.



Para el análisis basado en el enfoque cuantitativo de investigación se tuvo en cuenta el número de registro de lecturas de los parámetros de tiempo; es decir, los 9693 datos correspondientes a la temperatura, humedad relativa y humedad del suelo, los mismos que se obtuvieron entre los meses de marzo a Julio desde la aplicación web ThingSpeak.

Para la prueba estadística realizada se tuvo en cuenta que los valores promedios de la temperatura, humedad relativa y humedad del suelo no sobrepasen ciertos valores, considerados medidas de control a partir de los fundamentos teóricos y antecedentes revisados para el desarrollo de esta investigación.

Para verificar lo anteriormente indicado, y para cada uno de los casos, se realizó la prueba estadística con respecto a una media cuyo modelo matemático es:

$$Z = (\bar{X} - \mu) / (\sigma / \sqrt{n}) \quad (1)$$

Walpole, Myers, Myers & Ye (2007) aseveran que la variable aleatoria  $\bar{X}$  tiene una distribución aproximadamente normal con media  $\mu$  y varianza  $\sigma^2/n$  para tamaños de muestras convenientemente grandes.

Luego las hipótesis formuladas para este estudio fueron:

Para la temperatura:

H0: La temperatura media, obtenida por el sistema de monitoreo inteligente del invernadero, no es menor a la temperatura máxima de control considerada.

H1: La temperatura media, obtenida por el sistema de monitoreo inteligente del invernadero, es menor a la temperatura máxima de control considerada.

Para la humedad relativa:

H0: La humedad relativa media, obtenida por el sistema de monitoreo inteligente del invernadero, no es menor a la temperatura máxima de control considerada.

H1: La humedad relativa media, obtenida por el sistema de monitoreo inteligente del invernadero, es menor a la temperatura máxima de control considerada.

Para la humedad del suelo:

H0: La humedad media del suelo, obtenida por el sistema de monitoreo inteligente del invernadero, no es menor a la temperatura máxima de control considerada.

H1: La humedad media del suelo, obtenida por el sistema de monitoreo inteligente del invernadero,

es menor a la temperatura máxima de control considerada.

Las aplicaciones informáticas utilizados para realizar el análisis de los datos fueron el Ms Excel y el IBM SPSS Statistics 25, este último, con los arreglos del caso, permitieron realizar las pruebas estadísticas requeridas.

### Resultados

Para la obtención de los resultados fue necesario, tal como se muestra en la Figura 3, ubicar el prototipo del invernadero en contacto directo con el medio ambiente, por que en un caso real sucedería lo mismo, luego es razonable considerar que los factores climáticos del medio ambiente tendrán efecto sobre los parámetros ambientales que se presentan en el prototipo desarrollado.

**Figura 3**

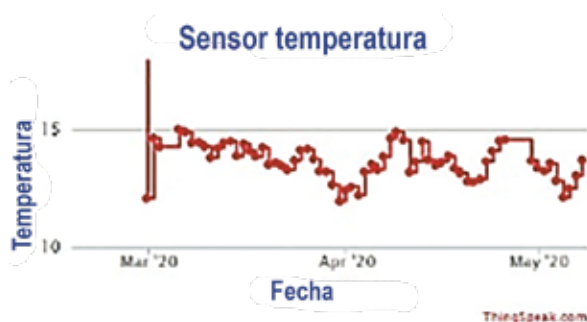
Ubicación del prototipo de un invernadero real en contacto directo con el medio ambiente. Imagen obtenida a partir del prototipo desarrollado y lugar de ubicación.



Los resultados de los parámetros ambientales controlados y obtenidos en el prototipo del invernadero se obtuvieron a partir de la aplicación web ThingSpeak, tal como se ilustran en la Figura 4 y en la Figura 5 respectivamente.

**Figura 4**

Valores de temperatura y humedad relativa registrados en el mes de mayo.



Fuente: Obtenidas de la aplicación ThingSpeak para proyectos de Internet de las Cosas.

**Figura 5**

Valores de temperatura y humedad relativa registrados en el mes de julio.



Fuente: Obtenidas de la aplicación ThingSpeak para proyectos de Internet de las Cosas.

Los 9 693 datos de temperatura, humedad relativa y humedad del suelo obtenidos generalmente con un intervalo de tiempo de 10 minutos entre los meses de marzo a julio del 2020 mediante la aplicación web ThingSpeak fueron exportados al Ms Excel considerando los campos que se indican en la Tabla 1.

**Tabla 1**

Datos de temperatura, humedad relativa y humedad del suelo exportados del ThingSpeak al Ms Excel

No	Fecha - Hora	Temp. (°C)	Humedad relativa (%)	Humedad del suelo (%)
1	02/03/2020 11:44	15,2	68	85
2	02/03/2020 11:54	15,2	74	91
3	02/03/2020 12:04	15,2	83	93
4	02/03/2020 12:14	15,2	81	94

5	02/03/2020 12:24	15,2	88	95
6	02/03/2020 12:34	15,2	88	95
:	:	:	:	:
:	:	:	:	:
1947	20/03/2020 1:32	13,6	92	84
1948	20/03/2020 1:42	13,6	92	84
1949	20/03/2020 1:52	13,6	92	84
1950	20/03/2020 2:02	13,6	92	84
1951	20/03/2020 2:12	13,6	92	84
1952	20/03/2020 2:22	13,6	92	84
:	:	:	:	:
:	:	:	:	:
4078	04/04/2020 9:53	12,8	92	87
4079	04/04/2020 10:03	12,8	92	87
4090	04/04/2020 10:13	12,8	82	87
4091	04/04/2020 10:23	13,6	83	87
4092	04/04/2020 10:33	12,8	88	87
:	:	:	:	:
:	:	:	:	:
9691	30/07/2020 11:13	11,2	91	86
9692	30/07/2020 11:43	12	90	86
9693	30/07/2020 12:13	11,2	90	86

A partir de los datos mostrados en la Tabla 1 se obtuvo los estadísticos descriptivos correspondientes a los parámetros ambientales de temperatura, humedad relativa y humedad del suelo durante los meses de marzo a julio del 2020, dichos valores se muestran en la Tabla 2.

**Tabla 2**

Estadísticos descriptivos de temperatura, humedad relativa y humedad

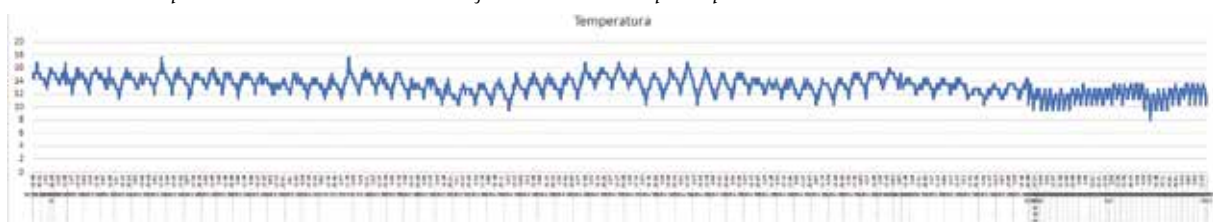
	Temp. (°C)	Humedad relativa (%)	Humedad del suelo (%)
N	Válido	9693	9693
	Perdidos	0	0
Media	13,3615	86,8593	83,2596
Mediana	13,6000	91,0000	84,0000
Moda	13,60	92,00	84,00
Desv. Desviación	1,30713	7,49959	3,74349
Mínimo	8,00	37,00	64,00
Máximo	17,60	93,00	99,00

**Fuente:** Estadísticos obtenidos a partir de datos históricos registrados entre los meses de marzo y julio del 2020.

Del mismo modo, tomando en cuenta que la cantidad de datos recolectados fueron considerables, tal como se observa en la Tabla 1, se elaboró los gráficos de línea que permiten observar los comportamientos de la temperatura, humedad relativa y humedad del suelo durante los meses de marzo a julio del 2020; entonces, teniendo en cuenta la Tabla 2 y las figuras 6, 7 y 8 respectivamente, se tiene que la temperatura promedio registrado en el prototipo del invernadero fue de 13,36 °C, valor que no superó a los 15 °C que fue la temperatura de control considerada para este estudio; ello, a pesar de que en algunas ocasiones se tuvieron temperaturas hasta de 17.6 °C. Con respecto a la humedad relativa, se tuvo que el valor promedio alcanzado en el prototipo del invernadero fue de 86,85 % que no superó al valor de control considerado que fue del 90 %; ello, pese a que en alguna oportunidad se tuvo 93 % de humedad relativa. Finalmente, también se obtuvo un valor promedio para la humedad del suelo igual a 83,25 % que tampoco superó al 90 % que se consideró como valor de control para la humedad del suelo; sin embargo, en alguna oportunidad se alcanzó cantidades de hasta 99 % de humedad del suelo.

**Figura 6**

Variación de la temperatura entre los meses de marzo a julio del 2020 en el prototipo del invernadero.

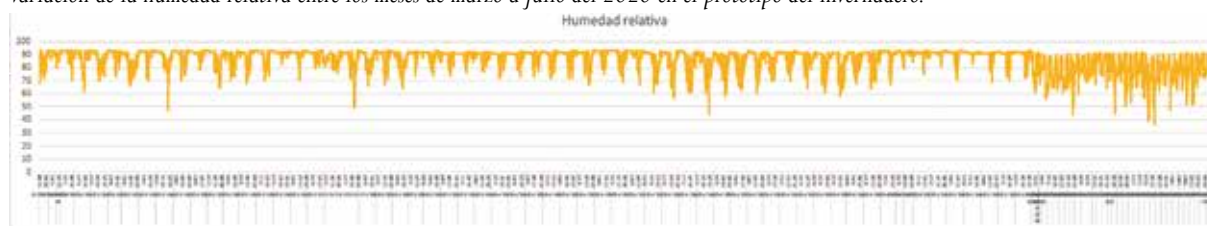


**Fuente:** Obtenidas de los datos exportados del ThingSpeak al Ms Excel.



**Figura 7**

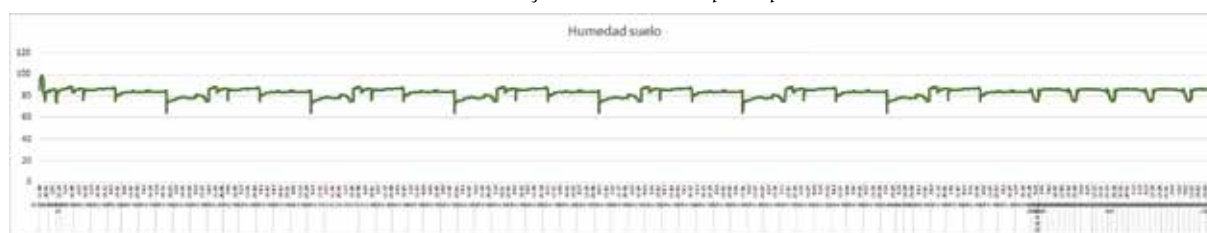
Variación de la humedad relativa entre los meses de marzo a julio del 2020 en el prototipo del invernadero.



Fuente: Obtenidas de los datos exportados del ThingSpeak al Ms Excel.

**Figura 8**

Variación de la humedad del suelo entre los meses de marzo a julio del 2020 en el prototipo del invernadero.



Fuente: Obtenidas de los datos exportados del ThingSpeak al Ms Excel.

A continuación, para verificar que la temperatura promedio del prototipo de invernadero no exceda los 15 °C se probó la hipótesis:

H0:  $\mu \geq 15$

H1:  $\mu < 15$

Los resultados de esta prueba se muestran en la Tabla 3.

**Tabla 3**

Prueba para una muestra - Temperatura

	Valor de prueba = 15					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95 % de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Temperatura	-123,414	9692	,000	-1,63852	-1,6645	-1,6125

Con un error del 5 %, se concluye que la temperatura media, obtenida por el sistema de monitoreo inteligente del invernadero, es menor a la temperatura máxima de control.

Para comprobar que la humedad relativa promedio del prototipo de invernadero no exceda al 90 %, se probó la hipótesis:

H0:  $\mu \geq 90$

H1:  $\mu < 90$

Los resultados de esta prueba se muestran en la Tabla 4.

**Tabla 4**

Prueba para una muestra – Humedad relativa

	Valor de prueba = 90					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95 % de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Hum Rel	-41,231	9692	,000	-3,14072	-3,2900	-2,9914

Con un error del 5 %, se concluye que la humedad relativa media, obtenida por el sistema de monitoreo inteligente del invernadero, es menor a la humedad relativa máxima de control.

Para evidenciar que la humedad promedio del suelo del prototipo de invernadero no exceda al 90 % se probó la hipótesis:

H0:  $\mu \geq 90$

H1:  $\mu < 90$

Los resultados de esta prueba se muestran en la Tabla 5.

**Tabla 5**

Prueba para una muestra – Humedad relativa

	Valor de prueba = 90					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95 % de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Hum Suelo	-177,272	9692	,000	-6,74043	-6,8150	-6,6659

Con un error del 5 %, se concluye que la humedad media del suelo, obtenida por el sistema de monitoreo inteligente del invernadero, es menor a la humedad del suelo máxima de control.

## Discusión

La elaboración del sistema de monitoreo inteligente para controlar los factores ambientales de un invernadero, permite incorporar esta tecnología en la población agrícola de nuestra región; para ello, se busca incorporar paulatinamente, tecnología de bajos costos y al alcance de todos. Se puede afirmar que es pertinente y razonable la idea de Maletta (2017), al indicar de que se requiere de la formulación de las recomendaciones para el desarrollo de un sistema de información y monitoreo de la agricultura peruana enfocado esencialmente a la pequeña agricultura familiar.

El sistema de monitoreo inteligente cubre la expectativa del agricultor, ya que se registra en tiempo real los parámetros de temperatura, humedad del ambiente y la humedad del suelo; de esta manera, se mantiene las condiciones para el cultivo.

En concordancia con Liang & Tsai (2018), quienes controlaron los parámetros de temperatura, la humedad y la humedad del suelo; sin embargo, a diferencia de dicho estudio, en esa oportunidad se descartó el control de la iluminación y la concentración de dióxido de carbono en el invernadero; pero, es preciso señalar algo fundamental, se pudo observar en ambos estudios la posibilidad de cambiar el comportamiento de los parámetros que se desean controlar de acuerdo a los requerimientos. En esta investigación realizada, sería a través de la selección y uso de componentes adecuados y mediante la programación en el IDE Arduino.

A diferencia de Suryawanshi, Ramasamy, Umashankar & Sanjeevikumar (2018), quienes utilizaron los módulos de sensores de costo reducido para el micro controlador Arduino; el cual hizo posible medir tres parámetros fundamentales, como son la humedad, la temperatura y la humedad del suelo cuyos valores se mostraron en una pantalla LCD. En este estudio, para realizar dichas mediciones, se utilizó la plataforma de desarrollo NodeMcu v2 - ESP8266 que también es de costo reducido, permitiendo el control de los parámetros físicos antes indicados; además, dicha plataforma permite igualmente, utilizar la programación en el IDE Arduino.

Conforme a lo señalado por Kennedy, Bertao, Arrúa & Ayala (2016), con respecto a la iluminación, es una variable obtenida por un sistema de control a través de un sensor de luz, dicha iluminación es por un controlador que posee una orden asignada; así mis-

mo, dicho controlador activa el actuador que en este caso permite contar con la iluminación cuando sea requerido para contribuir de manera significativa con el desarrollo de la planta.

## Conclusiones

- Se concluye que con un error del 5 % se puede afirmar que los valores promedios de la temperatura (13,36 °C), humedad relativa (86,85 %) y humedad del suelo (83,25 %) medidos en el prototipo de un invernadero real, no superan los valores máximos de control considerados para este estudio los cuales fueron de 15 °C, 90 % y 90 % respectivamente.

## Limitaciones

Es necesario tener en cuenta para pruebas que proporcionen resultados óptimos todas las características asociadas con el desarrollo de las plantas, pues existen una serie de variedades y; tener en cuenta, la participación de un especialista que contribuya con las investigaciones de este tipo para obtener resultados óptimos, esto fue una limitación en este estudio, ya que muchos valores se obtuvieron de otros estudios y teorías utilizadas y no se contó con la participación directa de un profesional del área.

## Referencias bibliográficas

- Bacho, J. (2011). Fotosíntesis, transpiración y rendimiento de espinaca (*Spinacia oleracea*, L) bajo diferentes condiciones de humedad y riego por goteo. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro" Unidad Laguna. Retrieved from [http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/2708/JUAN\\_BACHO\\_SILVA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/2708/JUAN_BACHO_SILVA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Calvo, J. (2018). Adaptabilidad y potencial de rendimiento de tres variedades de espinaca (*Espinacia oleracea* L.) en el distrito de Lamas Tesis. Universidad Nacional de San Martín Tarapoto - Perú. <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.76.032109>
- Hernández, R.; Fernández, C. & Baptista, M. del P. (2014). Metodología de la investigación (Sexta ed.). México D.F.
- Janpla, S.; Kularbphetong, K. & Chuandcham, S. (2019). Advances in computer communication and computational sciences (Vol. 759). Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-0341-8>
- Kennedy, A.; Bertao, D.; Arrúa, J. & Ayala, K. (2016). Prototipo de sistema de monitoreo y control para producción de tomate en invernadero. VIII

- Congreso Internacional de Computación y Telecomunicaciones - COMTEL 2016, 288–293.
- Liang, T. W. & Tsai, C. F. (2018). Application of intelligent monitoring system in campus greenhouse. Proceedings of the 2017 IEEE International Conference on Information, Communication and Engineering: Information and Innovation for Modern Technology, ICICE 2017, 200–203. <https://doi.org/10.1109/ICICE.2017.8479169>
- Maletta, H. (2017). La pequeña agricultura familiar en el Perú - Una tipología microrregionalizada. (O. de las N. U. para la A. y la Agricultura, Ed.), IV Censo Nacional Agropecuario 2012: Investigaciones para la toma de decisiones en políticas públicas. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-i6759s.pdf>
- Marcelino, R.; Casagrande, L.; Cunha, R.; Crotti, Y. & Gruber, V. (2018). Internet of things applied to precision agriculture. Proceedings of the 14th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation REV 2017, 22. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-64352-6>
- Moummadi, K.; Abidar, R.; Medromi, H. & Ziani, A. (2019). Advanced intelligent systems for sustainable development (AI2SD'2018) (Vol. 912). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-12065-8>
- MSC Invernaderos. (2015). ¿En qué consiste un invernadero inteligente? Retrieved September 8, 2019, from <https://www.novagric.com/es/blog/articulos/que-es-un-invernadero-inteligente>
- Navarrete, A. (2006). Evaluación agronómica de once cultivares de *Spinacia oleracea* L. para cultivo industrial en la zona de Valdivia. Universidad Austral de Chile.
- Panda, C. K. & Bhatnagar, R. (2020). Social Internet of things in agriculture: An overview and future scope. Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-24513-9\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-030-24513-9_18)
- Productos Agri-Nova Science. (2015). Control climático en invernaderos. 1a parte. Retrieved September 7, 2019, from [http://www.infoagro.com/industria\\_auxiliar/control\\_climatico.htm](http://www.infoagro.com/industria_auxiliar/control_climatico.htm)
- Rodríguez, J.; Betancourt, D. & Germán, G. (2016). Internet of things: A prototype architecture using a Raspberry Pi, (August 2015), 618–631. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-21009-4>
- Sánchez, H.; Reyes, C. & Mejía, K. (2018). Manual de términos en investigación científica, tecnológica y humanística. Mycological Research (Vol. 106). Retrieved from <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/1480>
- Shi, Y.; Wang, Z.; Liu, X.; Zhao, D. & Huang, L. (2011). A web-based monitoring system as a measurement tool in greenhouses using wireless sensor networks. IFIP Advances in Information and Communication Technology, 346 AICT(PART 3), 289–297. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-18354-6\\_35](https://doi.org/10.1007/978-3-642-18354-6_35)
- Suryawanshi, S.; Ramasamy, S.; Umashankar, S. & Sanjeevikumar, P. (2018). Design and implementation of solar-powered low-cost model for greenhouse system. Lecture Notes in Electrical Engineering, 435, 357–365. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-4286-7\\_35](https://doi.org/10.1007/978-981-10-4286-7_35)
- Valverde, A. (2014). Evaluación de tres densidades de siembra en el rendimiento del cultivo de espinaca (*spinacia oleracea*) en el distrito y provincia de Pomabamba departamento de Ancash. Universidad Nacional “Santiago Antúnez de Mayolo.”
- Vasco, L. F. F. (2015). Manual: Espinaca. Cámara de Comercio de Bogotá. Bogotá: Cámara de Comercio de Bogotá. Retrieved from <http://hdl.handle.net/11520/14310>
- Vega, J.; Lagos, M.; Salgado, G.; Tapia, V.; Sánchez, F. & Cosme, J. (2018). Implantación de una Lpwan para monitoreo de temperatura y humedad en un invernadero. Pistas Educativas, 39(128), 1531–1548. Retrieved from <http://www.itcelaya.edu.mx/ojs/index.php/pistas/article/view/1134/1031>
- Walpole, R.; Myers, R.; Myers, S. & Ye, K. (2007). Probabilidad & estadística para ingeniería y ciencias (Octava ed.). México: Pearson Educación de México.
- Yu, J. F.; Hu, H. Y.; Li, Y. C.; Xiang, L. H.; Yang, B.; Zhou, Y. G. & Zhou, F. M. (2017). The design and implement of monitoring system for intelligent university archive room based on zigbee wireless sensor networks. Journal of Computers (Taiwan), 28(3), 215–234. <https://doi.org/10.3966/199115592017062803018>