

Sistema inalámbrico portátil de bajo costo para monitoreo de las variables temperatura y humedad relativa en un invernadero



Colaboración

José de Jesús García Cortés; Gustavo Chávez Orendain; Erick Yovanny Fajardo Gómez; Jesús Rafael Sahagún Benítez, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán

RESUMEN: Se diseñó y se implementó un sistema de monitoreo vía radiofrecuencia para el invernadero del Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán, el cual tuvo como objetivo estar supervisando las dos variables más importantes que se tienen dentro de un invernadero (la humedad relativa y la temperatura), ya que, si estas variables no se encuentran dentro del rango permitido por el tipo de cultivo, puede repercutir en graves consecuencias para las plantas que se encuentran dentro del invernadero. El sistema que se ha diseñado es portable, capaz de transmitir datos a una distancia cercana a 1 km, y puede ser utilizado en ambientes que no pasen los 80°C en temperatura y 90% en Humedad relativa, además se le añadió al sistema dos salidas de control las cuales son utilizadas para controlar un variador de frecuencia el cual sirve para mover los actuadores (ventiladores, fogger y quemadores).

PALABRAS CLAVE: Invernadero, Humedad Relativa, Radiofrecuencia, Temperatura, Transmisor.

ABSTRACT: The radiofrequency monitoring system was designed and implemented for the greenhouse of the Technological Institute of Ciudad Guzmán, which had as objective to be monitoring the two most important variables within a greenhouse, which are relative humidity and temperature, since, if these variables are not within the range allowed by the type of crop, it can have serious consequences for the plants that are inside the greenhouse. The system that has been designed is portable, capable of transmitting data at a distance close to 1 km, and can be used in environments that do not exceed 80°C in temperature and 90% in relative humidity, in addition two outputs were added to the system of control which are used to control a frequency inverter which serves to move the actuators (fans, fogger and burners).

KEYWORDS: Greenhouse, Relative Humidity, Radio Frequency, Temperature, Transmitter.

INTRODUCCIÓN

Los invernaderos son usados para reducir la influencia de factores adversos que limitan la producción y la calidad de los cultivos, en ellos se incluyen poder controlar las variables ambientales y hacer uso eficiente del agua con la que se riega el cultivo [1].

En la actualidad el poder monitorear y controlar el microclima que hay dentro del invernadero es una de las prioridades de los agricultores, puesto que, si no se tienen condiciones ideales para que el cultivo se desarrolle de la mejor manera, se reflejará directamente en el bolsillo del agricultor, puesto que tendrá que utilizar

más fertilizantes, plaguicidas e incluso gastar más agua para el riego. Pero en cambio si se tiene un control para las variables, el productor observara, como la producción empieza a incrementar y no gastara tanto en insumos para su producción. Un ejemplo de la problemática que se puede presentar al no controlar las variables ambientales es que, si la temperatura es alta el crecimiento del fruto será de manera desproporcionada y las plantas no absorberán los nutrientes de manera correcta, en el caso de la humedad relativa, si se encuentra de manera excesiva dentro del invernadero, se verá reflejado en hongos en las plantas y como consecuencia final, la planta morirá.

El uso de sistemas remotos o sistemas por radiofrecuencia que utilizan sensores y que recolectan datos en el ambiente están facilitando el monitoreo y control de entornos físicos, por ejemplo, lugares muy remotos o inhóspitos, con una mayor precisión [2].

En los últimos años los países que más destacan por su agricultura protegida son China, Israel, España, y Holanda. En nuestro país se está trabajando cada vez más en la agricultura protegida, y esto se puede ver en los avances tecnológicos que se han hecho en estados como Tamaulipas, donde se está produciendo jitomate sobre el terreno semidesértico, en donde anteriormente solo crecían órganos o biznagas, en este proyecto se están utilizando sistemas de transmisión para el constante monitoreo de variables dentro del invernadero [3].

En Baja California Norte, están trabajando en el uso de la energía geotérmica para poder climatizar los invernaderos y mantenerlos a una sola temperatura todo el año, lo cual tendrá las ventajas de que la producción será mayor y los cultivos producirán en menor tiempo, en este sistema están implementando Wireless Sensor Network (WSN) para la toma de lecturas en campo [4].

A nivel Latinoamérica se está trabajando cada vez más en la agricultura de precisión, un ejemplo de ello, es en Ecuador donde se utilizó un WSN, para optimizar el control de un sistema de riego por goteo y el monitoreo de agentes ambientales involucrados en un cultivo de hortalizas bajo invernadero, todo esto con el objetivo de lograr un mejor aprovechamiento del agua en el riego y obtener un sistema de almacenamiento de datos de los parámetros para ser estudiados, y construir una base de datos para realizar la predicción de dichos parámetros en un futuro [5].

En Colombia se encuentran también trabajos de investigación en la Universidad Pontificia Bolivariana de Bogotá donde se automatizó un sistema de riego por goteo para flores, en donde se empleó un sistema de transmisión RF donde la información es programada por el operario del invernadero o es adquirida por las mediciones de humedad del suelo. El diseño se basa en la adquisición de las señales a través de microcontroladores, las cuales son enviadas vía RF a una estación remota donde se contro-

lan y supervisan los estados de las variables a través de una herramienta computacional [5].

En el lejano país andino de Chile, se desarrolló un sistema de monitoreo para un invernadero agrícola, es cual está ubicado entre las zonas semidesérticas de Arica y Parícuta, este sistema se encuentra conectado a internet y puede visualizar el microclima desde una aplicación en celular. Este sistema ayudo a prevenir el error humano, puesto que las personas ya no eran las encargadas de tomar las decisiones, tanto de los riegos como de abrir y cerrar ventanas, esto ayudo a incrementar una la producción y ahorrar en el gasto de agua [6].

El Arduino (Figura 1) se ha convertido en una herramienta muy poderosa para elaborar códigos ya que al ser una plataforma de código abierto se tiene mucho respaldo en la comunidad virtual, para efecto de este proyecto se utilizó el Arduino Uno ya que es económico y cuenta con las entradas y salidas suficientes para el proyecto [7].



Figura 1. Arduino Uno

En el Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán se cuenta con un invernadero que es utilizado para investigaciones de diferentes áreas académicas, sin embargo existe la problemática de que en este invernadero no cuenta con un sistema de monitoreo para las variables de humedad relativa y temperatura, por estas razones se decidió desarrollar un sistema de monitoreo para medir dichas variables físicas que son de suma importancia para el proceso biológico de desarrollo de los cultivos, estas variables son medidas y procesadas por cuatro transmisores que se encuentran dentro del invernadero, posteriormente esos mismos transmisores envían los datos a un dispositivo de mando móvil, donde dichos datos son visualizados en una pantalla LCD, el dispositivo móvil puede tenerse dentro del invernadero o para más comodidad en un edificio (Edificio S, Laboratorio de Electrónica) que se encuentra a más o menos 100 metros de distancia del invernadero. Algunas de las ventajas de este sistema de radiofrecuencia son que es:

- Un sistema portátil.
- Capaz de monitorear el microclima del invernadero en tiempo real.

- Económico, ya que se invirtió alrededor de 3100 pesos mexicanos.

Algunas de las desventajas son que:

- Su distancia de transmisión de señal es corta, no supera el kilómetro de distancia.
- Si el microclima sobrepasa los 50 grados Celsius, el Arduino comienza a fallar.
- Al utilizar sensores relativamente económicos, sus lecturas no son muy exactas.
- Su monitoreo solo es local, no está conectado a internet para ser visualizado en cualquier lugar donde haya este medio.

MATERIALE Y MÉTODOS

Descripción del sistema

Lo que se propone es crear un sistema como el que se observa en la Figura 2, el cual se compone de un dispositivo maestro (M) y de cuatro transmisores esclavos que se encuentran dentro del invernadero (1, 2, 3 y 4).

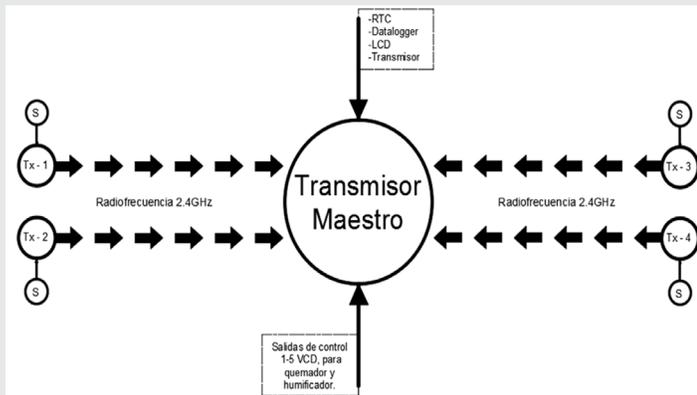


Figura 2. Sistema general.

El nodo maestro es un dispositivo que recibe señales desde el invernadero, es una unidad de adquisición de datos, es el responsable de recopilar las variables del microclima que hay dentro del invernadero (temperatura y humedad relativa) y guardarlos en un datalogger para tener un historial de las condiciones que se tuvieron en el invernadero, las cuales posteriormente sirven para desarrollar análisis del comportamiento del microclima, también cuenta con una pantalla LCD (Liquid Crystal Display) que muestra las lecturas en tiempo real de los datos recibidos de los transmisores.

Los transmisores esclavos tienen la finalidad de recibir las lecturas de los sensores DHT22 y enviarlas a través de radiofrecuencia al dispositivo maestro.

Las medidas con las que cuenta todo el invernadero son de 17 por 17m, este cuenta con dos naves (Figura 3). La distribución que se le dio a los transmisores se muestra en la Figura 3, con esta distribución se mejora el cálculo para sacar un mejor promedio de la temperatura y de

la humedad relativa, puesto que, entre más sensores, se tiene una lectura más cercana al valor real dentro del invernadero.

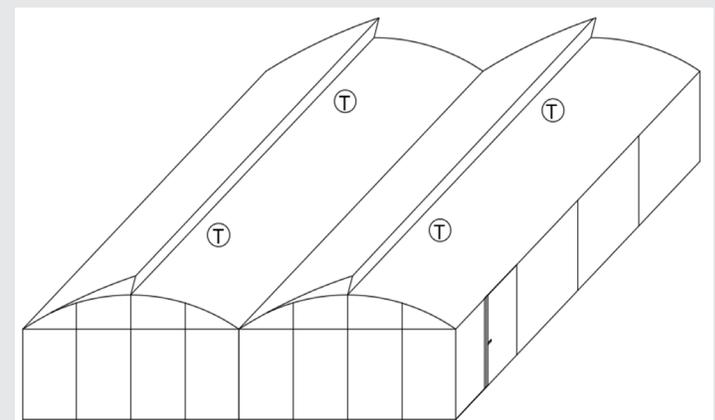


Figura 3. Distribución de los cuatro transmisores dentro del invernadero.

Para este trabajo se seleccionó el sensor DHT22 (Figura 4) de la compañía electrónica Nordic Semiconductor, puesto que contiene en su mismo chip el elemento necesario para medir humedad relativa y temperatura. El rango de medición de temperatura es de 5°C a 90 °C con precisión de ±0.5 °C y el rango de humedad relativa es de 10% a 100% con precisión de ±2.8%, el tiempo entre lecturas es de 2 segundos [8].

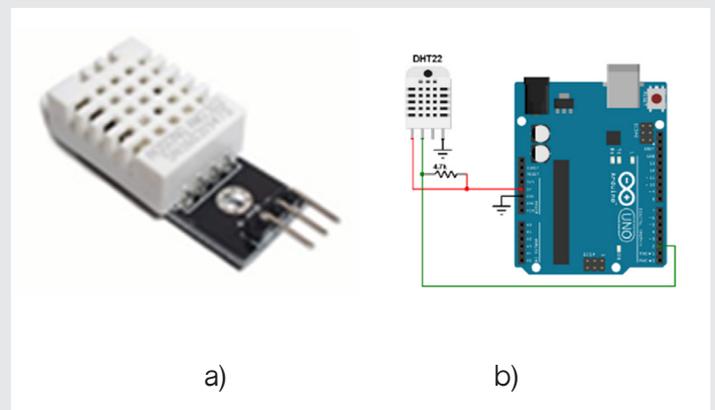


Figura 4. Elementos de medición. Sensor DHT22 a) y conexión del DHT22 con Arduino b).

El transceptor NRF24L01 que se observa en la Figura 5, funciona en la banda ISM (Industrial, Scientific and Medical) de 2.4 GHz por lo que no necesita licencias y es libre en todo el mundo, tiene 3 velocidades de transmisión de datos 250 Kbps, 1 Mbps y 2 Mbps. Su consumo energético es ultra bajo y es capaz de durar años utilizando una batería de tipo LiPo.

Para desarrollar esta investigación se distribuyó por el interior del invernadero cuatro transmisores que tienen conectados cuatro sensores DHT22 cada uno (Figura 6), para sumar un total de dieciséis sensores, con los cuales es posible abarcar el área de todo el invernadero y así

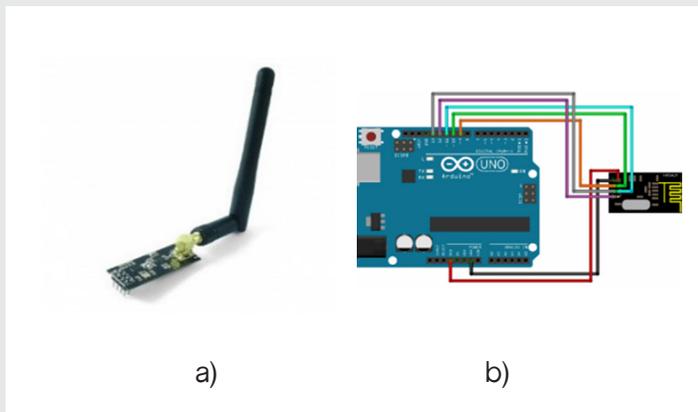


Figura 5. Transceptor NRF24L01. Módulo de larga distancia a) y Conexión transmisor-arduino b).

tener un mejor promedio de lecturas de todo el microclima. Este tipo de arreglo tiene mucha aplicación en invernaderos con grandes extensiones de terreno ya que al utilizar la transmisión por RF y utilizar batería no contamina la estructura metálica con cableado que muchas veces solo estorba.

más independiente ya que el cambio de baterías se hace aproximadamente cada 8 meses, abarcando fácilmente el tiempo de una cosecha.

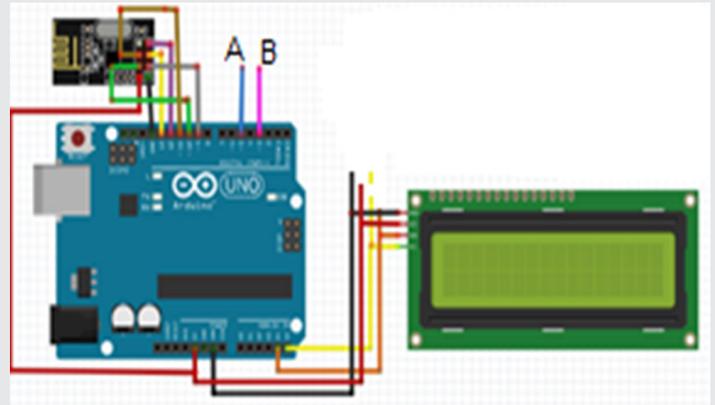


Figura 7. Transmisor maestro.

RESULTADOS

Para probar el sistema de monitoreo, los equipos se instalaron dentro del invernadero, como se observa en la Figura 8, donde el transmisor se acoplo a un tubo de la estructura metálica (se buscó un lugar estratégico donde la estratificación térmica fuera muy variante) y los sensores se instalaron a una altura de aproximadamente tres metros (Figura 9) casi hasta donde la cortina tiene su límite.

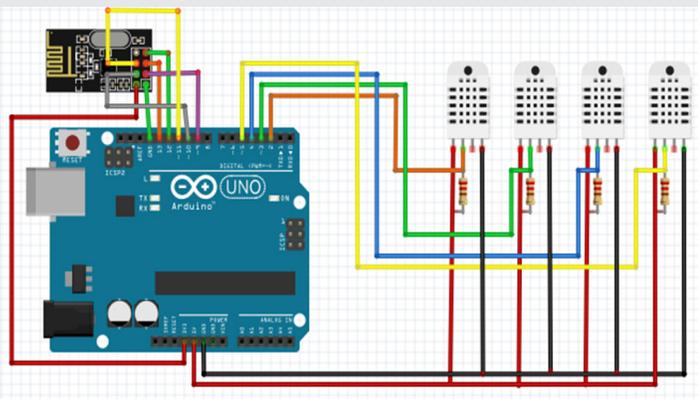


Figura 6. Conexión de sensores DHT22 dentro del invernadero.

El transmisor maestro cuenta con una pantalla LCD la cual hace posible visualizar los datos provenientes de los transmisores, la conexión utilizada se muestra en la Figura 7. También se le configuraron dos salidas (A y B) las cuales variaran entre 1 y 5 volts dependiendo de la temperatura y humedad relativa que haya dentro del invernadero, ese voltaje es medido a un convertidor digital-analógico al cual le salen entre 4-20 mA, utilizado para alimenta una entrada analógica de un PLC el cual controla diferentes actuadores (un Airwet o un quemador depende la hora del día) para modificar la temperatura y humedad relativa del invernadero.

El utilizar la radiofrecuencia hace que el sistema se haga más flexible ya que no se estará manipulando tanto cable dentro del invernadero, otra de las cosas que se adaptó al sistema es que se utilizaron baterías de 3500 mAh para alimentar los transmisores, esto hace al sistema



Figura 8. Transmisor dentro del invernadero.



Figura 9. Sensor DHT22 dentro del invernadero.

FECHA	TIEMPO	TEMPERATURA	HUMEDAD RELATIVA
18/07/2019	00:05:00	18.17 °C	94.12 %
18/07/2019	00:10:00	18.09 °C	94.36 %
18/07/2019	00:15:00	17.76 °C	94.43 %
18/07/2019	00:20:00	17.69 °C	94.49 %
18/07/2019	00:25:00	17.54 °C	94.67 %
18/07/2019	00:30:00	17.49 °C	94.69 %
18/07/2019	00:35:00	17.42 °C	94.78 %
18/07/2019	00:40:00	17.38 °C	94.83 %
18/07/2019	00:45:00	17.22 °C	94.96 %

Figura 10. Lectura guardadas en el datalogger.

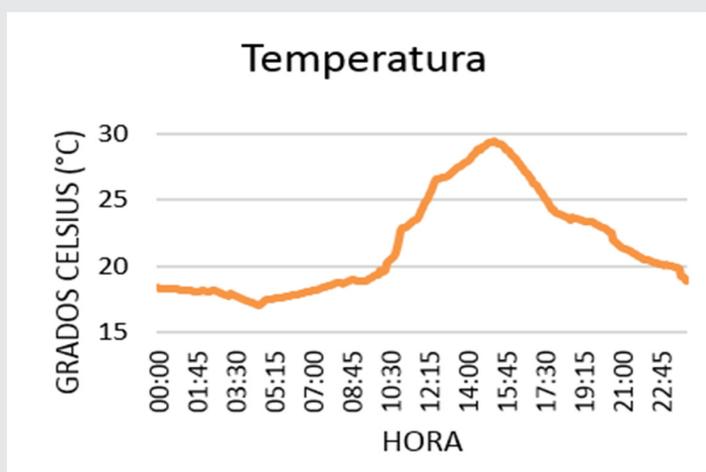


Figura 11. Lecturas de la temperatura.

Los datos utilizados para efectos de estos resultados, fueron lo que se obtuvieron en un día soleado, con nubes y con un viento que no afectaba mucho a las mediciones de la parte interior del invernadero, cabe mencionar que el invernadero al momento de esta medición tenía las cortinas abiertas, las cuales influyeron directamente en las lecturas, ya que al estar abiertas existen rachas de viento que atraviesan el invernadero y hacen que los valores de humedad relativa y temperatura se comporten similar a las que existen afuera del invernadero.

El datalogger que está constantemente guardando los datos, tiene una memoria de 8 GB, lo que representa aproximadamente 2 años de guardar datos cada 5 minutos. La configuración del datalogger se muestra en la Figura 10, donde se tiene el registro tanto de humedad relativa, temperatura y la fecha.

En la Figura 11, se tiene el comportamiento de la temperatura. Su punto máximo registrado fue alrededor de las 3:05 de la tarde, y su mínimo cerca de la 4 de la mañana. Durante ese día hubo una variación de alrededor de 13 grados Celsius. Si se tuviera un cultivo de arándano (por usar mencionar alguno) no se tuvieron muchos problemas, porque ese cultivo su rango de temperatura va desde los 16 a 25 grados Celsius [10], solo se tendría que utilizar un humidificador para bajar la temperatura.

La humedad relativa se comporta de manera inversa a la temperatura (si se analiza las Figura 13 y la Figura 12 se puede notar ese comportamiento). Esto es, que cuando la humedad relativa está en su punto máximo, la temperatura está en su punto mínimo y de la otra manera cuando la temperatura está en su punto máximo la humedad relativa se encuentra en su punto mínimo, todo esto es por el Déficit de Presión del Vapor (DPV) que no es más que la diferencia (déficit) entre la cantidad de agua en el aire (en forma de vapor) y la cantidad de humedad que puede acomodar cuando está saturado de agua (vapor) [11].

De la Figura 12, lo que más sobresale es su punto máximo en la madrugada, es que a la 4 de la mañana casi llega al 100% de humedad, de igual manera si se tuviera planta de arándano, lo que se recomienda hacer, es instalar un equipo de calefacción para que esa humedad la baje hasta un 75%.

Los dispositivos necesarios para elaborar el sistema de monitoreo, se muestran en la Figura 13. Cabe mencionar que adquirirlos es muy fácil, ya que todos los encuentras en internet (Mercado Libre).

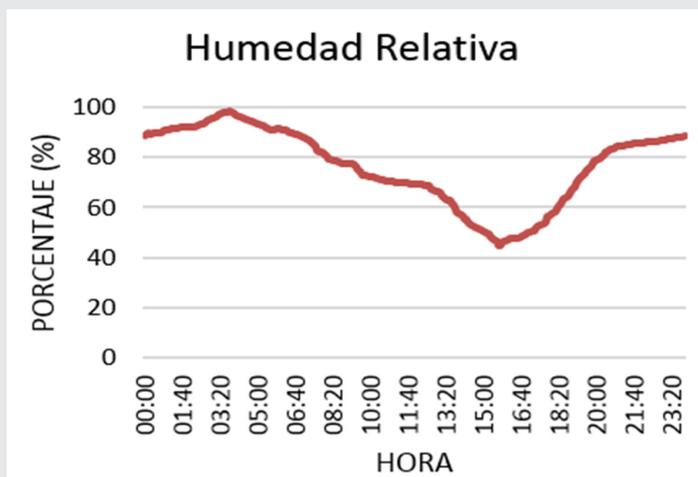


Figura 12. Lecturas de la humedad relativa.

Cantidad	Dispositivos	Costo PU	Total
5	Transmisor NRF24L01	79	395
1	Memoria SD 8GB	90	90
1	Modulo SD	25	25
1	RTC DS3231	149	149
5	Arduino	160	800
1	LCD	68	68
16	Sensor DHT22	95	1520
1	Caja Industrial	274	274
1	Materiales varios	200	200
TOTAL		3126	MXN

Figura 13. Elementos del sistema de monitoreo.

Se hicieron 2 cotizaciones, a empresas que se dedican a ese ramo, ninguna empresa nos autorizó utilizar su nombre y su precio para incluirlas en el presente documento (según por sus políticas), sin embargo, se puede comentar que un sistema de monitoreo en conjunto con un humidificador, ronda los 100 mil pesos mexicanos.

CONCLUSIONES

Se diseñó e implementó un sistema de radiofrecuencia, el cual se encarga de la supervisión del microclima que presenta el interior del invernadero, donde se miden diferentes variables físicas como: temperatura y humedad relativa. El sistema cumplió con el objetivo que se planteó en un principio.

En un futuro para mejorar este sistema considerablemente (versión 1) solo se le tendrá que adaptar unos sensores que tengan más exactitud y una antena de radio que tenga más alcance.

Y para concluir, basado en los resultados que se obtuvieron, se expone lo siguiente: Los horarios más críticos que se presentan en un invernadero son alrededor de las 3:00 pm cuando la temperatura está en su punto máximo del día y 4:00 am cuando la humedad relativa está en su punto más alto, si un agricultor desea obtener mejores resultados, debe de poner especial atención a estos horarios y poner actuadores que contrarresten estas condiciones climáticas.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Suarez J. y Suarez M. (2014). *Revista Agroinformática. Monitoreo De Variables Ambientales En Invernaderos Usando Tecnología Zigbee*, pp 165-17.

[2] Abad, G. (2016). *Todo Robot. Sensores en robótica*. Recuperado el 10 de Octubre de 2019 de <http://www.alcabot.com/alcabot/seminario2006/Trabajos/GuillermoAbadCarton.pdf>.

[3] Reynaga, J. (2014). *Revista Agro. Producen en desierto con invernaderos en Tamaulipas*. Recuperado el 11 de Mayo de 2019 de <http://tierrafertil.com.mx/producen-en-desierto-con-invernaderos-en-tamaulipas/>.

[4] Navarro, K. (2018). *Revista CienciaMX. Climatizan invernaderos de pepino y tomate con energía geotérmica*. Recuperado el 12 de Mayo de 2019 de <http://cienciamx.com/index.php/tecnologia/energia/24825-climatizar-geotermia-cemie-upbc>.

[5] Palacios, J. Ponce, K. Peluffo D. y Negrete, K. (2017). *Diseño de una red de sensores con tecnología 802.15.4 basado en el concepto de agricultura de precisión aplicada a cultivos de hortalizas bajo invernadero: Una prueba piloto*. Recuperado el 12 de Octubre de 2019 de <https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/maskana/article/view/1456/pdf>.

[6] Agudelo, R. Castellanos, D. y Medina M. (2015) *Automatización del sistema de riego para el cultivo de flores tipo exportación. Disertación trabajo de grado, Departamento de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Javeriana*.

[7] Mamani, M. Villalobos, M. y Herrera, R. (2017). *Remote Sensor Monitoring by Radio with Arduino. Estados Unidos: independiente*.

[8] Leithauser D. (2016). *Remote Sensor Monitoring by Radio with Arduino. Estados Unidos: independiente*.

[9] Nordic S. (2004). *Single chip 2.4 GHz Transceiver NRF24L01*. Recuperado el 19 de Mayo de 2019 de https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/nRF24L01_prelim_prod_spec_1_2.pdf.

[10] Infoagro. (2004). *El cultivo del arándano*. Recuperado el 25 de octubre de 2019 de https://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_del_arandano.asp.

[11] Rizo, E. (2010). *Hortalizas. Utiliza el Déficit de Presión del Vapor en invernadero*. Recuperado el 25 de octubre de 2019 de <https://www.hortalizas.com/horticultura-prottegida/invernadero/utiliza-el-deficit-de-presion-del-vapor-en-invernadero/>.