

FORMULARIO DE INSCRIPCIÓN, PRESENTACIÓN DE RESUMEN Y TRABAJO COMPLETO.

Universidad:	UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ESTE - PARAGUAY
Facultad/Centro/Instituto:	FACULTAD POLITÉCNICA
Autor/es:	Miguel Alejandro Kennedy Giménez; Elio David Bertao Reus; Jorge Luis Arrúa Ginés (Tutor); Katia Andrea Ayala Diaz (Tutor)
Título do trabajo:	Prototipo de Sistema de Monitoreo y Control para Producción de Tomate en Invernadero
Núcleo Disciplinario / Comité Académico / Comisión Permanente:	Sensoramiento Remoto y Meteorología Aplicada
Correo electrónico	alekennedy@gmail.com, davidbertao@cmjesu.org, jorgearrua@gmail.com, ktaayala@gmail.com
Palabras claves (Máximo 3):	Automatización y Control, Arduino, IEEE 802.15.4 ZigBee, WSN, Invernadero, Producción de tomate, fertiriego.
¿Tiene interés en hacer presentación oral de su trabajo? (x)SI ()NO	
*Esta preferencia está sujeta a alteración en función de la disponibilidad.	

Resumen: La producción de tomate en el Paraguay solo abastece cuatro meses del año al mercado interno, lo que hace necesaria la importación para cubrir el mercado que demanda dicha hortaliza. Según datos de la Federación de Productores Frutihortícolas del Paraguay, la producción de tomate en invernadero llega a triplicar la productividad de lo que puede obtener con otros métodos de producción. La producción en invernaderos brinda múltiples beneficios, pero si a ello se le suma un sistema de automatización y control, los beneficios serán aún mayores. Dentro de un invernadero existen varios métodos tanto de ventilación como de riego. Entre los métodos de riegos más eficientes se presenta el fertiriego, a través del cual es posible suministrar fertilizantes para proporcionar los niveles de nutrientes ideales para cada etapa de producción. En la producción de tomate en invernadero, hay varios factores a ser controlados, tales como: temperatura, humedad, radiación solar, propiedades del suelo, etc. En función a lo expuesto se ha desarrollado un sistema de monitoreo y control para invernaderos de cultivo de tomates, por medio del mismo los datos son adquiridos mediante sensores administrados por un microcontrolador (Arduino), conectado a un servidor, lo que permite controlar la temperatura, humedad y el nivel de los tanques correspondientes al sistema de fertiriego por goteo. Además incluye el almacenamiento de los datos para posteriormente ser accedido de manera remota utilizando un aplicativo móvil desarrollado para el sistema operativo Android. Después de finalizar el diseño, la implementación y comprobar el correcto funcionamiento del sistema, se puede afirmar que se han logrado todos objetivos fijados, se ha conseguido la implementación de un prototipo de sistema de monitoreo y control para producción de tomate en invernadero, que cumplen las funciones básicas de un sistema de control, que posee mecanismos de alerta en caso de algunos fallos, lo que lo hace más seguro y confiable.

Introducción

1. Introducción

Los invernaderos se utilizan para asegurar la producción y calidad de los cultivos, ya que en campo abierto es muy difícil mantener los cultivos de una manera adecuada a lo largo de todo el año. El concepto de cultivos bajo invernadero, representa el paso de producción extensiva de tomate a producción intensiva. Para ello, las plantas han de reunir condiciones óptimas de la raíz a las hojas.

El invernadero es una estructura, en la que las partes correspondientes a las paredes y el techo están cubiertos con películas plásticas, con la finalidad de desarrollar cultivos en un ambiente controlado de temperatura y humedad. Se pueden tener construcciones simples, diseñadas por los agricultores a bajo costo y otras más sofisticadas con instalaciones y equipos para un mejor control del ambiente. Los invernaderos generalmente son utilizados para cultivos de porte alto, como tomate, pepino, pimentón, melón, flores y otras. La producción de tomates en invernaderos ha atraído la atención en los últimos años, en parte debido a la nueva onda de interés en los "cultivos alternativos." La atracción se basa en la percepción de que los tomates de invernaderos pueden ser más rentables que los cultivos agronómicos o los cultivos hortícolas convencionales. La fama puede ser debida a malos entendidos sobre cuán fácilmente se puede cultivar esta planta [1].

Mientras el valor de los tomates de invernadero por unidad es alto, los costos son también altos. Se detallan los siguientes puntos para aclarar cualquier malentendido que usted pudiera tener. Recuerde lo siguiente antes de decidir sobre la producción de tomates en invernaderos, ya sea como un cultivo para ganarse la vida o como un ingreso suplementario:

- Los tomates producidos en invernaderos requieren manejos únicos, distintos de los cultivos como soja y algodón, e inclusive ni similar a otros cultivos hortícolas.

- Debido a los requisitos específicos de producción, los tomates de invernadero no pueden ser considerados como un cultivo "fácil."
- Por unidad, el tiempo necesario para el cultivo de tomates en invernadero es mucho mayor que cualquier cultivo hortícola de campo.
- Los tomates de invernadero necesitan atención regular.
- El ambiente del invernadero no es estéril [2].

2. Conceptos Fundamentales.

2.1. Sistemas de Control

Los controles automáticos tienen una intervención cada vez más importante en la vida diaria, desde los simples controles que hacen funcionar un tostador automático hasta los complicados sistemas de control necesarios en vehículos espaciales, en guiado de proyectiles, sistemas de pilotajes de aviones, etc. Además el control automático se ha convertido en parte importante e integral de los procesos de manufactura e industriales modernos. Por ejemplo el control automático resulta esencial en operaciones industriales como el control de presión, temperatura, humedad, viscosidad y flujo en las industrias de procesos, maquinado manejo y armado de piezas mecánicas en las industrias de fabricación, entre muchas otras [3].

Elementos básicos de un sistema de control

Los elementos básicos que forman parte de un sistema de control y permiten su manipulación son los siguientes:

- **Sensores:** Permiten conocer los valores de las variables medidas del sistema.
- **Controlador:** Utilizando los valores determinados por los sensores y la consigna impuesta, calcula la acción que debe aplicarse para modificar las variables de control en base a cierta estrategia.

- **Actuador:** Es el mecanismo que ejecuta la acción calculada por el controlador y que modifica las variables de control [4].

Funcionamiento de un sistema de control genérico.

En un sistema de control genérico se obtienen las variables a través de los sensores, los cuales son verificados por un controlador que posee una consigna impuesta. El controlador activa el actuador con el fin de modificar las variables a sus valores ideales. En el sistema también pueden existen perturbaciones que son señales que afectan adversamente a las variables de salidas.

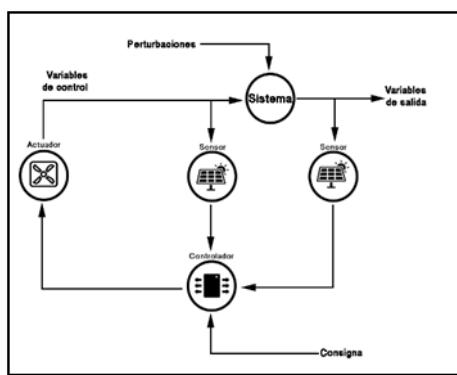


Figura 1 - Esquema general de un sistema de control

2.2 Condiciones climáticas

2.2.1. Temperatura

El tomate es un cultivo capaz de crecer y desarrollarse en condiciones climáticas variadas. La temperatura óptima para el desarrollo vegetativo durante el día debe estar entre 18-22°C y en la noche no superior a 16°C. Para el desarrollo productivo es necesaria una temperatura diurna entre 23 y 28°C y en la noche, entre 15 y 22°C. Cuando las temperaturas son mayores de 25°C y menores de 12°C, la fecundación es defectuosa o nula, porque se disminuye la cantidad y calidad del polen, produciendo caída de flores y deformación de frutos. Con temperaturas menores de 12°C, se producen ramificaciones en las inflorescencias. A nivel del fruto, este se puede amarillesar si se presentan temperaturas mayores de 30°C y

menores de 10°C. En general, la diferencia de temperatura entre el día y la noche no debe ser mayor de 10°C.

2.2.2. Humedad

La humedad relativa óptima para el desarrollo del cultivo de tomate debe estar entre un 60 y un 80%. Cuando la humedad relativa es alta, favorece el desarrollo de enfermedades, se presentan una serie de desórdenes que afectan la calidad de los frutos, como son: manchado, grietas, cara de gato o malformación del fruto y frutos huecos, se dificulta la fecundación por la compactación del polen y además las flores pueden caerse. Cuando la humedad relativa es baja, aumenta la transpiración de la planta, se reduce la fotosíntesis y se seca el polen, produciéndose igualmente anomalías en la fecundación.

2.2.3. Luminosidad

El tomate es exigente en luminosidad; requiere de días soleados y entre 8 a 16 horas de luz, para un buen desarrollo de la planta y poder lograr una coloración uniforme en el fruto. La baja luminosidad afecta los procesos de floración, fecundación y desarrollo vegetativo de la planta, y reduce la absorción de agua y nutrientes.

2.2.4. Suelo

El tomate prospera en diferentes tipos de suelo, siendo los más indicados, los suelos sueltos, bien aireados y con buen drenaje interno y que a su vez tengan capacidad de retener humedad, de texturas francas a franco arcillosas; con contenidos de materia orgánica altos, por encima del 5%, y buen contenido de nutrientes. El pH del suelo debe oscilar entre 5,8 a 6,8 [1].

2.3. Redes de sensores inalámbrica

Son redes que utilizan sensores y que recolectan datos diseminados en el ambiente, facilitando el monitoreo y control de entornos físicos, por ejemplo lugares remotos o inhóspitos, con una mayor precisión. Sus aplicaciones son variadas y van desde la supervisión ambiental y usos militares hasta las aplicaciones civiles y comerciales [6].

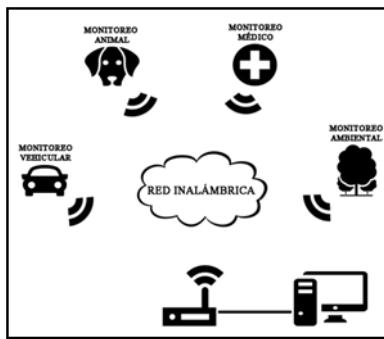


Figura 2. – Red inalámbrica de sensores

Elementos que conforman una red de sensores

- Sensores
- Nodo sensores
- Puerta de acceso
- Estación base.

2.4. Estándar ZigBee

El estándar IEEE 802.15.4, define la capa física y MAC para redes inalámbricas de área personal (WPAN) de baja tasa de transmisión. Los tipos de aplicación a los que está orientado el estándar comprenden las redes inalámbricas de sensores, la domótica, las redes hogareñas, la conexión de dispositivos a una computadora personal, seguridad, etc. La mayoría de estas aplicaciones requieren tasas de transmisión bajas a medias, retardos de transmisión moderados con requerimientos no muy estrictos, y es muy deseable la reducción al mínimo del consumo de energía en los nodos.

Entre las necesidades que satisface el estándar ZigBee se encuentran:

- Bajo costo.
- Ultra-bajo consumo de potencia.
- Uso de bandas de radio libres y sin necesidad de licencias.
- Instalación barata y simple.
- Redes flexibles y extensibles.

2.5. Arduino

Arduino es una plataforma de electrónica abierta para la creación de prototipos basada en software y hardware flexibles y fáciles de usar. Se creó para artistas, diseñadores, aficionados y cualquiera interesado en crear entornos u objetos interactivos.

Arduino puede tomar información del entorno a través de sus pines de entrada de toda una gama de sensores y puede afectar aquello que le rodea controlando luces, motores y otros actuadores [2] [4].

Objetivos

3.1. Objetivo General:

Desarrollar un Prototipo de Sistema de Monitoreo y Control de la temperatura y humedad automatizando procesos de fertiriego y ventilación en un invernadero de producción de tomates para personas de bajos recursos.

3.2. Objetivos Específicos:

- Identificar y seleccionar las variables físicas necesarias para el monitoreo y control de un invernadero.
- Analizar los procesos de fertiriego y ventilación para la producción de tomate.
- Desenvolver un dispositivo encargado de la adquisición y control mediante el uso de hardware libre.
- Desarrollar un aplicativo móvil para sistema operativo Android y un sistema de escritorio para Windows.
- Realizar prueba del funcionamiento del sistema.

Material y Métodos

4.1. Recursos

A continuación se detallan los equipos electrónicos, componentes y herramientas necesarias para el correcto desarrollo del trabajo:

Software

- Plataforma Java: Lenguaje de programación utilizado para desarrollar el sistema de escritorio y gran parte del aplicativo para Android.

- Entorno de programación de Arduino: Utilizado en el desarrollo del firmware para el microcontrolador Arduino.
- X-CTU: Programa utilizado para configurar los parámetros de los dispositivos XBee.
- Netbeans: IDE utilizado para el desarrollo del sistema de escritorio.
- PostgreSQL 9.3: Gestor de base de datos utilizado para almacenar los datos del sistema de escritorio.
- Eclipse: IDE utilizado para el desarrollo del aplicativo móvil para Android [8][9][10][11][12].

Hardware

- Placa Arduino Mega: micro-controlador utilizado para el control de los sensores y actuadores.
- Sensores dht22: se utilizó para medir la temperatura y humedad dentro del invernadero.
- Xbee series 2: dispositivo utilizado para la comunicación inalámbrica entre el nodo Arduino y la PC.
- Módulo relé: utilizado para activar y desactivar los actuadores.
- Ultrasonido HC-SR04: empleado en la medición del nivel de los Tanques.
- Extractores de aire: controla la temperatura dentro del invernadero.
- Válvulas de solenoides: utilizados para realizar los procesos del sistema de riego [13][14][15][16].

4.2. Descripción del Sistema

El sistema está compuesto por dos partes principales: el software, y el hardware compuesto por sensores y actuadores, los cuales interactúan con el fin de medir variables climáticas del invernadero (temperatura y humedad), y a partir de las cuales se determina un evento (por ejemplo: temperatura elevada) y se ejecuta determinadas funciones de forma automática. También se cuenta

con dos tanques de agua, y componentes para el sistema de riego. El tipo de riego utilizado en el sistema es el fértil riego, el cual consiste en realizar una mezcla de fertilizantes con el agua para luego suministrar a las plantas a través del sistema de riego por goteo.

El software desarrollado está compuesto por un sistema de monitoreo y control que es el encargado de monitorear las variables y controlar los actuadores, por otra parte, se cuenta con un aplicativo móvil que proporciona al usuario una herramienta de consultas de las notificaciones generadas por el sistema.

4.2.1. Estructura del Sistema

La estructura del sistema consta de dos partes, primero un nodo Arduino en el cual es conectado los sensores y actuadores. Este es el encargado de gestionar los datos obtenidos de los sensores y controlar a los actuadores. Por otra parte se cuenta con un servidor, que es una computadora en el cual se ejecuta el sistema de monitoreo y control, encargado de procesar los datos obtenidos del nodo Arduino, gestionar todas las funciones del sistema y gestionar el estado de los actuadores mediante el nodo Arduino. Estos nodos se comunican de forma inalámbrica a través de módulos XBee, que utilizan el estándar IEEE 802.15.4 Zigbee.

4.2.2. Funcionamiento del Sistema

El sistema obtiene los datos del sensor de temperatura y humedad, dichos datos son comparados con los rangos seguros, establecidos por expertos del área. Si la temperatura y/o la humedad no se encuentran dentro de estos rangos, el sistema notifica visualmente al usuario, y ejecuta una función de control de un actuador determinado. El sistema permite activar de forma manual o automática tanto del sistema de ventilación como del sistema de riego. El proceso de activación automática se realiza a través de una función que se ejecuta en segundo plano, el cual se encarga de verificar el momento en que debe ser activado el riego y/o la ventilación. El sistema de riego está compuesto por dos tanques, nombrados como Tanque de Fertilizante (TF) y Tanque Mezclador

(TM), para su suministro de agua y/o fertilizante son utilizadas válvulas de solenoides (V1, V2 y V3). A continuación se presenta el esquema general del sistema.

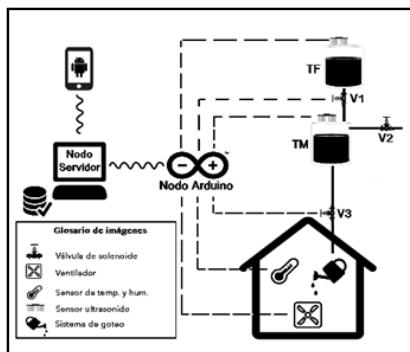


Figura 3- Esquema del sistema de monitoreo y control.

Resultados y Discusión

5. Implementación y pruebas del sistema

Se presenta los resultados de las pruebas de la implementación del sistema. Con la integración exitosa de todos los componentes del sistema, se procedió a la realización de pruebas en puntos específicos críticos, previamente analizados como posibles situaciones críticas para el correcto funcionamiento del sistema.

5.1. Posibles Casos de inconvenientes con los dispositivos

Caso 1: Perdida de conexión con sensor de temperatura y humedad

Este podría suceder si el sensor sufre alguna avería, perdida de energía o transmisión de datos pudiendo imposibilitar la lectura de la temperatura y humedad, provocando la falta de actualización de los registros y por ende deshabilitando la opción de control automático, debido a que la lectura de dichos factores es crucial para su funcionamiento. Para esto el sistema posee un mecanismo que avisa el error de conexión del sensor al usuario a través de un cuadro de estados (Figura 4) y un listado de notificación que queda almacenado en la base de datos.

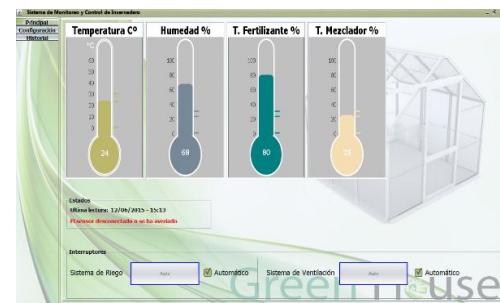


Figura 4 - Fallo de dispositivos – Caso 1.

Caso 2: Pérdida de conexión entre el servidor y el Arduino

Si el nodo Arduino por falta de energía, por falla en la conexión inalámbrica o por algún otro factor, deja de comunicarse con el servidor, imposibilita el correcto funcionamiento del sistema debido a que el nodo Arduino es un componente indispensable en la estructura del sistema ya que es el dispositivo encargado de gestionar la lectura de datos y la acción de los actuadores.

Para esto el sistema posee un mecanismo que avisa del error de conexión del nodo Arduino con el servidor al usuario, a través de un cuadro de estados y un listado de notificación que queda almacenado en la base de datos (Figura 5).

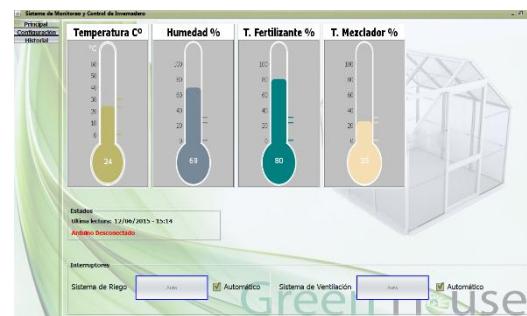


Figura 5 - Fallo de dispositivos – Caso 2.

Caso 3: Volumen de agua del tanque mezclador por encima del nivel crítico

En caso de que el agua del tanque mezclador, esté por encima del nivel crítico (90%), para evitar el desbordamiento del agua y así evitar desperdicio. Esto puede suceder en caso que la válvula encargada de suministrar agua al tanque esté averiada y permita el paso del agua, o por otros factores que se preste a este caso. El sistema

cuenta con una función que monitorea constantemente el nivel de agua en el tanque y emite un aviso a través de un cuadro de diálogo y una notificación que se almacena en la base de datos (Figura 6).

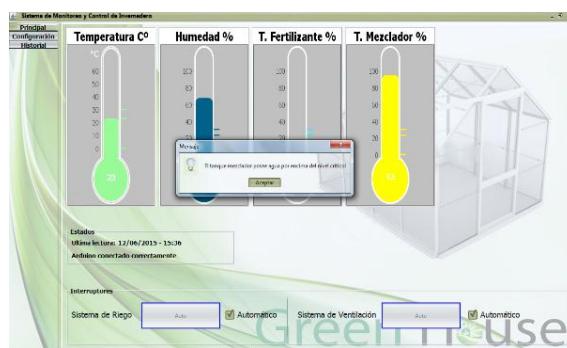


Figura 6 - Fallo de dispositivos – Caso 3.

Caso 4: Desconexión del módulo Xbee conectado al servidor.

Esto puede suceder por diversos motivos como avería del Xbee, del puerto usb del servidor, o la simple desconexión, causando la pérdida total de la conexión entre el servidor y el nodo Arduino, que imposibilita totalmente el funcionamiento del sistema. Para esto el sistema posee un método que avisa al usuario el error de conexión del coordinador con el sistema a través de un cuadro de diálogo. Este problema solo se puede solucionar volviendo a conectar correctamente en coordinador y reiniciando el sistema (Figura 7).

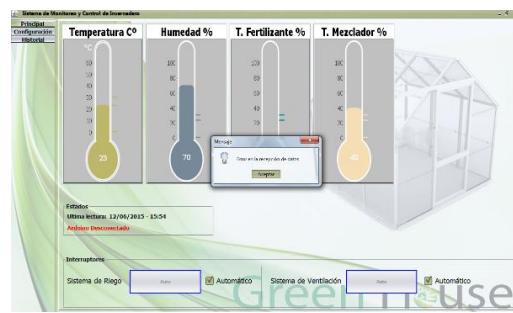


Figura 7 - Fallo de dispositivos – Caso 4.

Distancia de alcance entre el servidor y el nodo Arduino

En esta prueba se analizó el alcance de la comunicación entre el servidor y el nodo Arduino.

Para tal efecto se alejó el servidor del nodo Arduino para verificar el rango de comunicación.

En la figura 8 se detallan los resultados de las pruebas de distancia en donde los niveles.

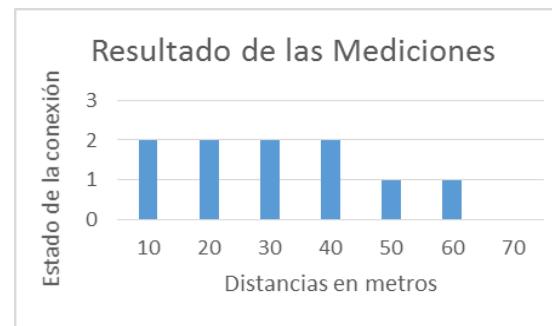


Figura 8 – Gráfico de la prueba de medición del alcance de los módulos xbee.

Observación: en el eje y del grafico se indica los resultados de las pruebas en donde el valor 0 indica la pérdida de conexión, el valor 1 que existen oscilaciones en la conexión, y el valor 2 que la conexión es estable. Estas pruebas fueron realizadas en un ambiente mixto ya que uno de los nodos fue situado dentro de una habitación y el otro nodo fue llevado a campo abierto. Considerando que estas son las condiciones en la que funcionará el sistema.

Pruebas de medición del sensor de ultrasonido

En esta prueba se verificó la precisión de la medición del sensor de ultrasonido, mediante el contraste de los valores registrados por el sensor en comparación a una regla centimétrada.

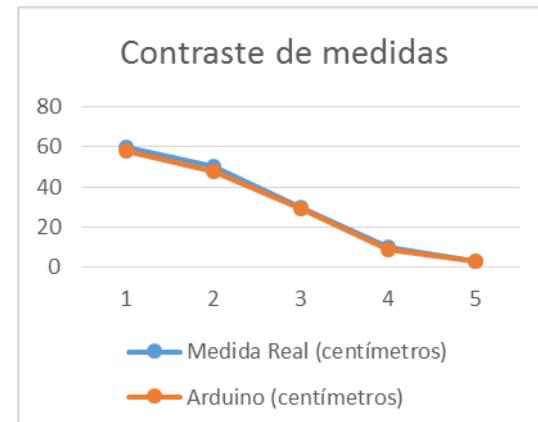


Figura 9 – Gráfico de pruebas de medición del ultrasonido.

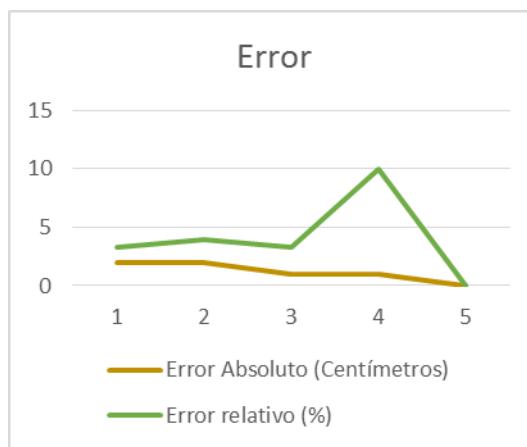


Figura 10 – Gráfico de errores absolutos y relativos de medición del ultrasonido.

Sistema de riego

Existen cuatro diferentes casos que se pueden dar al activar el sistema de riego. Se han hecho rigurosas pruebas para cada uno de los cuatro casos que se presentan a continuación.

Caso 1: Si el tanque de fertilizante está lleno y el tanque Mezclador está por debajo del 50% de su capacidad.

En este caso se activó el sistema de riego y cada válvula cumplió su función en el momento preciso logrando así una prueba exitosa según se observe en la figura 11. Donde el botón interruptor está resaltado en color verde lo que indica que el riego se ha activado. También se observan que los niveles de los tanques se encuentran dentro de los niveles ideales para que se efectúe el fértil riego.

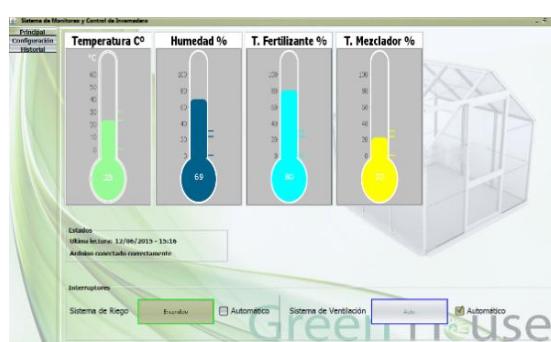


Figura 11 - Prueba del sistema de riego – Caso 1.

Caso 2: Si el tanque de fertilizante está vacío y el tanque mezclador está por debajo del 50% de su capacidad.

Esta prueba se realizó teniendo en cuenta que el usuario no activó la opción del riego sin fertilizante. En este caso no se debe iniciar el proceso de riego debido a que el tanque fertilizante está vacío. Dada estas circunstancias el sistema no inició el proceso de riego, emitió un mensaje (figura 12) y una notificación que fue almacenada en la base de datos.

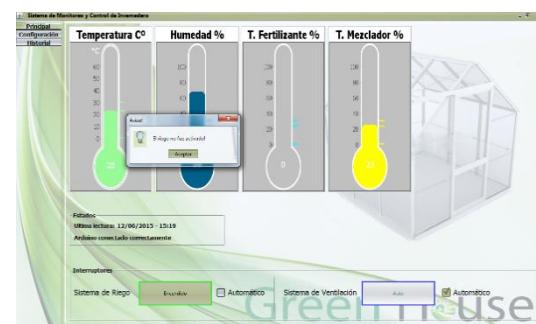


Figura 12 - Prueba del sistema de riego – Caso 2.

Caso 3: Si el tanque de fertilizante está vacío y el tanque mezclador está por encima del 50% de su capacidad

Así como en el caso anterior, para realizar esta prueba no se activó la opción del riego sin fertilizante. Entonces el sistema no permitió que se inicié el proceso de riego y se emitió un mensaje (figura 13) y una notificación que se almacenó en la base de datos.

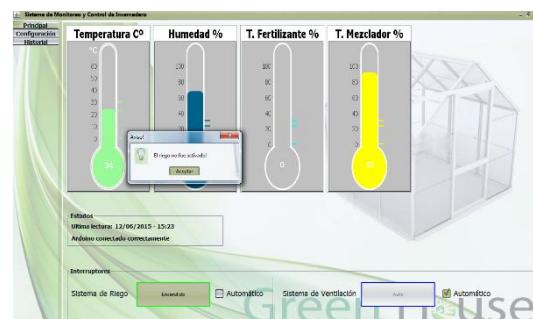


Figura 13 - Prueba del sistema de riego – Caso 3.

Caso 4: Si el tanque de fertilizante está lleno y el tanque mezclador está por encima del 50% de su capacidad.

Se realizó esta prueba sin activar la opción del riego sin fertilizante. El sistema no permitió iniciar el riego, emitió un mensaje (figura 14) y una notificación que se almacenó en la base de datos.

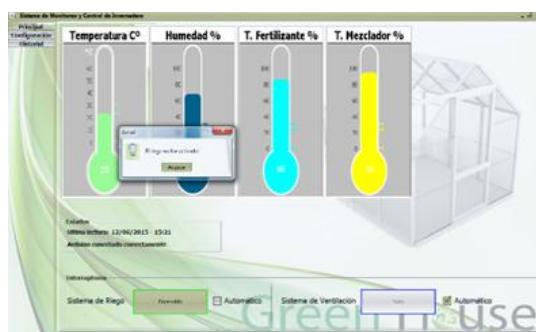


Figura 14 - Prueba del sistema de riego – Caso 4.

Activación del sistema de ventilación

Se realizaron pruebas de activación del sistema de ventilación de forma manual y automática. La activación automática se realiza cuando la temperatura del invernadero supera el valor máximo establecido por el usuario y se desactiva cuando la temperatura esté tres grados por debajo del máximo establecido por el usuario. En ambas pruebas se obtuvieron resultados positivos (Figura 15).



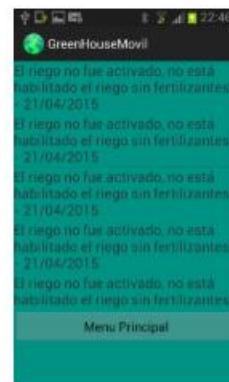
Figura 15- Prueba del sistema de ventilación

Pruebas del aplicativo

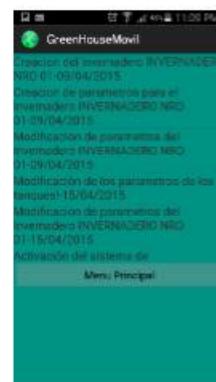
Las pruebas se realizaron en tres diferentes versiones de Android. La versión 4.1.2 Jelly Bean, la 4.4.4 KitKat y la 5.0 Lollipop. En todas las versiones se pudieron acceder a los datos sin ningún inconveniente. La prueba fue realizada en una red

LAN ya que no se cuenta con una IP pública para acceder desde una red externa.

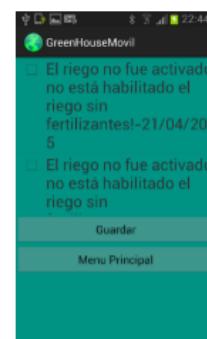
Historial de notificaciones



Acciones del usuario



Control de notificaciones



Historial de factores

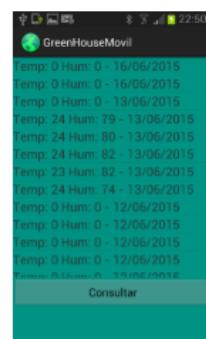


Figura 16. Ventanas del aplicativo

Conclusión

Principales logros

Tras culminar este trabajo se puede decir que:

- La utilización de hardware y software libre son ideales para el desarrollo de un sistema orientado a uso doméstico, brindando una solución de bajo costo para implementar un sistema de monitoreo y control en un invernadero para la producción de tomate, sin perder la calidad y eficiencia del sistema en general.
- Con la automatización en los procesos de producción se consigue la ejecución de los procesos en el momento adecuado, lo cual influye directamente en la calidad del producto y también se consigue disminuir la cantidad de horas hombres empleadas en la producción.
- Debido a que el tomate necesita estar dentro de un rango determinado de temperatura y humedad según la etapa de desarrollo en que se

encuentre. El control de temperatura y humedad es muy importante para el obtener un buen rendimiento en la producción, ya que estos son factores que influyen directamente en todas las etapas de producción de tomate.

- EL historial de temperatura y humedad es útil para tener una base estadística de las variaciones de las mismas en las diferentes estaciones del año y en los diferentes horarios del día. Estas informaciones sirven para la planificación del control de las malezas, plagas y enfermedades que se propagan en determinadas condiciones de temperatura y humedad.
- Con las notificaciones almacenadas en la base de datos, que se pueden acceder mediante la aplicación móvil, el usuario puede visualizar en qué estado se encuentra el funcionamiento y las fallas en algún proceso o componente del sistema, que lo mantiene al tanto de la situación, para poder tomar una decisión sin estar presente en el lugar de la producción.
- Los registros de acciones de usuario son muy útiles para controlar cada intervención del usuario en el sistema, para determinar un posible problema causado por el usuario, como puede ser una mala configuración de los parámetros o la activación del sistema de riego en un momento equivocado.
- Con la opción de que los parámetros de temperatura, humedad y riego puedan ser establecidos por el usuario, brinda una flexibilidad ya que no todas las variedades de tomates siguen un mismo parámetro
- Con la implementación de un sistema automático de fertíl riego, se obtienen múltiples beneficios debido a la precisión en la dosificación del fertilizante, con respecto a la cantidad de agua a suministrar, en comparación a los sistemas de fertíl riego tradicionales que no poseen precisión en las dosificaciones. Con esto, también se garantiza que las plantas recibirán una cantidad exacta de fertilizante para su nutrición ya que un mal suministro de ellos pueden causar daños a las plantas.

Por otra parte, con la precisión en la dosificación del fertilizante, se evita su desperdicio, lo que suele ocurrir cuando se realiza una mala dosificación

- La aplicación de la conexión inalámbrica permite la escalabilidad del sistema, ahorrar costos de instalación y mayor flexibilidad en cuanto a la distribución de los nodos. La comunicación entre el nodo sensor y en nodo servidor es bidireccional que posee un protocolo de comunicación que garantiza que las cadenas de caracteres recibidas por ambos nodos sea correcta.
 - El sistema diseñado para funcionar con solo un nodo sensor y posee un protocolo de comunicación que detecta fallas en la comunicación entre el nodo sensor y el nodo servidor.

Agradecimientos

- A Dios, por darnos sabiduría y fortaleza para realizar esta tesis, y que por su divina providencia a dispuesto todos los medios necesarios para llegar a su culminación, pues sin él nada es.
- A nuestros familiares y amigos, que de una u otra manera estuvieron pendientes a lo largo de este proceso, brindándonos su apoyo incondicional, haciendo que en medio de muchas dificultades tengamos una mano de la cual tomar y así poder seguir nuestro camino hasta llegar a la meta tan deseada.
- A la Facultad Politécnica-UNE, y a todos los profesores que nos han acompañado durante toda la carrera universitaria. Gracias por brindarnos siempre sus orientaciones, guiándonos de las tinieblas de la ignorancia hacia la luz del conocimiento.
- A nuestro tutor, Ing. Jorge Arrúa, por el apoyo, experiencia y orientación que nos ha brindado durante el desarrollo de la tesis. Y principalmente por la paciencia ante nuestras limitaciones. Gracias por ser un verdadero pedagogo.

- A la Ing. Katia Ayala, quien se ha tomado el arduo trabajo de transmitirnos sus diversos conocimientos, el cual nos fue de gran ayuda para poder culminar con éxito el trabajo.
-

- [1] Tanenbaum, Andrew S, Computer Networks, 4th Ed. Prentice-Hall [en línea] <http://web.info.uvt.ro/~smihalas/com_net/download/computer_networks_4th_edition.pdf> [Diciembre de 2014]
- [2] Quirasco, H. Redes de sensores inalámbricas [en línea] <<http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/32139/1/quirascoprigadahigonio.pdf>> [Noviembre de 2014]
- [3] Perez, M. Perez, A. Perez M. Introducción a los sistemas de control y modelo matemático para sistemas lineales Invariantes en el tiempo [en línea] <<http://dea.unsj.edu.ar/control1b/teoria/unidad1y2.pdf>> [Noviembre de 2014]
- [4] Reyes, L. Control - Sistemas - Variables [en línea] <http://thecontrolengineer-ep.wikispaces.com/Control-Sistemas-Variables> [Noviembre de 2014]
- [5] Snyder, R. Guía del cultivo del tomate en invernaderos [en línea] <<http://msucares.com/espanol/pubs/p2419.pdf>> [Febrero de 2015]
- [6] Jaramillo J. Rodríguez V. Guzmán M. Zapata M. El cultivo de tomate bajo invernadero [en línea] <http://www.academia.edu/8591625/El_cultivo_de_tomate_bajo_invernadero_1_Bullet%C3%A3n_T%C3%A9cnico_21> [Septiembre de 2014]
- [7] Ruiz, J. Arduino + XBee [en línea] <http://unicarlos.com/_ARDUINO/Arduino%20+%20XBee.pdf> [Noviembre de 2014]
- [8] Xbee [en línea] <<http://www.xbee.cl/index.html>> [Octubre de 2014]
- [9] Programación con S4A y Arduino [en línea] <https://077e1a77542c410495b96e910741cbde25ed8745.googledrive.com/host/0B0tNI_DkwTt8ceTBiTfJic2VaM1E/qu_es_arduino.html> [Noviembre de 2014]
- [10] Arduino [en línea] <<http://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>> [Noviembre de 2014]
- [11] Ecured. Válvula solenoide [en línea] <http://www.ecured.cu/index.php/V%C3%A1lvula_solenoides> [Diciembre de 2014]
- [12] Soria, K. Todo lo que tienes que saber sobre: HC-SR04 Sensor Ultrasónico [en línea] <<http://bkargado.blogspot.com/2013/09/todosobrehc-sr04.html>> [Octubre de 2014]
- [13] Enriquez, R. Guía de Usuario de Arduino [en línea] <http://www.uco.es/aulasoftwarelibre/wpccontent/uploads/2010/05/Arduino_user_manual_es.pdf> [Octubre de 2014]
- [14] JFreeChart [en línea] <<http://www.jfree.org/jfreechart/index.html>> [Noviembre de 2014]
- [15] PostgreSQL [en línea] <http://www.postgresql.org.es/sobre_postgresql> [Enero de 2015]
- [16] NetBeans IDE [en línea] <<https://netbeans.org/>> [Octubre de 2014]