



Recepción: 11/01/2019

Aceptación: 02/02/2019

Publicación: 05/04/2019



Ciencias técnicas y aplicadas

Artículos de investigación

## *Sistemas embebidos open source para la caracterización de la humedad en un cultivo hidropónico de fresa por la variación climática*

### *Open source embedded systems for the characterization of moisture in a hydroponic strawberry crop due to climatic variation*

### *Sistemas embarcados de código abierto para a caracterização da umidade em uma cultura hidropônica de morangueiro, devido à variação climática*

Eduardo Francisco García-Cabezas<sup>I</sup>  
[edugarcia\\_87@hotmail.com](mailto:edugarcia_87@hotmail.com)

Julio César Moyano-Alulema<sup>II</sup>  
[jucemoyano@hotmail.com](mailto:jucemoyano@hotmail.com)

Henry Fabrizzio Martínez Naranjo<sup>III</sup>  
[fabrizziom7@hotmail.com](mailto:fabrizziom7@hotmail.com)

Jhonny Marcelo Orozco-Ramos<sup>IV</sup>  
[ingjmorozco@gmail.com](mailto:ingjmorozco@gmail.com)

Carlos José Santillán-Mariño<sup>V</sup>  
[carlos.santillan@esPOCH.edu.ec](mailto:carlos.santillan@esPOCH.edu.ec)

Correspondencia: [edugarcia\\_87@hotmail.com](mailto:edugarcia_87@hotmail.com)

<sup>I</sup> Magíster en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Ingeniero en Electrónica Control y Redes Industriales, Grupo de Investigación de Tecnologías de la Información y Comunicación en Procesos Industriales AUTOPROMA, Docente Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

<sup>II</sup> Magíster en Gestión Industrial y Sistemas Productivos, Magíster en Seguridad Industrial Mención Prevención de Riesgos y Salud Ocupacional, Licenciado en Ciencias de la Educación Profesor de Enseñanza Media en la Especialización de Matemática y Física, Ingeniero Industrial, Grupo de Investigación de Tecnologías de la Información y Comunicación en Procesos Industriales AUTOPROMA, Docente Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

<sup>III</sup> Ingeniero Industrial, Grupo de Investigación de Tecnologías de la Información y Comunicación en Procesos Industriales AUTOPROMA, Docente Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

<sup>IV</sup> Ingeniero Mecánico, Magíster en Diseño Producción y Automatización Industrial, Grupo de Investigación de Tecnologías de la Información y Comunicación en Procesos Industriales AUTOPROMA, Docente Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

<sup>V</sup> Especialista en Computación Aplicada al Ejercicio Docente, Máster en Ciencias Mención Diseño Mecánico, Magíster en Docencia Universitaria e Investigación Educativa, Ingeniero Mecánico, Grupo de Investigación de Tecnologías de la Información y Comunicación en Procesos Industriales AUTOPROMA, Docente Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

## Resumen

En este trabajo se pretende describir la estructura y puesta en práctica de sistemas embebidos open source para la evaluación del grado de conservación de humedad de diferentes combinaciones de sustratos utilizados en el cultivo hidropónico de fresas. La plantación piloto donde se realizó la evaluación cuenta con un área de 700 m<sup>2</sup>, distribuidos en cuatro parcelas de igual magnitud donde se utilizó combinaciones de sustratos tales como fibra de coco, fibra de coco - cascarilla de arroz - arena, cascarilla de arroz - arena y fibra de coco - compost de pino. El sistema consta de un control automático para el riego en la plantación centralizado en un Arduino MEGA que gestiona la activación/desactivación de válvulas solenoides para dosificar el recurso hídrico por tiempo y a horas específicas pre-programadas para cada día. Se empleó una WSN (Wireless Sensor Network) con tecnología ZigBee basada en dispositivos Xbee S2 para montar la información de los sensores de humedad ubicados estratégicamente a lo largo de las parcelas y transmitirla de manera inalámbrica hacia el punto centralizado gestionado por una Raspberry Pi3 donde dicha información es monitoreada y registrada en un repositorio de data de manera simultánea. Con la implementación del sistema se logró determinar que el sustrato con mayor nivel de retención de humedad es la combinación arena, cascarilla de arroz ampliando los intervalos de tiempo para el riego, optimizando el uso del recurso hídrico.

**Palabras clave:** Sistemas de control; red inalámbrica de sensores; sustratos; cultivo hidropónico; sistemas de monitoreo.

## Abstract

This paper aims to describe the structure and implementation of open source embedded systems for the evaluation of the degree of moisture conservation of different combinations of substrates used in the hydroponic cultivation of strawberries. The pilot plantation where the evaluation was carried out has an area of 700, distributed in four plots of equal magnitude where combinations of substrates were used, such as coconut fiber, coconut fiber - rice - sand scale, rice - sand scale and coconut fiber - pine compost. The system consists of an automatic control for irrigation in the centralized plantation in an Arduino MEGA that manages the activation / deactivation of solenoid valves to dose the water resource by time and at specific pre-programmed times for each day. A

WSN (Wireless Sensor Network) with ZigBee technology based on Xbee S2 devices was used to mount the information of the humidity sensors strategically located along the plots and transmit it wirelessly to the centralized point managed by a Raspberry Pi3 where said Information is monitored and recorded in a data repository simultaneously. With the implementation of the system, it was achieved to determine that the substrate with the highest level of moisture retention is the combination of sand, rice husk, extending the time intervals for irrigation, optimizing the use of water resources.

**Key words:** control systems; wireless sensor network; substrates; hydroponic culture; monitoring systems.

### **Resumo**

Este trabalho tem como objetivo descrever a estrutura e implementação de sistemas embarcados de código aberto para a avaliação do grau de conservação de umidade de diferentes combinações de substratos utilizados no cultivo hidropônico de morangos. A plantação piloto onde a avaliação foi realizada com uma área de 700 m<sup>2</sup>, dividido em quatro parcelas de igual magnitude, onde combinações de substratos, tais como fibras de coco, fibra de coco foi usado - rice bran - areia, casca de arroz - areia e fibra de coco - composto de pinheiro. O sistema compreende um controle automático para irrigação de uma plantação centralizado MEGA Arduino gere os / as válvulas de solenóide para dosear os recursos de água por hora e em momentos específicos pré-programadas para cada dia. WSN (Wireless Sensor Network) é usado com a tecnologia ZigBee baseado em anexos Xbee S2 para sensores informações umidade estrategicamente localizados ao longo das parcelas e transmitir sem fio para o ponto central gerido por uma framboesa PI3 em que a referida A informação é monitorada e registrada em um repositório de dados simultaneamente. Com a implementação do sistema foi determinado que o substrato com maior retenção de umidade é a combinação de areia, cascas de arroz expansão intervalos de tempo para a irrigação, otimizando o uso de água.

**Palavras-chave:** Sistemas de controle; rede de sensores sem fio; substratos; cultivo hidropônico; sistemas de monitoramento.

## Introducción

En América el cultivo hidropónico no está muy difundido, sin embargo se encuentra desarrollado y tecnificado en forma significativa en Estados Unidos, la Unión Europea y Japón, países en los cuales una gran parte de las empresas de mayor envergadura se han convertido en íconos del consumismo que se esfuerzan por mantener a flote la siembra de hortalizas de diversa variedad, las cuales poseen un mercado cautivo para su distribución y venta. (Wil, 2011, p.124)

En México en el estado de Michoacán, el cultivo de fresa es el segundo más rentable después de la zarzamora, por lo que se han incorporado nuevas tecnologías como coberturas plásticas, ferti riego y a menor escala el cultivo hidropónico con la finalidad de incrementar la producción porque los productos derivados de los procesos agrícolas de hidroponía precisan de suelos robustos y fortalecidos en expansión y crecimiento. (López, 2005, p.95)

La inserción de cultivos hidropónicos a nivel de plantaciones de fresa es lo más notorio en Ecuador lo que ha dado paso a varios estudios. (Rea, 2012, p.231)

“En la provincia de Tungurahua – Ecuador el sector agrícola es una parte dinámica y vital en el desarrollo económico del país, los pequeños productores han sido tradicionalmente proveedores de alimentos básicos para las familias de la zona, entre estos insumos, la fresa, su cultivo en los últimos años ha tenido un realce considerable debido a que varias parroquias rurales han optado por la producción de esta fruta. El piloto para este trabajo se desarrolla en la parroquia Huachi de la ciudad de Ambato, provincia de Tungurahua, ser una zona de alta producción de fresa” (Chimborazo, 2013, p.46)

Hoy en día, los sistemas de riego, son puestos en marcha manualmente, razón por la que requieren de cuidados provistos por el agricultor. Es justamente en ese proceso en el que el agricultor asume el riesgo que implica la espera por un periodo determinado de tiempo hasta lograr productividad en el momento de regar el cultivo y más aún en el momento de cosechar. Estas vendrían a constituirse en las razones por las que se pueden suscitar vicisitudes comunes originadas por el ser humano, como, por ejemplo: dejar pasar el tiempo preciso en el que ha de encenderse y apagarse el sistema. Estos problemas suscitarían dificultades directas con el cultivo, por ejemplo, excesivo riego, que acarrearía mayor consumo del agua, o por el contrario la sequía extrema, además se suscitaría un mayor consumo energético del sistema. (Pérez, 2014)

Calderón (2011), explica que los nutrientes que yacen en la tierra se configuran en suelo sólido y fértil, que tiene una doble función: por una parte, consiste en soportar las raíces protegiéndolas de la luz y permitiéndoles la respiración adecuada y por la otra, se encargan de mantener el agua y los nutrientes que las plantas requieren para crecer y producir. El uso de la tierra, abonos y nutrientes que posean los requerimientos de la planta para desarrollarse, se conforma en el sustrato propicio de este tipo de cultivo en Latinoamérica. Los recursos empleados en los procesos experimentales para desarrollar estos cultivos desde las transacciones materiales han sido muchos, pero no todas las veces han resultado productivos en cuanto al aspecto económico y tecnológico. (Rea, 2012)

El proceso de automatización se asume como la puesta en práctica de la automática para controlar los procesos industriales, entendiéndose como automática al conglomerado de métodos y procedimientos para el cambio del operario en el desarrollo de labores físicas y mentales previamente planificadas para tales fines. Entendiéndose por proceso a una serie de mecanismos que, una vez empleado el material, se obtienen productos que modifican el entorno, porque dan lugar a la obtención del material en forma de producto agrícola esperado para emprender otros procesos. (Pere Ponsa & Vilanova Arbos, 2005)

Empresas como Industrial Shields buscan brindar soluciones para poder utilizar el Hardware Open source de forma directa en la Industria. Debido al exitoso gran número de Hardware Open Source desarrollado en todo el mundo se han desarrollado toda una familia de productos destinados a la automatización, control y monitorización cómo son los PLC basados en las más que conocidas placas Arduino y Panel PC dos de estos por ejemplo la Raspberry Pi y la HummingBoard (versión de 64bits) lo que en estos dos casos permite la flexibilidad de trabajar con Linux en la Raspberry cómo para Humming y Android exclusivamente para la versión con Humming. (InfoPLC, 2012)

## **Consideraciones teóricas**

### **Hidroponía**

La hidroponía está definida como una serie de procesos tecnológicos que provocan la obtención del cultivo de productos agrícolas en un medio libre de suelo. (Oasis Grower Solutions, 2015, p. 4).

Por otra parte, el vocablo hidroponía proviene etimológicamente del idioma griego a saber: HIDRO

que significa agua y PONOS que se corresponde con trabajo, lo cual se traduce a su vez, como trabajo con el agua. (Beltrano & Giménez, 2015, p. 11)

### **Sustrato**

Un sustrato se configura en un ambiente sólido y robusto que, al ser diferente del suelo, puede ser del tipo natural o preparado artificialmente, con materiales orgánicos, que puestos en un recipiente adecuado prodiga el ambiente requerido a la planta brindando lo que ésta requiere para el desarrollo del sistema radicular, permitiendo que soluciones nutritivas se encuentren disponibles para su crecimiento y expansión. (Hydro-Enviroment, 2001) (Correa, 2009)

### **Automatización**

Por su parte, la Automatización se conceptualiza como el proceso que facilita la utilización automática en el control de los mecanismos de industrialización, donde se asume como automática a una serie de pasos, uso de métodos y procedimientos para los cambios del operario en tareas físicas y mentales previamente programadas. (Pere Ponsa & Vilanova Arbos, 2005)

Entendiéndose por proceso a una serie de pasos a llevar a cabo, desde el momento en el que se introduce el material, se emplea la energía que, a su vez genera información, se obtienen cambios que modifican el entorno, y es entonces cuando se suscita la obtención del producto. (Pere Ponsa & Vilanova Arbos, 2005)

### **Sistemas Embebidos**

Los sistemas embebidos son conocidos también como sistemas empotrados, éstos son sistemas operativos que fueron materializados a objeto de ser regulados por microprocesadores o microcontroladores, de la misma forma que los sistemas comunes que se usan cotidianamente, los cuales alcanzan un nivel de productividad sistematizado y sin recargo de trabajo y esfuerzos, dicho de otro modo, estos se conforman en sistemas que se operan y permiten efectuar labores precisas y específicas con efectividad. Un ejemplo de ello, lo constituye un creador de sistemas embebidos de open source denominado Arduino, el cual de manera ordinariamente, permite desarrollar de manera efectiva y rauda las labores que se precisa realizar, lo que facilita el cargado de data y la generación de un archivo .ino, que se sustenta en un formato en C++, esto con el objeto de referir sólo uno de los sistemas de hardware más conocidos en esta época. (Azul Web, 2016)

## **Open source**

El fundamento del Open Source se basa en proporcionar a desarrolladores la libertad para conocer, administrar, compartir y cambiar el código fuente de una aplicación para su evolución. El grupo de usuarios mejora el software, lo adapta, o corrige un error del software con celeridad efectiva. La comunidad Open Source afirma que éste proceso favorece el desarrollo del software en comparación con el modelo tradicional cerrado, con el que solo algunos programadores pueden lograr acceder al código matriz, entretanto los demás se ven conminados a utilizar, casi a tuestas, un bloque indescifrable de bits. (OPENBIZ, 2017)

## **Redes Inalámbricas de Sensores – WSN**

Un conjunto de nodos comunicados de forma inalámbrica se denominada WSN que se conoce como Wireless Sensor Network está definida como una red inalámbrica de dispositivos de toma de datos o sensado. Las WSN están constituidas por dispositivos de bajo consumo de energía, con capacidades de adquisición de datos y comunicación. Los dispositivos que conforman dichas redes se les denominan nodos sensores o motas (motes) y están limitados en su capacidad computacional y de comunicación. Sin embargo, trabajan de manera conjunta para transportar la información de un punto a otro de la red transmitiendo pequeños mensajes de un nodo a otro. (Fernández, 2009, p. 17).

Este tipo de redes se distinguen por su sencilla operatividad y manejo al fácilmente instalable y auto configurables, con capacidad para intercalar funciones en el proceso de emisión de y recepción de data, aunado a lo cual también es capaz de brindar servicios de enlace entre un nodo y otro, sin una visión necesariamente directa, así como puede llevar registros de sendos datos en cuestión de minutos sobre los detectores de cada nodo en cuestión para una emisión de los datos denominada broadcast. (Fernández, 2009, p. 17)

El desarrollo tecnológico permitió el desarrollo de ordenadores pequeños y de bajo costo que manejan comunicación inalámbrica y organización autónoma. La finalidad de estas redes es distribuir aleatoriamente estos nodos en grandes extensiones. (Ingeniatic, 2018)

## **Usos de la Tecnología denominada ZIGBEE**

Estos avances tecnológicos han logrado el abaratamiento de costos en los procesos de obtención

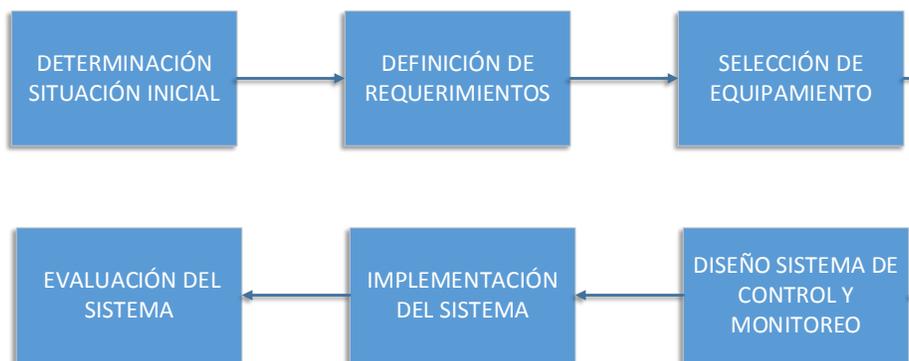
de información por vía inalámbrica, esta tecnología de comunicación inalámbrica se caracteriza por su facilidad en el uso además del significativo ahorro que se logra con su uso en los costes de producción. (Gutiérrez, 2015)

La denominada ZigBee es conocida por ser una nueva tecnología en formato carente de cableado externo, que posee un pequeño alcance y poco consumo de energía, la cual proviene de la antigua alianza Home RF. La misma se concibe como una respuesta en formato nuevo (sin cableado) que permite el uso práctico en el hogar como la seguridad y la automatización: telefonía, intercomunicadores, alarmas entre otros. (Javier Martín Moreno, 2007)

## Metodología

La presente investigación tiene como finalidad demostrar la factibilidad de inserción de recursos tecnológicos de la gama open source disponibles en el mercado para la tecnificación de procesos dentro del sector agrícola, se pretende dotar de una alternativa de bajo coste a pequeños y medianos agricultores.

A criterio del autor para el desarrollo de este trabajo se adoptó una metodología propia para la ejecución del trabajo planteado, se describe a continuación por medio de un diagrama de bloques en la figura 1.



**Figura 1:** Metodología  
Fuente: (Martínez, 2018)

### Determinación de la situación actual

Con el fin de mejorar la producción, el uso del recurso hídrico y la calidad del producto específicamente de la fresa, como emprendimiento el ingeniero agrónomo, Jorge Mayorga en

calidad de presidente de la ASOFRUT (Asociación de Fruticultores de Ambato), dispone en una de sus propiedades la implementación de un cultivo hidropónico para fresa.

El terreno para el montaje de la plantación hidropónica piloto se encuentra localizado en Tungurahua, Cantón Ambato, Parroquia Huachi Grande, el cual dispone de una extensión de 700 m<sup>2</sup>.

Previo a la implementación del sistema tecnificado, propósito del trabajo planteado, se realizó el seguimiento de la construcción del cultivo hidropónico, mediante observación directa no participativa, se determina que como fase inicial se realiza el levantamiento de estructuras construidas a base de madera cepillada en conjunto con soportes metálicos en “V”, figura 2.



**Figura 2:** Bases para cama de cultivo hidropónico.  
**Fuente:** (Martínez, 2018)

Construidas las bases, posteriormente se realiza la implementación de las denominadas camas del cultivo hidropónico basadas en membrana en su parte inferior y cubiertas con plástico acolchado mulch en la parte superior.



**Figura 3:** Cama de cultivo hidropónico.  
**Fuente:** (Martínez, 2018)

Las funciones que cumplen las camas del cultivo hidropónico son albergar el sustrato para el cultivo de la fresa, la contención de la planta misma y dar soporte a la tubería que circulará sobre ella para el riego de la plantación. La figura 3 muestra las plantas de fresa ya sembradas sobre las camas de cultivo hidropónico.

Parte fundamental de la implementación del emprendimiento además de probar una nueva forma de cultivo es la evaluación de varios sustratos para determinar el mejor de ellos y replicar su uso en cultivos futuros. Para la experimentación se emplean cuatro tipos de sustratos simples y en combinación: fibra de coco, fibra de coco - cascarilla de arroz - arena, cascarilla de arroz - arena, y fibra de coco – compost de pino.

El área de 700m<sup>2</sup> asignada para el cultivo hidropónico fue dividida en cuatro secciones, división fundamentada en la necesidad de evaluar los cuatros sustratos planteados. El cultivo alberga alrededor de 4500 plantas de fresa.

La Tabla N° 1 detalla la cantidad de plantas que aloja cada parcela, el área asignada para cada una de ellas y el sustrato empleado.

**Tabla 1:** Distribución del cultivo hidropónico

# PARCELA	# PLANTAS	ÁREA (m <sup>2</sup> )	SUSTRATO
1	1390	215,5	Fibra de coco,
2	1038	161,5	Fibra de coco - cascarilla de arroz – arena
3	1038	161,5	Cascarilla de arroz - arena
4	1038	161,5	Fibra de coco – compost de pino

Fuente: (Martínez, 2018)

### Diagramación de conexiones eléctricas y electrónicas

Una vez seleccionados los sistemas embebidos Arduino Mega y la Raspberry Pi3 como elementos hardware de la gama open source para el desarrollo práctico del sistema de control y seguimiento propuesto se elaboran la diagramación en las conexiones eléctricas y electrónicas que los relacionan con los elementos de adquisición de información y de ejecución de acciones seleccionados.

Se plantea los diagramas eléctricos del sistema centralizado de control y monitoreo y la estructura de cada elemento conjunto para la adquisición de información.

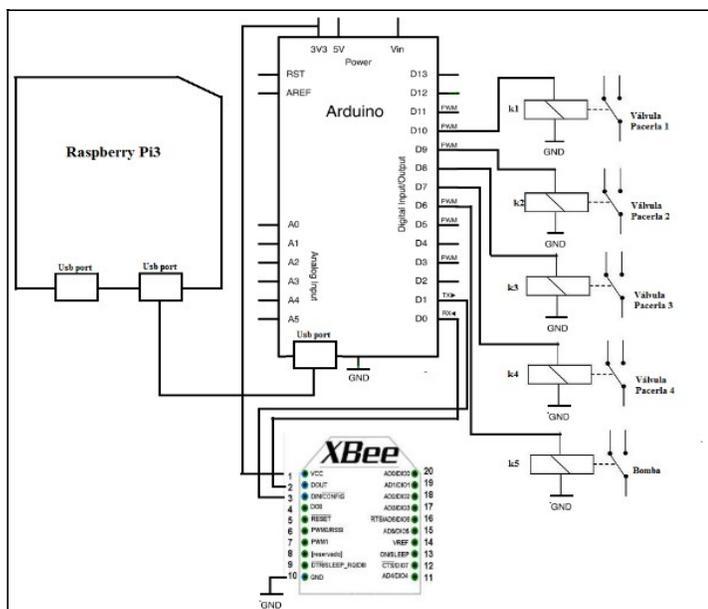


Figura 4: Diagrama electrónico sistema monitoreo y control

Fuente: (Martínez, 2018)

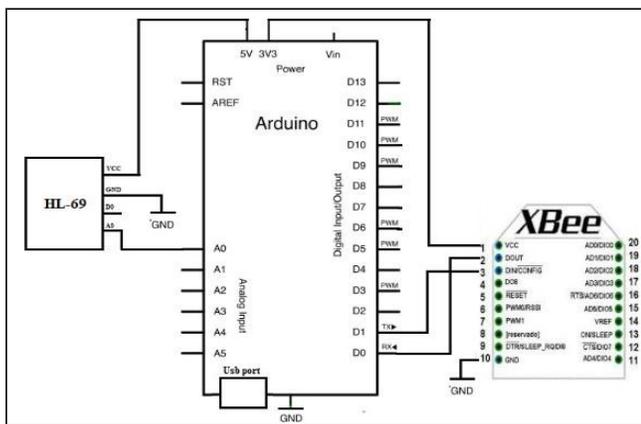
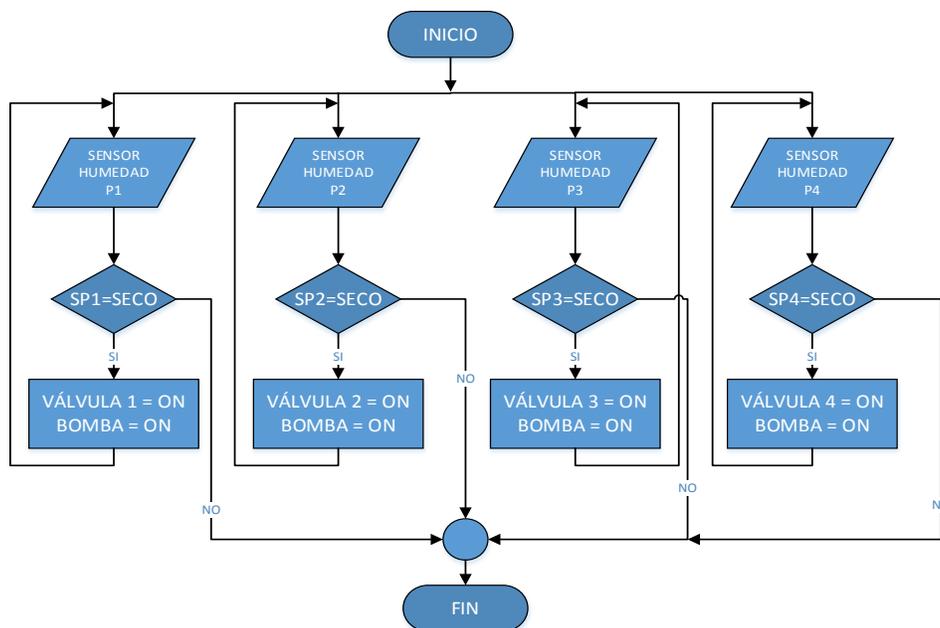


Figura 5: Diagrama eléctrico de conexiones – Nodos sensores

Fuente: (Martínez, 2018)

## Programación del sistema de control – microcontrolador



**Figura 6:** Diagrama de flujo programa sistema de control

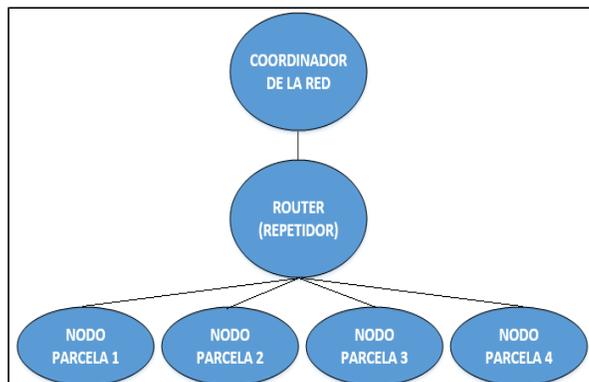
**Fuente:** (Martínez, 2018)

La figura 6 describe el algoritmo del programa de control del sistema de riego para el cultivo hidropónico, donde el ciclo de instrucciones parte de la valoración de los sensores de humedad correspondientes a cada parcela, mediante revisión bibliográfica se establece que los valores óptimos de humedad relativa para el correcto desarrollo de la planta de fresa deben estar en un rango del 70% al 85% (Agrolalibertad, 2018), teoría que se la incluye en la programación del microcontrolador para la gestión del funcionamiento de las válvulas solenoides, actuadores encargados de la administración del recurso hídrico a través del cultivo.

Para realizar la configuración de la red se parte de la determinación de la topología que manejará la WSN, algunos de los criterios que se emitieron para la selección de la topología fueron, la distancia del cultivo hacia el cuarto de monitoreo, el número de nodos en la red y la capacidad de cobertura de los módulos seleccionados (Xbee-S2).

La topología ideal para el caso específico es la de árbol con cuatro nodos, un router (repetidor) y un solo coordinador donde cada nodo estará ubicado en campo asignado uno a cada parcela con su sustrato correspondiente, enlazados a un router que resultó necesario porque el radio de transmisión de los módulos Xbee es de 150 metros y la distancia del cultivo hacia el cuarto de monitoreo era

de 167 metros, el router fue considerado como un repetidor enlazado al coordinador.

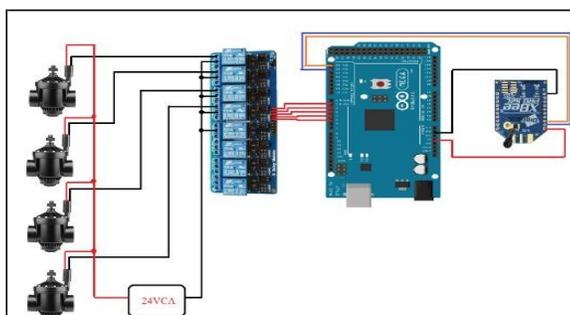


**Figura 7:** Topología de la Red – Árbol

**Fuente:** (Martínez, 2018)

### Resultados del sistema de control, monitoreo y de registro de información

Se obtuvo un sistema de control con el que se optimiza el uso del recurso hídrico, se realizará la dosificación del mismo en base al análisis de la humedad del sustrato, asegurando que la planta reciba el agua suficiente para su correcto desarrollo. La figura 8 representa el diagrama de todos los elementos que intervienen dentro del sistema de control.



**Figura 8:** Sistema de control circuito total

**Fuente:** (Martínez, 2018)

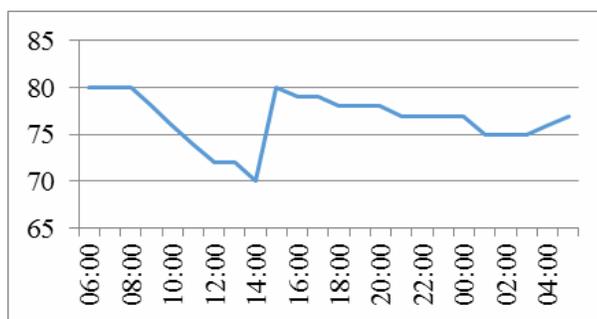
Como interfaz para el monitoreo de la humedad se emplea el puerto serial dentro del IDE de Arduino diseñando el flujo de datos de la manera que se representa en la figura 9.



de riego y el monitoreo y registro de los niveles de humedad, para posterior en base a la información obtenida sacar conclusiones.

La experimentación en campo se la realizó de igual manera durante tres días, obteniendo 72 de datos de humedad por cada parcela por el ciclo de toma de datos definido de una hora en la programación del sistema de registro de datos. A continuación, se presenta el análisis de datos para el sustrato de fibra de coco tomado como ejemplo del procedimiento efectuado.

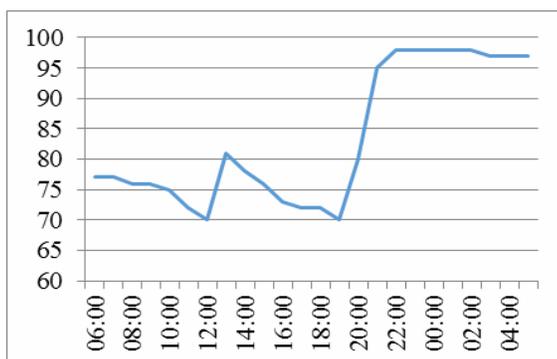
El gráfico 1 describe el comportamiento del sustrato en las primeras 24 horas de evaluación donde se observa como de la humedad del 80% considerada ideal decae hasta el 70% y nuevamente se repone al 80%, en este salto brusco de humedad a las 13:00 se detecta que hubo una acción de riego.



**Gráfico 1:** Evaluación día uno – sustrato de fibra de coco.

Fuente: (Martínez, 2018)

El gráfico 2 describe el comportamiento del sustrato en el segundo día de evaluación donde se observa nuevamente en la hora 12:00 una acción de riego, y a las 19:00 nuevamente la humedad se dispara sobre el 90%, esta acción describe la presencia de lluvia.

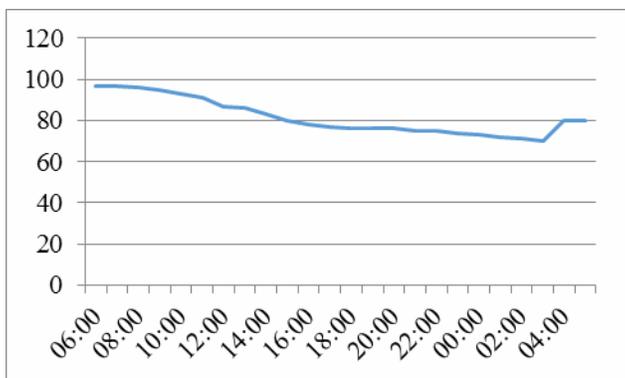


**Gráfico 2:** Evaluación día dos – sustrato de fibra de coco.

Fuente: (Martínez, 2018)

El último día de evaluación se observa en el gráfico 3 que la humedad tiene una acción decreciente

hasta las 3:00 donde se detecta nuevamente una acción de riego.



**Gráfico 3:** Evaluación día tres – sustrato de fibra de coco.  
Fuente: (Martínez, 2018)

A los datos recogidos de los otros tres sustratos se les dio el mismo tratamiento que el presentado para el sustrato de fibra de coco. El resumen de resultados del análisis de todos los sustratos se presenta en la siguiente tabla.

**Tabla 2:** Nivel de humedad inicial vs riegos realizados

Sustrato	Humedad inicial de la muestra	Humedad al final de la evaluación	# de riegos
Fibra de coco	80%	80%	4
Fibra de coco - cascarilla de arroz - arena,	80%	76%	4
Cascarilla de arroz – arena	79%	74%	3
Fibra de coco - compost de pino	81%	78%	4

Fuente: (Martínez, 2018)

En base al análisis de resultados obtenidos de la experimentación en campo se determina que el sustrato de cascarilla de arroz es el que presentó la menor demanda de riegos en el intervalo de tiempo de muestra establecido.

### Conclusiones

Mediante la revisión del arte se determinó que dentro de la amplia gama open source existen recursos hardware representados en sistemas electrónicos embebidos que presentan varios modelos

expandiendo su utilidad, son considerados para automatización de procesos por sus bondades al momento de relacionarse con el entorno y para el procesamiento de la información.

Se logró la implementación de un sistema automático de control del proceso de riego fundamentado en el uso de un Arduino MEGA 2560 para la administración del recurso hídrico dentro del cultivo hidropónico piloto en base a la gestión de los actuadores en este caso válvulas solenoides.

Se realizó la adquisición de datos de humedad de las parcelas experimentales por medio de la puesta en práctica de la *cow web* sin cableado de conectores (WSN) basada en tecnología ZigBee empleando módulos Xbee S2 conectados en topología de árbol que centralizan la información en un punto de monitoreo y registro de datos gobernado por una Raspberry PI3. Cada nodo final está integrado por un sensor de humedad HL-69 en conjunto con un Arduino UNO que sirve de soporte para procesamiento de la señal del sensor y subir datos al módulo Xbee mediante comunicación serial para que sea transmitida hacia el coordinador.

Se resalta la utilidad de los sistemas embebidos open source en la generación de sistemas complejos de control, monitoreo y registro de datos logrando tener un sistema eficaz para la optimización del recurso hídrico del cultivo hidropónico de fresa piloto en la Parroquia Huachi del Cantón Ambato, la eficiencia del sistema se lo midió por medio de pruebas de laboratorio y de campo determinando que el sustrato más ideal para conservación del nivel de humedad es la combinación de cascarilla de arroz y arena.

El período de prueba se fijó de tres días tanto para experimentaciones de laboratorio y de campo evaluando los niveles de humedad en condiciones ambientales, verificando los datos de laboratorio con los obtenidos en campo.

### **Recomendaciones**

Se recomienda el uso de recursos open source tanto software como hardware en la implementación de sistemas tecnificados dentro de áreas que se detecten procesos empíricos, con el fin de optimizar la productividad y mejor manejo de recursos con toma de decisiones justificadas con criterio técnico.

En este estudio se ha determinado el mejor sustrato para la retención del recurso hídrico se recomienda en una etapa posterior hacer un estudio del sustrato para determinar si resulta el eficaz según sus propiedades para el desarrollo de la planta de fresa.

En este caso la evaluación de la cantidad del recurso hídrico se la realizó mediante un análisis tiempo vs número de riegos, si se desearía un dato más fino de la optimización se recomendaría la instalación de sensores en el reservorio y ponerle cubierta.

## Referencias Bibliográficas

- AZUL WEB. ¿Qué son los sistemas embebidos?. 2016. [Consultado: 04 de Abril 2018] Disponible en: <https://www.azulweb.net/que-son-los-sistemas-embebidos/>
- BELTRANO, J., GIMENEZ, D. Cultivo en Hidroponía. Universidad de la Plata. Argentina. 2015. p 10-11.
- CORREA, M. ¿Qué es la hidroponía?. Argentina: El Cid Editor / apuntes. 2009.
- CHIMBORAZO, L. Análisis de la producción de fresas y su relación con el nivel de ingresos de los productores de la parroquia de Ambatillo del cantón Ambato. (tesis)(pregrado) 2013.
- DÍAZ, J. Open hardware y software, herramientas para el desarrollo de competencias educativas. Revista Iberoamericana de Producción Académica y Gestión Educativa. 2015.
- EISNER, C. Verificación formal del código fuente del software mediante modelado semiautomático. 2005. [Consultado: 26 de Marzo 2018] Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10270-003-0042-x>
- ENRIQUEZ, E. La Hidroponía en el cultivo de la fresa como alternativa para obtener cosechas con mejor calidad disminuyendo el uso de los pesticidas. Universidad Tecnológica Oteima. Facultad de ciencias agroambientales. 2015.
- FERNÁNDEZ, R. Redes inalámbricas de sensores: teoría y aplicación práctica. Material Didáctico. Ingenierías, 26. Universidad de Rioja. 2009.
- GARCÍA, E. Compilador CCs y Simulador PROTEUS ISBN 978-970-15-1397-2. México: Alfaomega. (s.f.).
- GUTIÉRREZ, M. El Español. El Androide Libre. 2015. [Consultado: 26 de Marzo 2018]. Disponible en: <https://elandroidelibre.elespanol.com/2015/08/todo-sobre-zigbee-la-tecnologia-ultrabarata-para-comunicacion-inalambrica.html>
- INFOPLC. OPEN SOURCE en la automatización. 2012. [Consultado: 04 de Abril 2018] Disponible en: <http://www.infopl.net/documentacion/67-estandares-programacion/1457-open-source-en-la-automatizacion>
- LÓPEZ L, C. R. Selección del sustrato para el crecimiento de la fresa en hidroponía. Fitotec. 2005. pp. 171-174.
- MARTÍNEZ, F. Optimización del recurso hídrico en el proceso de riego de un cultivo hidropónico de fresa en la parroquia huachi del cantón ambato en base a sistemas embebidos open source. Espoch.2018

- MACÍAS, E. Técnicas de Automatización. Universidad de la Rioja. 2012.
- MARLA GLEN M., J. M. Sistema de Transmisión. 2012. [Consultado: 26 de Marzo 2018]. Disponible en: <https://sx-de-tx.wikispaces.com/ZIGBEE>
- MORENO, M., & RUIZ, D. ZigBee. (IEEE 802.15. 4) 2007.
- OASIS GROWER SOLUTIONS. Manual de Hidroponía. 2016. Easy Plant Sustratos Hidropónicos. México. 2012.
- OPENBIZ. Consultoría en Open Source. Buenos Aires. Argentina. 2017. [Consultado: 26 de Marzo 2018]. Disponible en: <http://www.openbiz.com.ar/Open%20Source.pdf>
- ORTIZ, M. La hidroponía crecerá de la mano de la exportación. Red Agrícola. Perú. 2017. [Consultado: 26 de Marzo 2018]. Disponible en: <http://www.redagricola.com/pe/la-hidroponia-crecera-la-mano-la-exportacion/>.
- PERE PONSA, A., & VILANOVA ARBOS, R. Automatización de procesos mediante la guía GEMMA. Barcelona - España: UPC. 2005.
- REA, L. Análisis del rendimiento de la fresa (*Fragaria chiloensis* L. Duch) sometida a diferentes tipos de sustratos dentro de un cultivo semihidropónico. Imbabura. 2012.
- REYES, C. Microcontroladores. ISBN: 9978-45-004-1. Quito-Ecuador: Rispergraf. 2006.
- RUIZ CANALES, A., & MOLINA MARTÍNEZ, J. Automatización y telecontrol de sistemas de riego. Barcelona-España: Marcombo. 2010.
- SAC, S. D. Una locomotora que impulsa el desarrollo del país. Revista Nacional de Agricultura. 2010. pp. 4-6.
- SENPLADES, S. N. Buen vivir Plan Nacional 2013 - 2017. 2017. pp.189. [Consultado: 25 de Febrero 2018]. Disponible en: <http://www.buenvivir.gob.ec/objetivo-10.-impulsar-la-transformacion-de-la-matriz-productiva>
- UNESCO. Software libre y de código abierto (FOSS). (s.f.). . [Consultado: 06 de Marzo 2018]. Disponible en: <https://en.unesco.org/foss>.
- VALDES F. Microcontroladores Fundamentos y Aplicaciones. ISBN: 84-267-1414-5. España: Marcombo. 2007.
- WANG, Y., YU, Y., XIE, C., ZHANG, X., & JIANG, W. A proposed approach to mechatronics design education: Integrating design methodology, simulation with projects. Mechatronics. 2012. pp. 942-948.
- WIL. Agropecuarios.net. 2011. [Consultado: 26 de Marzo 2018]. Disponible en: <http://agropecuarios.net/cultivos-hidroponicos.html>
- ZHENG, C., BRICOGNE, M., LE DUIGOU, J., & EYNARD, B. Survey on mechatronic engineering: A focus on design methods and product models. Advanced Engineering Informatics. 2014.