

Diseño de un sistema de control y automatización de temperatura, humedad del suelo y humedad relativa para optimizar el rendimiento de cultivos bajo cubierta en CORHUILA

Design of a control and automation system for temperature, ground humidity and relative humidity to optimize crop yield under cover in CORHUILA

Alvaro Hernán Alarcón López¹, Geyni Arias Vargas², Cristian Javier Díaz Ortiz³ y Juan David Sotto Vergara⁴
Facultad de Ingeniería, Corporación Universitaria del Huila - CORHUILA Neiva, Colombia.

¹alvaro.alarcon@corhuila.edu.co, ²geyni.arias@corhuila.edu.co, ³cjdiaz@corhuila.edu.co, ⁴jdsotto@corhuila.edu.co

Resumen— El desarrollo del presente trabajo gira entorno al diseño de un sistema de automatización de cultivos bajo cubierta en la Corporación Universitaria del Huila – CORHUILA, con el propósito de obtener un mayor rendimiento de los mismos; todo esto gracias a la incorporación de ambientes ideales de crecimiento para las plantas, a través de la implementación de procesos de aislamiento y control electrónico de variables ambientales. Uno de los propósitos fundamentales de este sistema, consistió en la solución de los posibles problemas de inexactitud en la medición y control de las variables climáticas al interior de un invernadero; dificultades que en la mayoría de los casos fueron asociadas al control manual de la temperatura, humedad y luminosidad de los cultivos bajo cubierta. En este sentido y con el propósito de diseñar el dispositivo de control, se acudió a la metodología cuantitativa a fin de recopilar el conocimiento empírico de los agricultores de la región central del departamento del Huila, por medio de una serie de encuestas y entrevistas, además se efectuó una revisión de proyectos de este tipo ejecutados por algunas empresas y universidades a nivel nacional y latinoamericano; una vez realizado el análisis de la información se establecieron los requerimientos funcionales del sistema, posteriormente se realizaron el diseño, desarrollo y las pruebas de implementación. Al final del proceso se encontró que el sistema presenta un comportamiento adecuado ya que es capaz de responder en tiempo real a las diferentes mediciones obtenidas de las variables climáticas estableciendo el proceso de control adecuado para cada caso, esto gracias al uso de enlaces ZIGBEE peer to peer ya que estos proporcionaron un mayor ancho de banda para la transmisión de datos, siempre y cuando no existieran obstáculos que propiciaran alteraciones en las señales enviadas.

Palabras claves— Actuadores, automatización, humedad, invernadero, sensores, software, temperatura.

Abstract— The development of the present work revolves around the design of a system of automation of crops under cover at the University Corporation of Huila - CORHUILA, with the purpose of obtaining a higher yield of them; All thanks to the incorporation of ideal growth environments for the plants, through the implementation of processes of isolation and electronic control of environmental variables. One of the fundamental purposes of this system was to solve the possible problems of inaccuracy in the measurement and control of climatic variables inside a greenhouse; Difficulties that in most the cases were associated to the manual control of the temperature, humidity and luminosity of the crops under cover. In this sense and with the purpose of designing the control device, the quantitative methodology was used to compile the empirical knowledge of farmers in the central region of the department of Huila, through a series of surveys and interviews, in addition A review of projects of this type carried out by some companies and universities at national and Latin American level was carried out; Once the information analysis was carried out, the functional requirements of the system were established, the design, development and implementation tests were subsequently carried out. At the end of the process it was found that the system presents an adequate behavior since it can respond in real time to the different measurements obtained from the climatic variables, establishing the appropriate control process for each case, thanks to the use of ZIGBEE peer to Peer as these provided a greater bandwidth for data transmission, if there were no obstacles that would lead to alterations in the signals sent.

Keywords— Actuators, automation, humidity, greenhouse, sensors, software, temperature.

1. Introducción

En la actualidad el clima a nivel mundial ha cambiado de forma drástica debido al aumento de los índices de contaminación y el posterior surgimiento de fenómenos

tales como: el efecto invernadero, el niño, la niña, etc.; esta situación ha generado una serie de problemáticas de índole ambiental que han alterado el estilo de vida de la

humanidad, especialmente la forma en la cual se desarrollan los procesos en la agricultura.

Estas variaciones climáticas tales como las heladas, generación de tormentas de grandes proporciones, el incremento de la radiación solar, las sequías, etc., afectan los diversos cultivos alrededor del mundo, de tal forma que se presenta una preocupante reducción de la cantidad y calidad de los productos agrícolas cosechados.

Esta afectación de la producción agrícola genera a su vez un detrimento de las ganancias de los agricultores, por tanto como solución a esta problemática han surgido una serie de alternativas a los cultivos tradicionales. Así como en [1] una de las posibilidades alternativas consiste en implementar una protección física a los cultivos por medio de invernaderos, los cuales al contar con una cubierta protectora aíslan algunos factores ambientales nocivos; pero al mismo tiempo permiten el ingreso de radiación solar, para de esta manera lograr condiciones ambientales ideales; todo esto gracias al control de la humedad del suelo y relativa, temperatura, luminosidad, etc.; a través de sistemas actuadores tales como: sistema de riego y desagüe, persianas protectoras, fuentes de calor, fuentes de frío y otro tipo de mecanismos.

Por lo general este control de las condiciones climáticas de las plantaciones al aire libre y bajo cubierta se realizan de forma manual, lo cual puede generar una serie de situaciones perjudiciales para el cultivo, como pueden ser: un excesivo suministro de agua al obtener una lectura inadecuada de los niveles de humedad del suelo, incrementos de temperatura que afectan la transpiración de la plantas, dificultando la toma de nutrientes por parte de las mismas, etc.

Las TIC pueden dar solución a esta problemática a través de procesos de control autónomo de las variables ambientales en los cultivos bajo cubierta; en este mismo sentido se puede afirmar que ya existe una disciplina propia en este campo denominada agricultura de precisión, la cual consiste en la aplicación de la tecnología con el propósito de mejorar las prácticas agrícolas.

Ejemplo de ello es el de las WSN (redes inalámbricas de sensores) aplicadas al monitoreo y control de variables ambientales, tales como: la humedad relativa, humedad del suelo, temperatura, etc.; que intervienen en el desarrollo de los cultivos, tal como se puede apreciar en [2].

2. Antecedentes

A nivel mundial el uso de invernaderos automatizados ha aumentado y cada día surgen más modelos y diseños apropiados para cada cultivo. Se pueden definir como elementos de una agricultura intensiva que busca mayor rendimiento y calidad, teniendo como fundamento principal crear instalaciones climáticas que mejoren las condiciones de los productos en su crecimiento.

A nivel nacional y continental existe un interés desarrollar cultivos bajo invernadero, como se afirma en [3] “A nivel global existe una extensión estimada de 949000 hectáreas de cultivo bajo invernadero. La mayor porción está en Japón con 700000 ha, lo cual corresponde al 73% del área global. En Europa se encuentran 170000 ha, en donde España e Italia son los países con mayor fracción cubierta, con el 31% y 17% respectivamente. En Estados Unidos existe un área de 5000 ha (0.52%), y en Latinoamérica las mayores áreas se encuentran en México y Colombia con 15000 (1,58%) y 7000 ha (0,73%) respectivamente”.

Como se puede observar en [4] Colombia no ha sido ajena a la implementación de esta tecnología en los cultivos y tenemos como ejemplo la empresa JUSMAR, la cual se ha dedicado a elaborar invernaderos personalizados los cuales no cuentan control electrónico pero si con mecanismos que serían de fácil aplicación en un sistema automatizado.

Otro ejemplo a nivel nacional en el cual se optó por trabajar con este tipo de tecnologías debido a los beneficios mencionados anteriormente, es el caso de La Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, afirma [5] que esta institución posee seis invernaderos automatizados con tecnología española, los cuales prestan su servicios como centros de investigación para la corporación en el municipio de Mosquera (Cundinamarca). Son estos algunos de los casos que sirven de referencia con el fin de desarrollar proyectos propios de este tipo en la región, en los cuales además se podrían incorporar investigaciones y diseños realizados por talento colombiano.

En este mismo sentido la comunidad universitaria ha tendido participación con proyectos de investigación con respecto a la medición de factores micro climáticos en los invernaderos; una prueba de esto son los grupos de investigación GIDET y GAMA de la Universidad del Quindío quienes bajo un proyecto de investigación

denominado “Análisis de Datos del Microclima Dentro del Invernadero de la Unidad Agroecológica la Aldana de la Universidad del Quindío”, realizaron la intervención a un invernadero sin automatización, con el objetivo de rediseñar su sistema de medición de datos y de afectación de variables en el micro clima. [6].

La universidad Tecnológica del suroeste de Guanajuato es otro ejemplo de aplicación de estos proyectos, ya que ha desarrollado aplicaciones para sus invernaderos los cuales no contaban con sistemas de control ni automatización del microclima y por lo tanto no contaban con la posibilidad de regular las condiciones ambientales necesarias de acuerdo al tipo de cultivo establecido.[7]

3. Materiales y métodos

Para el desarrollo del presente trabajo se usó una metodología cuantitativa, se realizaron una serie de entrevistas a los agricultores con cultivos bajo cubierta de la región central del departamento del Huila; a partir del análisis de datos obtenidos y de la observación directa no estructurada de variables ambientales, se diseñó un sistema automático de control proporcional de temperatura, humedad del suelo y humedad relativa.

2.1 Recolección de Información

Se realizó un muestreo no probabilístico, debido a la inexistencia de una base de datos específica para la población objetivo; para la selección de la muestra se usaron además algunos criterios de exclusión tales como: seguridad para el desplazamiento y descarte de lugares lejanos o de difícil acceso. De esta manera se seleccionó una muestra de 5 agricultores los cuales poseían cultivos bajo cubierta.

2.2 Análisis de Información

Una vez realizadas las visitas los agricultores que cultivan bajo cubierta en los municipios de Garzón y Gigante (Huila); se obtuvieron los siguientes resultados: 75% de los invernaderos estaban contruidos con guadua y solo el 25% con estructuras metálicas.

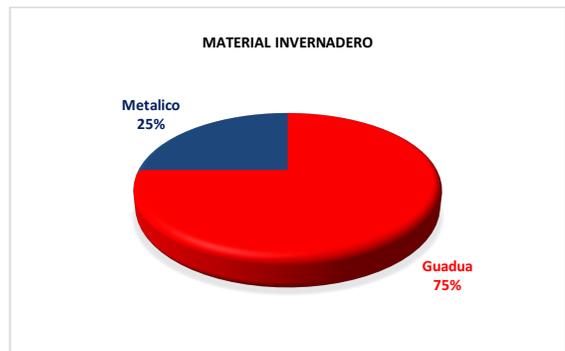


Figura 1. Material del invernadero.

Además el 100% de los agricultores consultados afirma no contar con procesos de automatización al interior del invernadero.



Figura 2. Automatización de invernadero.

Riego del cultivo, el 50% no aplica ninguna clase de intervención técnica (manual o automática), el 25% control por cantidad de litros suministrados y el 25% control por tiempo de riego.

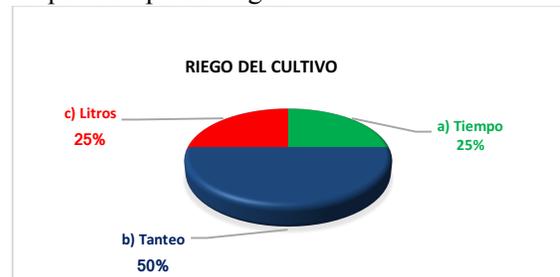


Figura 3. Riego en el cultivo.

Así mismo el 100% de las personas encuestadas no realiza procesos de control de la humedad relativa al interior de los invernaderos.



Figura 4. Control humedad relativa.

Por otro lado el 100% no realiza procesos de control de la temperatura al interior de los invernaderos; este escenario podría causar problemas de deshidratación o de ralentización de formación de clorofila en las plantas.

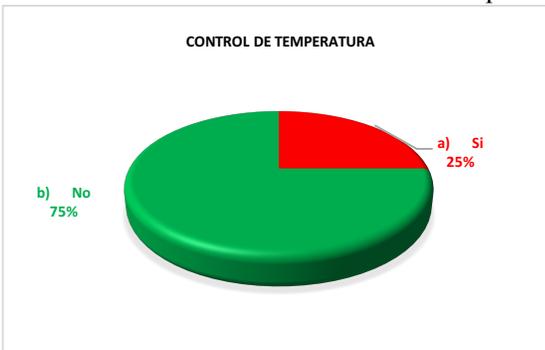


Figura 5. Control temperatura.

2.3 Construcción de prototipo de invernadero

El uso de los invernaderos en la agricultura trae consigo una serie de ventajas y desventajas a tener en cuenta al momento de iniciar con la implementación de los mismos.

En este sentido [3] afirma Ventajas: protección del cultivo frente a condiciones climáticas extremas, producción continua, mejor calidad del producto e inocuidad, protección y conservación del suelo, uso de variedades de alto rendimiento, alta producción, reducción en los costos de producción, menor uso de plaguicidas, mayor eficiencia en el uso del suelo, el agua y los fertilizantes. Desventajas: alta inversión inicial, disponibilidad de personal capacitado y supervisión permanente.

Una vez realizadas las visitas propuestas, se pudo constatar que la mayoría de los invernaderos observados tenían una construcción tipo capilla, esto debido en entre otras cosas a que su construcción no requiere de una gran complejidad, los costos asociados con la obra son bajos y los materiales son de fácil consecución a nivel local.

Por tanto se eligió este tipo de construcción para el prototipo de invernadero a instalar en las locaciones de la Finca de la Corporación Universitaria del Huila ubicada en el municipio de Palermo (Huila). El montaje consistió en una estructura de madera recubierta de plástico calibre número 7 y reforzada con ángulos de hierro, de dimensiones: 3 mts de ancho, 3 mts de largo y 2,5 mts de alto, a continuación se puede observar del producto final.



Figura 6. Prototipo invernadero.

2.4 Desarrollo de nodo sensor y nodo coordinador

Sensores Utilizados: SHT71: sensor de temperatura y humedad relativa. LDR: sensor fotocelda para medir luminosidad. HL-69: sensor de humedad de suelo.

Actuadores: Extractores e inyectores de aire, Nebulizadores y lámparas alógenas, motobomba para controlar la humedad relativa y sistema de riego.

Además se seleccionó la placa Arduino UNO como dispositivo de recepción de señales provenientes de los sensores y transmisor de los de datos, para la comunicación entre los nodos sensores y el nodo coordinador se seleccionó el módulo XBEE.

Nodos sensores: realizaron la función básica de recolectar las señales externas provenientes de los diversos sensores y enviarlas hacia un nodo coordinador gracias a un transmisor RF insertado en los mismos.

Nodos coordinador/ estación base: su función principal fue la de actuar como dispositivo concentrador y de enrutamiento de la señales provistas por los diversos nodos sensores ubicados alrededor de los cultivos; además de ser el encargado de almacenar la información en las bases de datos, realizar el procesamiento de los

datos y ejecutar actividades de control a través de los actuadores, que son reenviados a la WSN.

Además se seleccionó la topología de conexión estrella debido a su facilidad de configuración y sus bajos costos de implementación. En la topología tipo estrella cada nodo se conecta al directamente al Gateway, por otro lado en la topología tipo árbol cada nodo se conecta a un nodo de mayor jerarquía en el árbol y después al Gateway. [4]



Figura 6. Nodo Sensor.

La topología instalada se fundamentó en una conexión point to point, se utilizó por tanto un nodo sensor el cual recopiló las señales provenientes de los sensores de humedad, luminosidad, temperatura y un nodo coordinador; este último se implementó a través de un módulo XBEE conectado a un computador a través de la tarjeta de configuración XBEE Explorer, posteriormente los datos se enviarían a la plataforma de monitoreo y control.

2.5 Desarrollo de Software de control proporcional y monitoreo para invernadero.

El software se encuentra actualmente en etapa de desarrollo, una vez listo se realizará el proceso de integración con el nodo coordinador y los nodos sensores, cabe aclarar que el diseño preliminar se realizó en Visual Basic.

4. Resultados

De las entrevistas realizadas se logró establecer que en las áreas de mejor iluminación del invernadero, las plantas tienden a crecer más rápido y dan mejor

rendimientos, además que en los cultivos a la intemperie las pérdidas son grandes y los gastos (insecticidas y abonos) para el desarrollo de los mismos son muy altos; además en el cultivo se existe un aumento en los tiempos necesarios para tener un cultivo en producción.

En el aspecto técnico se puede afirmar que la implementación de módulos XBEE en la WSN desarrollada, permitió implementar una comunicación por medios inalámbricos con el propósito de generar una interconexión y comunicación entre dispositivos. De esta forma gracias al protocolo IEEE 802.15.4 ZIGBEE se logró desarrollar una red FAST PEER-TO-PEER (punto a punto), la cual contó con el suficiente ancho de banda para el tráfico de datos provenientes de los sensores, debido en otras cosas a la baja latencia y a la sincronización de comunicación predecible.

Así mismo se comprobó que unos de los aspectos más importantes al trabajar con las tecnologías y los sistemas de control inalámbricos, es la línea de vista entre los nodos sensor y coordinador, a pesar de las cortas distancias de transmisión generadas; ya que los posibles obstáculos generaban alteraciones en las señales transmitidas y por tanto errores en la lectura de las mediciones obtenidas; por tanto al tener una línea de vista la transmisión se puede garantizar una comunicación eficaz y estable. Además se logró evidenciar que en este tipo de transmisiones la velocidad de transmisión es independiente de la frecuencia y la distancia.

Así mismo se pudo establecer que al trabajar varios nodos sensores (trabajo realizado en etapas de prueba) la falla de un nodo no afecta la comunicación en el sistema, en este mismo sentido la inserción de nuevos dispositivos fue simple y se realizó casi de forma automática.

Para finalizar es necesario aclarar que el proyecto se encuentra en fase de desarrollo, por tanto el nodo sensor y el nodo actuador ya se han desarrollado en su totalidad; actualmente se están realizando pruebas de conexión entre el nodo sensor y el nodo coordinador, así como el procesamiento de información.

5. Conclusiones

El no contar con un procedimiento de control estricto de la cantidad de agua suministrada al cultivo, se podrían

generar problemas de deshidratación de la planta por falta de líquido o de asfixia radicular por exceso del mismo. Se hace necesaria la automatización de los invernaderos, ya que de esta forma se reducirían los costos y se aumentaría la producción de los diferentes cultivos; además se reducirían los efectos ambientales derivados de la actividad agrícola.

La mayoría de los invernaderos actualmente usados carecen de control de los aspectos ambientales que afectan el cultivo (humedad relativa, luminosidad, temperatura, etc.), situación que puede ocasionar problemas la deshidratación, la ralentización de la formación de clorofila y el crecimiento de las plantas.

La gran mayoría de los agricultores piensa que la automatización del invernadero es una buena idea, que puede llevar al aumento de la producción de los diferentes cultivos bajo cubierta.

La plataforma XBEE se presenta como una plataforma de comunicación eficiente y de bajo costo, la cual permite integrar WSN de forma rápida y simple.

6. Agradecimiento

“El desarrollo de este trabajo fue financiado por la Corporación Universitaria del Huila -CORHUILA”.

7. Referencias

- [1] J. C. Suárez Barón y M. J. Suarez Barón, «Monitoreo de variables ambientales en invernaderos usando tecnología ZIGBEE,» de In XLIII Jornadas Argentinas de Informática e Investigación Operativa (43JAIIO)-VI Congreso Argentino de AgroInformática (CAI), 2014.
- [2] M. Rodríguez, H. Chagolla y M. López, «Diseño Conceptual de Sistema para la Automatización del Invernadero uno de la Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato,» de In Ciencias de la Ingeniería y Tecnología Handbook T-IV: Congreso Interdisciplinario de Cuerpos Académicos (pp. 299-318). ECORFAN., 2014.
- [3] S. d. I. y. Comercio, «Boletín Tecnológico Tecnologías Relacionadas Con Invernaderos Para Flores,» 2014. [En línea]. Available: http://www.sic.gov.co/drupal/recursos_user/boletines_tecno/boletin_invernaderos_19jun.pdf. [Último acceso: 22 4 2014].
- [4] Jusmar, «Jusmar de Colombia,» 2008. [En línea]. Available: <http://www.villadeleyva.com.co/contenido/jusmar/jusmar.htm>. [Último acceso: 5 12 2016].
- [5] Corpoica, «Productos y servicios Corpoica,» 2017. [En línea]. Available: <http://www.corpoica.org.co/>. [Último acceso: 05 12 2016].
- [6] Buitrago y Muñoz, «Análisis De Datos Del Microclima Dentro Del Invernadero De La Unidad Agroecológica La Aldana De La Universidad Del Quindío.» Ingeniería Electrónica, Universidad del Quindío., Armenia, 2015.
- [7] M. Rodríguez, H. Chagolla y M. & López, «Diseño Conceptual de Sistema para la Automatización del Invernadero uno de la Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato,» In Ciencias de la Ingeniería y Tecnología Handbook T-IV: Congreso Interdisciplinario de Cuerpos Académicos, pp. 299-318, 2014.
- [8] DANE, «Boletín mensual Insumos Y Factores Asociados A La Producción Agropecuaria - El cultivo del tomate de mesa bajo invernadero, tecnología que ofrece mayor producción, calidad e inocuidad del producto. Número 30.,» 2014. [En línea]. Available: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/insumos_factores_de_produccion_dic_2014.pdf. [Último acceso: 25 Enero 2017].
- [9] Velasco V. y Mauricio A., «Estudio de la agricultura de precisión enfocado en la implementación de una red de sensores inalámbricos (WSN) para el monitoreo de humedad y temperatura en cultivos – caso de estudio hacienda Cabalinus ubicada en la provincia de Los Ríos,» Revista Politécnica, vol. 38, n° 1, 2016.
- [10] R. d. México, «Norma Mexicana para el diseño y construcción de invernaderos,» Diario oficial federal, México D.F., 2008.
- [11] S. Salas Arriarán, Todo sobre sistemas embebidos., Lima (Perú): Editorial Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, 2015.
- [12] J. P. Blázquez, «Introducción a los sistemas de comunicación inalámbricos. Universitat Oberta de Catalunya,» 2012. [En línea]. Available: [https://www.exabyteinformatica.com/uoc/Informatica/Tecnologia_y_desarrollo_en_dispositivos_moviles/Tecnologia_y_desarrollo_en_dispositivos_moviles_\(Modulo_1\).pdf](https://www.exabyteinformatica.com/uoc/Informatica/Tecnologia_y_desarrollo_en_dispositivos_moviles/Tecnologia_y_desarrollo_en_dispositivos_moviles_(Modulo_1).pdf). [Último acceso: 11 Octubre 2015].
- [13] V. Velasco and A. Mauricio, "Estudio de la agricultura de precisión enfocado en la implementación de una red de sensores inalámbricos (WSN) para el monitoreo de humedad y temperatura en cultivos – caso de estudio hacienda Cabalinus ubicada en la provincia de Los Ríos," Revista Politécnica, vol. 38, no. 1, 2016. [Online]. Available: <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/11112>.
- [14] I. Ferrer, «Proyectos integrales para la agricultura moderna,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.invernaderosferrer.com/es/>. [Último acceso: 12 Octubre 2015].
- [15] C. Fernández de Lara, «Invernadero cultiva lechugas vía redes inalámbricas,» CNN Expansión, 2012. [En línea]. Available: <http://www.cnnexpansion.com/expansion/2015/05/12/invernadero-cultiva-lechugas-via-redes-inalambricas>. [Último acceso: 4 Octubre 2015].
- [16] Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, «Tecnología para el cultivo del tomate,» 2013. [En línea]. Available: <http://www.siembra.com.co/NetCorpoica/>