



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**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**

MARTÍNEZ NARANJO, HENRY FABRIZIO

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: PROPUESTA TECNOLÓGICA

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

RIOBAMBA – ECUADOR

2018

ESPOCH

Facultad de Mecánica

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TRABAJO
DE TITULACIÓN**

2017-12-06

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

MARTÍNEZ NARANJO HENRY FABRIZIO

Titulado:

**“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”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

Ing. Carlos José Santillán Mariño
DECANO FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Eduardo Francisco García Cabezas
TUTOR

Ing. Julio César Moyano Alulema
ASESOR

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: MARTÍNEZ NARANJO HENRY FABRIZZIO

TRABAJO DE TITULACIÓN: “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”

Fecha de Examinación: 2018-06-27

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Ángel Guamán Mendoza PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Eduardo García Cabezas TUTOR			
Ing. Julio Moyano Alulema ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA

DERECHOS DE AUTORÍA

El Trabajo de Titulación que presento, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad del autor. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Martínez Naranjo Henry Fabrizzio

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Martínez Naranjo Henry Fabrizzio, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados de este son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados. Como autor, asumo la responsabilidad legal y académicas de los contenidos de este trabajo de titulación.

Martínez Naranjo Henry Fabrizzio

C.I. 080274677-6

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación es dedicado principalmente a Dios, quien supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante, y permitirme haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mi abuelita Mariana, por apoyarme con los recursos necesarios para estudiar. A mis padres Ing. Henry Martínez y Aracely Naranjo, que me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos, quienes con sus consejos han sabido guiarme para culminar mi carrera profesional. A mi hermano Joao y hermanas Dharlita e Isabellita por todo el cariño que me brindan. A mi familia en general, porque me han brindado su apoyo y por compartir conmigo buenos y malos momentos.

A mis amigos Jefferson, Raúl, Vicente, Luis, Gabriel, Cristian, Edwin, por estar ahí presentes en todo este trayecto, con quienes he compartido muchas historias y anécdotas inolvidables.

HENRY FABRIZIO MARTÍNEZ NARANJO

AGRADECIMIENTO

Principalmente quiero agradecer a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de este arduo caminar estudiantil, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes y experiencias.

A la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO, por haberme educado y formado como un profesional en la Carrera de Ingeniería Industrial.

A mi Tutor de tesis Ing. Eduardo García y Asesor Ing. Julio Moyano, por la motivación, dedicación y soporte en todo el proceso de realización de la misma.

Al Ing. Jorge Mayorga por darme la apertura para realizar mi trabajo de titulación en su propiedad.

También quiero agradecer a toda mi familia, ya que sin ellos esta meta no hubiera sido posible, en especial a mi Abuelita Mariana, a mis padres Ing. Henry Martínez y Aracely Naranjo, a Liana Robles, que gracias a sus consejos y apoyo me han motivado durante mi formación profesional.

Son muchas las personas que han formado parte de mi vida, a las que me encantaría agradecerles por su amistad, cariño, consejos, apoyo que me han brindado y por todas sus bendiciones, muchas gracias.

HENRY FABRIZIO MARTÍNEZ NARANJO

CONTENIDO

CAPÍTULO I	1
1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	1
1.1 Hidroponía	1
<i>1.1.1 Evolución de la Hidroponía</i>	<i>2</i>
<i>1.1.2 Ventajas y Desventajas de la Hidroponía</i>	<i>3</i>
<i>1.1.3 Componentes de un sistema hidropónico</i>	<i>4</i>
1.2 Sustratos	5
<i>1.2.1 Tipos de sustratos para hidroponía</i>	<i>5</i>
1.3 Automatización	6
<i>1.3.1 Automatas Programables</i>	<i>7</i>
<i>1.3.2 Microcontroladores</i>	<i>9</i>
<i>1.3.3 Open Source en la Automatización</i>	<i>11</i>
1.4 Sistemas embebidos	12
1.5 Open source	12
<i>1.5.1 Hardware Open Source</i>	<i>13</i>
<i>1.5.2 Software Open Source</i>	<i>14</i>
1.6 Redes Inalámbricas de Sensores – WSN	15
<i>1.6.1 Arquitectura de la WSN</i>	<i>16</i>
<i>1.6.2 Topologías - WSN</i>	<i>19</i>
<i>1.6.3 Tecnología ZIGBEE</i>	<i>20</i>
CAPÍTULO II	22
2. METODOLOGÍA	22
2.1 Determinación de la situación actual	22
<i>2.1.1 Riego del Cultivo Hidropónico</i>	<i>25</i>
<i>2.1.2 Humedad en el sustrato</i>	<i>26</i>
2.2 Definición de requerimientos	27
<i>2.2.1 Sistema esperado</i>	<i>28</i>

2.2.2 Definición variables del sistema	30
2.3 Selección de equipamiento.....	31
2.3.1 Equipamiento sistema de control.....	31
2.3.2 Equipamiento sistema de monitoreo.....	37
2.4 Diseño del sistema de control y monitoreo.....	43
2.4.1 Diagramación de conexiones eléctricas y electrónicas.....	43
2.4.2 Configuración de partida de la tarjeta Arduino.....	44
2.4.3 Programación del sistema de control – Microcontrolador.....	45
2.4.4 Configuración de partida de la tarjeta Raspberry Pi3.....	46
2.4.5 Programación del sistema de monitoreo y registro.....	47
CAPÍTULO III.....	54
3. MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	54
3.1 Implementación del sistema de control.....	54
3.1.1 Tablero eléctrico y electrónico.....	54
3.1.2 Montaje de dispositivos en campo	55
3.2 Evaluación del sistema.....	60
3.2.2 Pruebas en campo	65
CAPÍTULO IV	69
4. COSTOS	69
4.1 Costos directos.....	69
4.1.1 Costos Eléctricos & Electrónicos.....	69
4.1.4 Costo de mano de obra.....	69
4.1.6 Costos directos totales	70
4.2 Costos indirectos	70
4.3 Costo total.....	70
CONCLUSIONES.....	71
RECOMENDACIONES.....	72
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1-2: Distribución del cultivo hidropónico.....	25
Tabla 2-2: Variables del sistema.....	30
Tabla 3-2: Características placa Arduino MEGA	35
Tabla 1-3: Experimentación inicial.....	61
Tabla 2-3: Nivel de humedad transcurrido tres días	63
Tabla 3-3: Nivel de humedad inicial vs riegos realizados	67
Tabla 1-4: Costos eléctricos & Electrónicos.....	69
Tabla 2-4: Costos mano de obra	69
Tabla 3-4: Costo directos totales.....	70
Tabla 4-4: Costo indirectos totales.....	70
Tabla 5-4: Costo total.....	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Flujo de información.....	1
Figura 2-1: Jardines Colgantes - Babilonia.....	2
Figura 3-1: Componentes del sistema hidropónico	5
Figura 4-1: Automatización de un proceso.....	7
Figura 5-1: Estructura interna del PLC.....	8
Figura 6-1: Arquitectura básica de un microcontrolador	9
Figura 7-1: Diagrama interno de un microcontrolador.....	10
Figura 8-1: Parte Interna del procesamiento de información.....	10
Figura 9-1: Hardware Open Source – PLC.....	11
Figura 10-1: Open Source.....	12
Figura 11-1: Hardware Open Source – Logo Arduino	13
Figura 12-1: Software Open Source	14
Figura 13-1: Software Open Source	17
Figura 14-1: Software Open Source	18
Figura 15-1: Topologías para WSN.....	19
Figura 16-1: Topologías para WSN.....	20
Figura 1-2: Metodología	22
Figura 2-2: Ubicación satelital de área de cultivo piloto.....	23
Figura 3-2: Bases para cama de cultivo hidropónico.....	23
Figura 4-2: Cama de cultivo hidropónico.....	24
Figura 5-2: Sistema para el riego inicial	25
Figura 6-2: Tuberías del sistema de riego.....	26
Figura 7-2: Prueba empírica nivel de humedad sustratos.....	27
Figura 8-2: Algoritmo de decisión para el sistema de riego	28
Figura 9-2: Bloques para el sistema de monitoreo.....	29
Figura 10-2: Bloques para el sistema de control.....	30
Figura 11-2: Arduino – Open Source - logo	31
Figura 12-2: Modelos de placas Arduino	32
Figura 13-2: Elementos principales del Arduino	33
Figura 14-2: Arduino Mega	35
Figura 15-2: Válvula Solenoide para riego.....	37
Figura 16-2: Bomba Eléctrica 2HP.....	37
Figura 17-2: Sensor de Humedad	38
Figura 18-2: Xbee S2.....	39

Figura 19-2: Modelos de placas Raspberrys.....	40
Figura 20-2: Puertos de Conexión Raspberry PI3	42
Figura 21-2: Sistemas Operativos Raspberry Pi3	42
Figura 22-2: Diagrama electrónico sistema monitoreo y control	43
Figura 23-2: Diagrama eléctrico de conexiones – Nodos sensores	44
Figura 24-2: Reconocimiento de la placa Arduino en el IDE Arduino	44
Figura 25-2: Diagrama de flujo programa sistema de control	45
Figura 26-2: Win32DiskImage	47
Figura 27-2: Topología de la Red - Árbol	48
Figura 28-2: IDE XCTU	48
Figura 29-2: Pantalla sección de configuración del nodo coordinador.....	49
Figura 30-2: Pantalla sección de configuración del router.	50
Figura 31-2: Pantalla sección de configuración del nodo final (a).	50
Figura 32-2: Pantalla sección de configuración del nodo final (b).	51
Figura 33-2: Prueba de continuidad Arduino y Raspberry	52
Figura 34-2: Programación para registro de datos	53
Figura 1-3: Montaje de dispositivos en el gabinete.	54
Figura 2-3: Instalación válvulas solenoides	55
Figura 3-3: Instalación gabinete	56
Figura 4-3: Sensores inalámbricos.....	56
Figura 5-3: Instalación nodo en la parcela.....	57
Figura 6-3: Monitoreo de la humedad	57
Figura 7-3: Sistema de control circuito total.....	58
Figura 8-3: Sistema de Monitoreo	59
Figura 9-3: Sistema de monitoreo.....	59
Figura 10-3: Pruebas en muestras de sustrato fibra de coco - compost de pino	60
Figura 11-3: Medias de la temperatura ambiente en días de evaluación	64
Figura 12-3: Experimentación en campo.	65

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3: Condición inicial, punto de partida provocado.....	62
Gráfico 2-3: Consumo de agua en las muestras para alcanzar la condición de partida	63
Gráfico 3-3: Humedad inicio prueba vs humedad tres días después.....	64
Gráfico 4-3: Evaluación día uno – sustrato de fibra de coco.	66
Gráfico 5-3: Evaluación día dos – sustrato de fibra de coco.....	66
Gráfico 6-3: Evaluación día tres – sustrato de fibra de coco.	67

LISTADO DE ANEXOS

Anexo A. DATASHEET X-BEE S2

Anexo B. DATASHEET RASPBERRY Pi3

Anexo C. COMBINACIÓN ARDUINO - MÓDULO XBEE

Anexo D. COMUNICACIÓN SERIAL DE LA PROGRAMACIÓN DEL ARDUINO

RESUMEN

El presente trabajo de titulación describe el diseño e implementación de un sistema basado en el uso de sistemas embebidos open source para la evaluación del grado de retención de humedad de diferentes combinaciones de sustratos utilizados en el proceso de cultivo hidropónico de fresas. La plantación piloto donde se realizó la evaluación cuenta con un área de $700m^2$, 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 según el grado de humedad evaluado en cada parcela. 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 un punto centralizado gestionado por una Raspberry Pi3 donde dicha información es monitoreada y registrada en una base de datos en tiempo real. Se logró con la implementación del sistema determinar mediante pruebas de laboratorio y de campo que el sustrato con mayor nivel de retención de humedad es la combinación de cascarilla de arroz con arena ampliando los intervalos de tiempo para el riego, optimizando de esta forma el uso del recurso hídrico. En conclusión se logró la implementación de un sistema completo de control y monitoreo en base a sistemas embebidos open source de bajo costo y de alta eficiencia, 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.

Palabras clave: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <INGENIERÍA INDUSTRIAL>, <SISTEMAS DE CONTROL>, <RED INALÁMBRICA DE SENSORES>, <SUSTRATOS>, <CULTIVO HIDROPÓNICO>, <SISTEMAS DE MONITOREO>.

ABSTRACT

The present research work describes the design and implementation of a system based on the use of open source embedded systems to evaluate the degree of moisture retention of different combinations of substrates used in the process of strawberries hydroponic growth. The pilot growing where the evaluation was carried out has an area of 700 m², distributed in four plots of equal magnitude where combinations of substrates such as coconut fiber, coconut fiber - rice - sand husk, rice husk - sand, and coconut fiber - pine compost were used. 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 according to the humidity degree evaluated in each plot. A WSN (Wireless Sensor Network) with ZigBee technology based on Xbee S2 devices was used to record 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 the information is monitored and recorded in a database in real time. It was achieved with the implementation of the system to determine through laboratory and field tests that the substrate with the highest level of moisture retention is the combination of rice husk with sand extending the time intervals for irrigation, thus optimizing the use of hydric resources. In conclusion, the implementation of a complete control and monitoring system based on low-cost, high-efficiency, open source embedded systems was achieved. It is recommended the use of open source resources, both software and hardware, in the implementation of technical systems in areas that detect empirical processes in order to optimize productivity and better resource management with justified decision making with technical criteria.

Keywords: <TECHNOLOGY AND SCIENCE OF ENGINEERING>, <INDUSTRIAL ENGINEERING>, <CONTROL SYSTEMS>, <SENSOR WIRELESS NETWORK>, <SUBSTRATES>, <HYDROPONIC GROWTH>, <MONITORING SYSTEMS>

INTRODUCCIÓN

En Ecuador los procesos de agricultura de pequeños y medianos agricultores se los ha venido realizando empíricamente todo a criterio y la experiencia del agricultor, es decir, sin ningún sustento técnico, donde dichos procesos se ven expuestos a la mala administración de recursos y hasta a la generación de pérdidas.

El cultivo hidropónico últimamente ha ganado espacio en el país siendo una alternativa para la gente del campo que evidencia que la agricultura no tiene que ser tan sacrificada, pues existen alternativas para optimizar espacios y recursos, además mantener los productos libres de plagas que muchas veces se producen en la tierra.

Uno de los puntos del país donde se han adoptado cultivos hidropónicos es la provincia de Tungurahua en el cantón Ambato, específicamente el estudio se lo realiza en la parroquia de Huachi en la plantación de uno de los miembros de la Asociación de fruticultores de Ambato (ASOFRUT) donde se está implementando un cultivo hidropónico piloto con el fin de experimentar parcelas de prueba con diferentes tipos de combinaciones de sustratos para establecer la mejor de ellas en retención de humedad; el problema suscita al no disponer de sistemas de riego tecnificados lo que impide determinar el resultado de la experimentación con un criterio técnico, pues no se cuenta con una herramienta para la evaluación de la experimentación.

El presente trabajo está dirigido a pequeños y medianos agricultores por lo que incentiva el uso de tecnología “open source” con el fin de reducir costos y dotar de una herramienta tecnificada para el riego automatizado de los cultivos, monitoreo y registro del nivel de retención de humedad de cada combinación de sustrato experimental utilizada en el cultivo hidropónico piloto, información que puede ser importante para los expertos del área agrónoma y se pueda por un análisis comparativo determinar la combinación de sustratos idónea para el cultivo de la fresa. Se plantea utilizar sensores de humedad a lo largo del cultivo montados sobre una red inalámbrica y centralizar la información en un medio local para su monitoreo y almacenamiento para su posterior análisis y obtención de resultados que sirvan para replicarlos en cultivos similares.

ANTECEDENTES

El desarrollo de un sistema complejo como la automatización, que integre la colaboración de múltiples disciplinas, requiere de la aplicación de un adecuado y cuidadoso proceso de ingeniería que garantice el éxito del proyecto; la utilización de metodologías de diseño ayuda a los ingenieros y demás participantes para que puedan interactuar y colaborar de manera eficiente en las diferentes tareas que se requieren durante todas las fases del proyecto. (Zheng, Bricogne, Le Duigou, & Eynard, 2014, p.23)

Las metodologías para el diseño de sistemas que integran electrónica y tecnologías de la información en sistemas físicos, son un campo que ha llamado la atención de investigadores que han realizado muchos estudios en los últimos años, presentando algunas alternativas que pueden ser implementadas. (Wang, Yu, Xie, Zhang, & Jiang, 2012, p.37)

La aplicación localizada de insumos agrícolas, de acuerdo con las necesidades específicas de cada porción de suelo en un cultivo. Esta práctica, que incorpora tecnología al campo, está siendo adoptada a nivel mundial ya que permite distribuir de forma eficiente los recursos, incrementar la calidad y cantidad de los productos y transformar la agricultura en un sector más rentable. Beneficios como éstos son fundamentales en países en desarrollo, donde la agricultura, es uno de los sectores claves para la generación de empleo y por tanto, una de las principales actividades económicas de su población. (SAC, 2010, p.54)

En América el cultivo hidropónico no está muy difundido, pero lo más tecnificado, desarrollado y a gran escala se encuentra en Estados Unidos, la Unión Europea y Japón, la mayor parte de las grandes empresas ubicadas en estos emporios del consumismo dedican su esfuerzo al cultivo de hortalizas de variedades múltiples y que son de gran demanda. (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, fertiriego y a menor escala el cultivo hidropónico con la finalidad de incrementar la producción; Los cultivos en hidroponía requieren de sustratos adecuados o medios de 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 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 ellos se encuentra la producción de fresa que en los últimos años ha tenido un realce considerable debido a que varias parroquias rurales han optado por la producción de esta fruta, por lo que resulta importante el trabajo planteado a desarrollarse en la parroquia Huachi de la ciudad de Ambato de la provincia de Tungurahua.”
(Chimborazo, 2013, p.46)

JUSTIFICACIÓN

Justificación teórica

Se dispone de un cultivo hidropónico piloto en el que se experimenta con diferentes combinaciones de sustratos para determinar cuál de ellas presenta un mayor nivel de retención de humedad. Se pretende la implementación de un sistema que cubra las acciones de control automatizado del proceso de riego, monitoreo y registro de información. Se emplea hardware y software del tipo “open source”. Arduino y Raspberry los sistemas embebido más frecuentes en el mercado, son las alternativas más relevantes a la hora de implementar sistemas de control y monitoreo, Arduino por sus facilidades de interactuar con el entorno por medio del análisis de señales de sensores que evalúen variables generadas dentro de un proceso para en función de éstas realizar el control de elementos actuadores dentro del proceso, Raspberry por su velocidad para procesamiento de información, operaciones lógicas y aritméticas y por otra parte para la recolección de información de manera inalámbrica el uso módulos Xbee de tecnología ZigBee para el montaje de una red inalámbrica de sensores que resultan convenientes por su costo y el área de cobertura que manejan, creando con la integración de estos sistemas embebidos un sistema robusto que cubre los requerimientos planteados.

.

Justificación metodológica

Una de las bondades del sistema a implementarse es la adquisición y registro de información lo que genera recursos para su análisis y determinación de resultados. En este proyecto se realizará la automatización del proceso de riego y se centralizará la recolección de información en tiempo real de niveles de humedad en las diferentes combinaciones de sustratos empleadas en el cultivo hidropónico piloto, y en base a algoritmos programados realizará una comparación de información de los datos adquiridos para determinar la combinación más eficiente para la retención de la humedad.

Justificación práctica

El sistema propuesto hace uso de transferencia tecnológica enfocada a la utilización de recurso “open source” con el fin de crear un sistema de bajo costo, flexible y confiable con el fin de

aportar al desarrollo y tecnificación de los procesos agrícolas de pequeño y medianos productores que se los puede definir como un grupo vulnerable dentro de la sociedad productiva del país, dotando de tecnología para sus cultivos y puedan manejar de mejor manera sus recursos generando mayor rentabilidad de su actividad. El proyecto a su vez respalda su importancia sostenido en el objetivo número 10 del Plan Nacional del Buen Vivir señala “la transformación de la matriz productiva supone una interacción con la frontera científico – técnica, en la que se producen cambios estructurales que direccionan las formas tradicionales del proceso y la estructura productiva actual, hacia nuevas formas de producir que promueven la diversificación productiva en nuevos sectores, con mayor intensidad en conocimientos y consideraciones de asimetrías tecnológicas”.

OBJETIVOS

General

- Optimizar el 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”.

Específico

- Determinar los fundamentos teóricos y metodológicos de la automatización mediante sistemas embebidos “open source”.
- Realizar un sistema de control automatizado para el riego de un cultivo hidropónico de fresa piloto.
- Adquirir mediante el montaje de una red inalámbrica de sensores los niveles de humedad de las combinaciones de sustratos empleadas en el cultivo hidropónico de fresa piloto.
- Evaluar el funcionamiento y utilidad del sistema embebido “open source” del proceso de riego en un cultivo hidropónico de fresa en la parroquia Huachi del cantón Ambato con pruebas de campo y extracción de reportes.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1 Hidroponía

La hidroponía está definida como un conjunto de técnicas que permite el cultivo de plantas en un medio libre de suelo (Oasis Grower Solutions, 2015, p. 4).



Figura 1-1: Flujo de información

Fuente: (Ortiz, 2017)

Se puede desarrollar en lugares como azoteas, suelos infértiles, terrenos escabrosos, invernaderos climatizados o no, etc. con estructuras desde lo más simples hasta las más complejas para producir plantas esencialmente del tipo herbáceo. Se han desarrollado técnicas para este cultivo en base a sustratos que son los medios donde se sostiene la planta, o en sistemas con aportes de soluciones de nutrientes estáticos o circulantes, sin descuidar aspectos importantes para la planta como son factores de temperatura, humedad, agua y nutrientes. La palabra hidroponía deriva del griego HIDRO equivalente a agua y PONOS que significa trabajo lo cual literalmente denota el trabajo en agua. (Beltrano & Giménez, 2015, p. 11)

Aunque no es una metodología moderna para el cultivo de plantas, sino una técnica ancestral;

en la antigüedad hubo culturas y civilizaciones que utilizaron esta metodología como medio de subsistencia. Se asocia esta forma de cultivo con grandes invernaderos para el cultivo de plantas y el empleo de la más compleja tecnología; sin embargo, los orígenes de la hidroponía fueron muy simples en su implementación. El desarrollo actual de la técnica de los cultivos hidropónicos, está basada en la utilización de mínimo espacio, mínimo consumo de agua y máxima producción y calidad. (Beltrano & Giménez, 2015, p. 11)

Actualmente es una herramienta que permite el cultivo de plantas sin suelo, es decir sin tierra. Un cultivo hidropónico es un sistema aislado del suelo, utilizado para cultivar plantas cuyo crecimiento es posible gracias al suministro adecuado de los requerimientos hídricos nutricionales, a través del agua y solución nutritiva. Con la técnica de cultivo sin suelo es posible obtener hortalizas de excelente calidad y sanidad, permitiendo un uso más eficiente del agua y los nutrientes. Basados en la experiencia, los rendimientos por unidad de área cultivada son altos debido a una mayor densidad, mayor productividad por planta y eficiencia en el uso de los recursos agua, luz y nutrientes. (Beltrano & Gimenez, 2015, p. 11)

1.1.1 Evolución de la Hidroponía

La Hidroponía parte del crecimiento de plantas en los océanos primigenios y otras grandes masas de agua y data aproximadamente desde el inicio de la tierra. El cultivo hidropónico es anterior al cultivo en tierra.

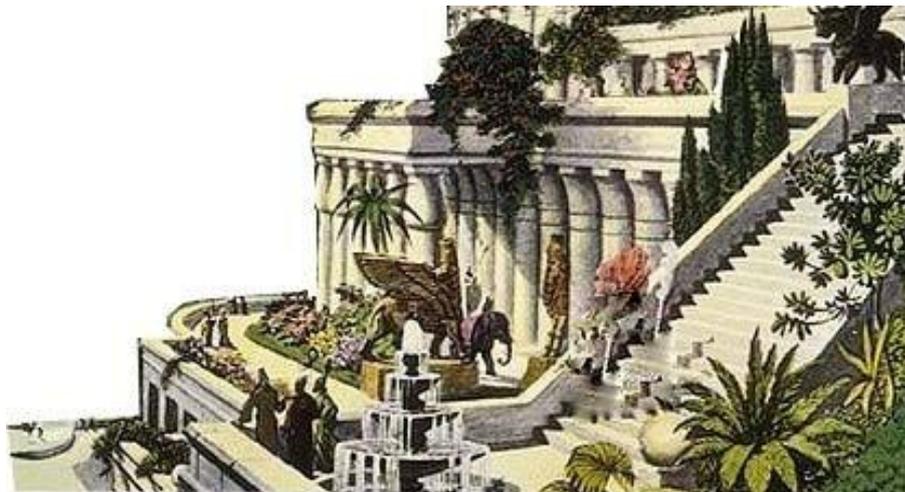


Figura 2-1: Jardines Colgantes - Babilonia

Fuente: (Beltrano & Gimenez, 2015, p. 17)

Muchos creen que empezó en la antigua Babilonia, en los famosos Jardines Colgantes que se conocen como una de las Siete Maravillas del Mundo Antiguo, en lo que probablemente fuera

uno de los primeros intentos exitosos de cultivar plantas sin suelo. Se menciona también que esta técnica fue utilizada en la antigua China, India, Egipto, también la cultura Maya la utilizaba, y existen notas que fue utilizada por algunas tribus asentadas en el lago Titicaca; desarrollándose mucho más tarde a niveles muy elevados, en países con limitaciones serias de suelo y agua. (Beltrano & Gimenez, 2015, p. 16-17)

Fue hasta el siglo XIX que se desarrollaron soluciones minerales para el aporte de nutrimentos requeridos en los cultivos hidropónicos. En 1699, John Woodward cultivó plantas en agua y encontró que el crecimiento de ellas era el resultado de ciertas sustancias en el agua obtenidas del suelo, esto al observar que las plantas crecían peor en agua destilada que en fuentes de agua no tan purificadas. En 1804, De Saussure expuso el principio de que las plantas están compuestas por elementos químicos obtenidos del agua, suelo y aire. Los botánicos alemanes Julius von Sachs y Wilhelm Knop en la década de 1860 fueron los primeros en perfeccionar las soluciones con nutrientes minerales para el cultivo sin suelo. El crecimiento de plantas terrestres sin suelo en soluciones minerales se convirtió rápidamente en una técnica estándar de la investigación y de la enseñanza y sigue siendo ampliamente utilizada hasta hoy. (Beltrano & Gimenez, 2015, p. 16-17)

Durante la segunda guerra mundial cuando las tropas estadounidenses que estaban situadas en el Pacífico, pusieron en práctica métodos hidropónicos a gran escala para proveer de verduras frescas a las tropas en guerra con Japón en islas donde no había suelo disponible y era extremadamente caro transportarlas. (Oasis Grower Solutions, 2015, p. 4)

En la actualidad, en países como Holanda, los Estados Unidos de Norteamérica, México y otros países incluidos Ecuador se han desarrollado diferentes sistemas con numerosas tecnologías basadas en diferentes sustratos. (Oasis Grower Solutions, 2015, p. 5)

1.1.2 Ventajas y Desventajas de la Hidroponía

1.1.2.1 Ventajas técnicas de la hidroponía

- Optimización del uso del agua, oxígeno y nutrientes.
- Control eficiente y fácil del pH y la salinidad.

- Total ausencia de malezas, ausencia de plagas y enfermedades en la raíz, al menos inicialmente.
- Eficiencia y facilidad de esterilización. (Oasis Grower Solutions, 2015, p. 5)

1.1.2.2 Ventajas económicas de la hidroponía

- Productos cosechados de mejor calidad, con limpieza e higiene
- Disminución de costos en agua y fertilizantes.
- Uniformidad en la cosecha y posibilidad de varias cosechas al año.
- Altos rendimientos por unidad de superficie.
- En poca superficie se puede lograr un alto rendimiento.
- Sin la limitante del suelo, puede producirse en cualquier sitio incluyendo los ambientes urbanos. (Oasis Grower Solutions, 2015, p. 5)

1.1.2.3 Desventajas de la hidroponía

- Inversión inicial elevada.
- Requiere personal calificado para el cuidado y aplicación de la técnica
- Importación de equipos e insumos. (Oasis Grower Solutions, 2015, p. 5)

1.1.3 Componentes de un sistema hidropónico

Al mencionar los componentes de un sistema hidropónico se consideran dos aspectos, uno de ellos que relaciona los componentes relacionados directamente con la estructura radicular de la planta siendo estos los sustratos, soluciones nutritivas, riego y drenaje, de los cuales el estudio de este trabajo se enfoca en definir el mejor sustrato para un cultivo específico por medio de la valoración de la retención de agua que poseen, y el control del sistema de riego para dichos

cultivos. Mientras que desde otro punto de vista se consideran los componentes climáticos que engloban la temperatura, humedad atmosférica y la luz, que son factores indispensables para la vida de las plantas independientemente del cultivo que se aplique. La figura 3-1 representa la relación que se guarda entre cada uno de los componentes mencionados. (Oasis Grower Solutions, 2015, p. 5)

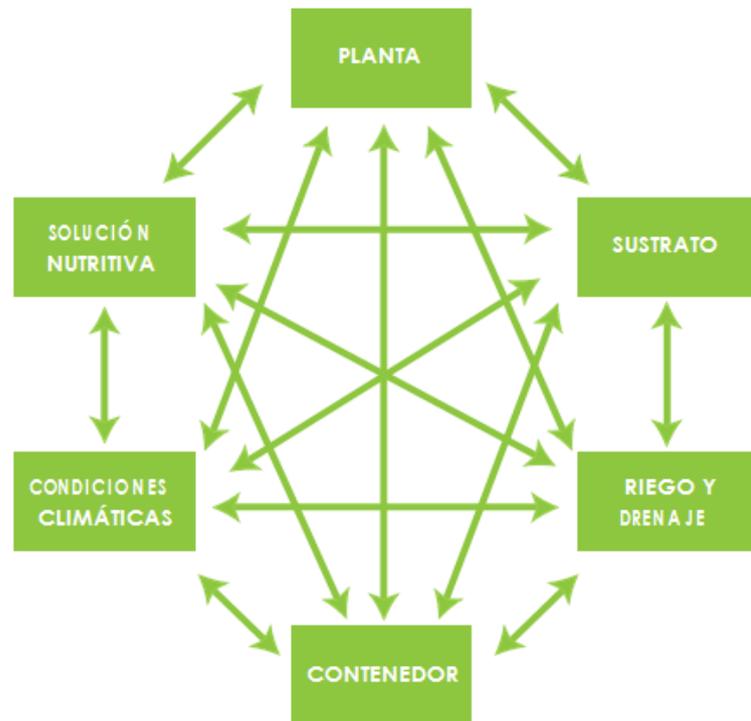


Figura 3-1: Componentes del sistema hidropónico

Fuente: (Oasis Grower Solutions, 2015, p. 5)

1.2 Sustratos

Un sustrato es un medio sólido e inerte distinto al suelo que puede ser del tipo natural o de síntesis, mineral u orgánico, que colocado en un contenedor protege y da soporte a la planta para el desarrollo del sistema radicular, permitiendo que soluciones nutritivas se encuentre disponible para su desarrollo. (Hydro-Enviroment, 2001) (Correa, 2009)

1.2.1 Tipos de sustratos para hidroponía

Dentro de la actividad de cultivo hidropónico se pueden establecer tres tipos de sustratos empleados en la actualidad en el desarrollo de la actividad, que pueden ser utilizados en forma individual o en combinaciones de varios de ellos, con el fin de buscar el mejor rendimiento del

sustrato que influya en el crecimiento eficiente de la planta y la producción de productos de calidad.

Se ilustran a continuación una clasificación de los sustratos considerando su origen de procedencia.

1.2.1.1 Sustratos Inorgánicos.

En este grupo se menciona la piedra pómez, grava, roca volcánica o tezontle, arena de río, arcillas expandidas, lana de roca entre otros, que como característica principal que los define por esta clasificación es que poseen partículas de dimensiones mayores a 2 mm de diámetro. (Enríquez, 2015)

1.2.1.2 Sustratos Orgánicos:

De origen natural, se caracterizan por estar sujetos a descomposición biológica (Beltrano & Giménez, 2015, p. 82), estos grupos regularmente son productos de desecho de alguna actividad agropecuaria o a su vez industrial, así como de productos importados de otros países. Aserrín, fibra de coco, compost de pino, cascarilla de arroz, cascarilla de café, peat moss. (Enríquez, 2015)

1.2.1.3 Sustratos Sintéticos:

En este grupo se destacan geles, espuma sintéticas tales como espuma de polietileno, espuma de poliestireno, espuma de poliuretano y espuma fenólica sustratos con un tratamiento a base de complementos químicos. (Enríquez, 2015)

1.3 Automatización

Automatización se defina como la aplicación de la automática para el control de procesos industriales, entendiéndose como automática al conjunto de métodos y procedimientos para la sustitución del operario en tareas físicas y mentales previamente programadas. (Pere Ponsa & Vilanova Arbos, 2005)

Entendiéndose por proceso a aquella parte del sistema en que, a partir de la entrada de material, energía e información, se genera una transformación sujeta a perturbaciones del entorno, que da lugar a la salida de material en forma de producto. (Pere Ponsa & Vilanova Arbos, 2005)

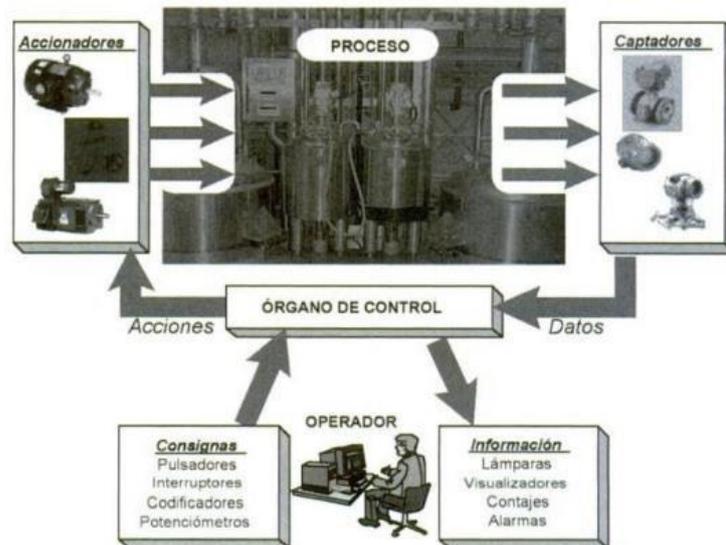


Figura 4-1: Automatización de un proceso

Fuente: (Canales & Molina, 2010)

El control de procesos industriales abarca desde un punto de vista académico, la teoría de control básica de realimentación y acción PID, la instrumentación de control, la aplicación a procesos industriales, las diversas arquitecturas de control, las estructuras de control y la teoría de control avanzada. (Pere Ponsa & Vilanova Arbos, 2005)

1.3.1 Autómatas Programables

Son una tecnología basada en un ordenador que ha permitido que disminuyan los costos en instalaciones o automatizaciones incrementando su demanda en los últimos tiempos, al igual que su evolución ha permitido desarrollar sistemas de control y la creación de interfaces hombre- máquina.

1.3.1.1 PLC Controladores lógicos programables

El PLC se fundamenta en un microprocesador por lo que contiene en su estructura básica una unidad central de proceso o CPU que se encarga del control interno y externo del PLC, así como de procesar las instrucciones precargadas que son almacenadas en una unidad de memoria para

ejecutar la gestión de funcionamiento de sus salidas en base a la lectura de las entradas (Aguilera, 2002)

A continuación la figura muestra la estructura interna del PLC.

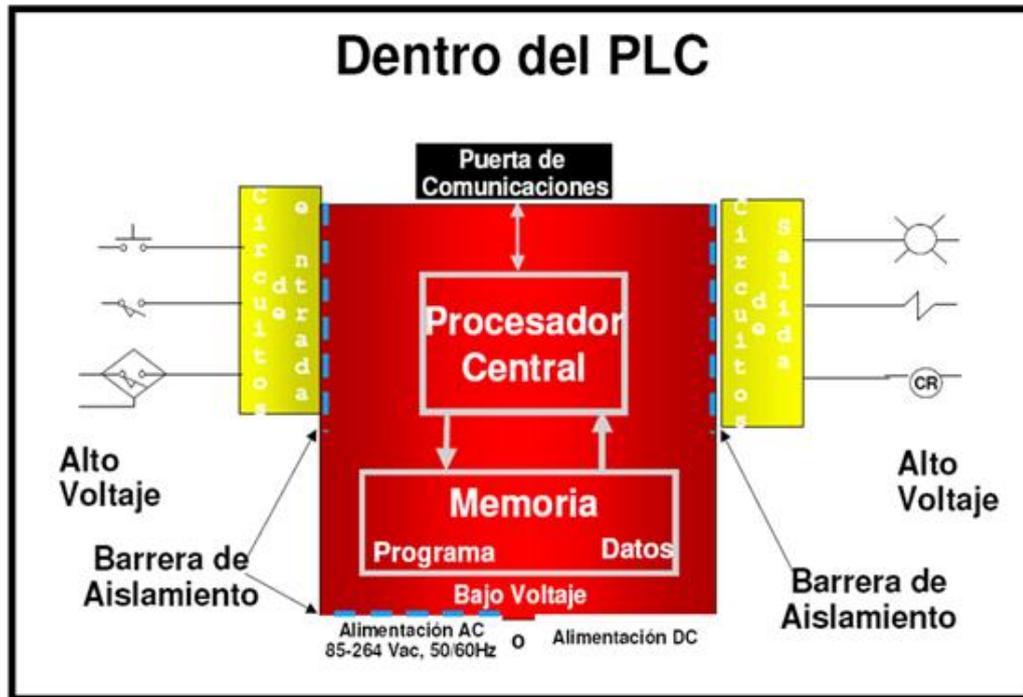


Figura 5-1: Estructura interna del PLC

Fuente: <http://3.bp.blogspot.com/-R4oN2S2jEpA/VXZj59ZGUyI/AAAAAAAAAHM/NbrCQ92LYJ4/s1600/image014.png>

Dentro de estas funciones fundamentales podemos mencionar las siguientes:

- Lectura de los puertos, a los que estarán asignadas las señales de sensores que definen las variables para el control.
- Gestión de funcionamiento de los puertos de salida que estarán relacionados directamente o por medio de interfaces hacia los actuadores del proceso que actúan como variables controladas.
- Integrarse a sistemas de dialogo hombre – máquina para monitoreo o manipulación de procesos.
- Ejecutar secuencias pre-programadas y cargadas en su memoria.
- Redes de comunicación: Interacción con otras partes de control. (Macias, 2012)

1.3.2 Microcontroladores



Figura 6-1: Arquitectura básica de un microcontrolador

Fuente: (Eduardo García, 2012, p. 11)

Varios autores definen de una forma u otra a un microcontrolador por lo que se deja en consideración las siguientes definiciones y en la figura 2-1 se observa un microcontrolador en general.

- Un microcontrolador es un circuito integrado que contiene todos los componentes de un computador. Se emplea para controlar el funcionamiento de una tarea determinada y, debido a su reducido tamaño, suele ir incorporado en el propio dispositivo al que gobierna. Esta última característica es la que le confiere la denominación de «controlador incrustado» (embedded controller). (Reyes, 2006, p. 3)
- El microcontrolador es un computador dedicado. En su memoria sólo reside un programa destinado a gobernar una aplicación determinada; sus líneas de entrada/salida soportan la conexión de sensores y actuadores del dispositivo a controlar. Una vez programado y configurado el microcontrolador solamente sirve para gobernar la tarea asignada. (Valdes, 2007, p. 4)
- Un microcontrolador es un computador completo, aunque de limitadas prestaciones, que está contenido en el chip de un circuito integrado y se designa a gobernar una sola tarea” [UNI1998]. (García, p. 10)

En la siguiente figura 3-1 se observa el diagrama interno de un microcontrolador entrada/salida.



Figura 7-1: Diagrama interno de un microcontrolador.

Fuente: (Reyes, 2006)

Explicando cada uno de los bloques los dispositivos de entrada pueden ser un teclado, sensores interruptores, en general las aplicaciones que tengan como entrada lectura de datos para que posteriormente la información sea procesada a través de la memoria del microcontrolador. Los dispositivos electrónicos de salida como led, pequeñas pantallas monocromáticas o de color, parlantes, relés, luces y muchos dispositivos finales.

A continuación, en la figura 8-1 se muestra las partes internas que conforma el proceso de entrada y salida de la información.

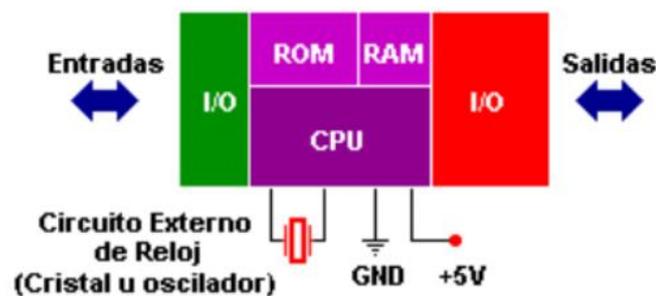


Figura 8-1: Parte Interna del procesamiento de información.

Fuente: (Reyes, 2006)

Definiendo así a un microcontrolador como un circuito integrado programable capaz de ejecutar instrucciones grabadas en la memoria interna del microprocesador compuesto por varios bloques que cumplen una tarea. (Reyes, 2006)

- MEMORIA ROM: Memoria Solo de Lectura
- MEMORIA RAM: Memoria de acceso aleatorio
- LÍNEAS DE E/S: Llamados puertos.
- LÓGICA DE CONTROL: Coordina la instrucción con el resto de bloques.

Los microcontroladores en su parte interna disponen de un oscilador que cumple la función de general pulsos que se sincronizan con el resto de operaciones internas del micro. Indistintamente del tipo de oscilador que tenga internamente un microcontrolador se prefiere que los fabricantes de este dispositivo los hagan con un cristal de cuarzo que ayuda a que sus frecuencias sean estables. (Valdes, 2007, pág. 14)

En un microcontrolador al igual que un ordenador personal el CPU es el cerebro donde esta unidad se encarga de almacenar las instrucciones del programa donde la misma se encarga decodificar para luego poder ser ejecutada y realizar operaciones mencionadas en párrafos anteriores aritméticas y lógicas. (Valdes, 2007, pág. 14)

1.3.3 Open Source en la Automatización

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 pro 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)

El diseño de estos productos está enfocado a empresas fabricantes de maquinaria, al sector de la automatización de procesos e instalaciones; naves industriales, oficinas, control de avícolas, sistemas de riego inteligente, etc, así como también para desarrolladores de software, la monitorización de plantas industriales y control de producción de diferentes fábricas.



Figura 9-1: Hardware Open Source – PLC.

Fuente: http://www.infoplac.net/files/imagenes/entrevistas/2441_02.jpg

La figura 9-1 muestra un PLCs basados en Arduino que puede hacer pensar que no son productos pensados para entornos de trabajo difíciles como son el industrial, pero hoy en día ofrecen la misma garantía que otros equipos.

1.4 Sistemas embebidos

Los sistemas embebidos, también llamados sistemas empotrados, son sistemas operativos creados con el fin de ser controlados por microprocesadores o microcontroladores, de igual manera a los sistemas normales, pero llevados a un fin completamente sistematizado y sin llevar a tantas tareas, son mejor dicho, sistemas que cumplen con una tarea en específico. Tal es el caso de un creador de sistemas embebidos de open source llamado Arduino, esté por lo regular, las tareas que se quieren llevar a cabo se crean en un archivo .ino el cual está creado con base en c++, esto con el fin de mencionar uno de los sistemas de Hardware más populares en estos tiempos. (Azul Web, 2016)

1.5 Open source

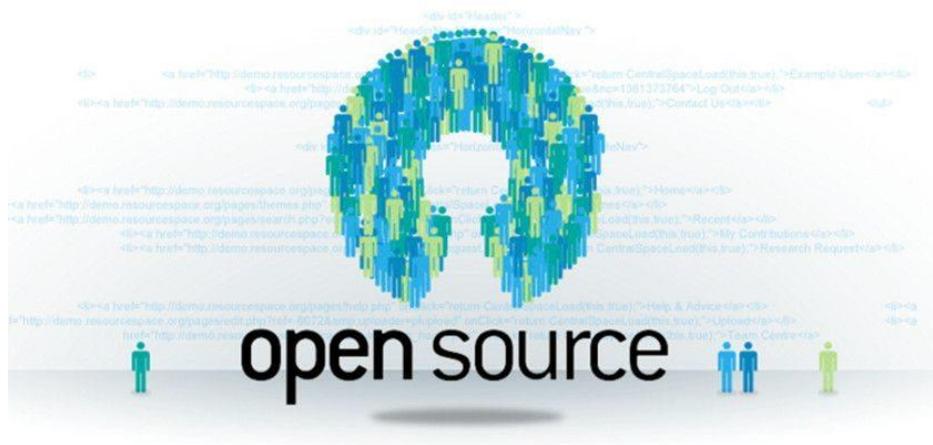


Figura 10-1: Open Source

Fuente: <https://www.muycomputer.com/wp-content/uploads/2018/02/OpenSource-840x473.jpg>

El fundamento del Open Source se basa en proporcionar a desarrolladores la libertad para leer, redistribuir y modificar 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 gran rapidez. La comunidad Open Source afirma que éste proceso permite la rápida evolución de software que el modelo tradicional cerrado, donde solo algunos programadores pueden tener acceso al código

fuente, mientras que el resto debe usar ciegamente un bloque indescifrable de bits. (OPENBIZ, 2017)

1.5.1 Hardware Open Source



Figura 11-1: Hardware Open Source – Logo Arduino

Fuente: <https://codingornot.com/wp-content/uploads/2017/05/hardware-libre.png>

La expresión open hardware, u open source hardware, hacer referencia al hardware q pone a disposición del público su diseño para su libre estudio abierto a ser modificado y distribuido, así como el poder producir y vender hardware basado en ese diseño. (Díaz, 2015)

El objetivo que percibe el movimiento del open hardware es crear una gran librería de acceso libre para todo el mundo que permita ahorrar tiempo y recursos a las empresas importantes en trabajos de diseño redundantes, es más fácil tener una lluvia de ideas propuesta por miles o millones de personas, que solo una compañía propietaria del hardware y sus empleados, de esta manera los usuarios interesados en cómo funciona un dispositivo electrónico, puedan fabricarlo, programarlo y poner en práctica esas ideas en alianza con las empresas fabricantes, algo viable en ambos sentidos. (Díaz, 2015)

Al hablar de open hardware se debe especificar de qué tipo de hardware se está hablando, esto evita confusión en la interpretación del concepto:

1.5.1.1 Hardware reconfigurable

Es aquél que es descrito mediante un lenguaje descriptivo del hardware (HDL). Se desarrolla de manera similar al software. Los diseños son archivos de texto que contienen el código fuente y son cargados en el módulo electrónico. (Díaz, 2015)

Para acceder a este hardware reconfigurable, se debe usar un lenguaje de programación con licencia pública general (GPL). La licencia GPL, al ser un documento que cede ciertos derechos al usuario, asume la forma de un contrato, por lo que usualmente se la denomina contrato de licencia o acuerdo de licencia, que permitirá su manipulación como open hardware, este es el caso de Arduino. (Díaz, 2015)

1.5.1.2 Hardware estático

Se refiere al conjunto de los elementos materiales activos y pasivos que constituyen el ensamblaje electrónico. (Díaz, 2015)

1.5.2 Software Open Source

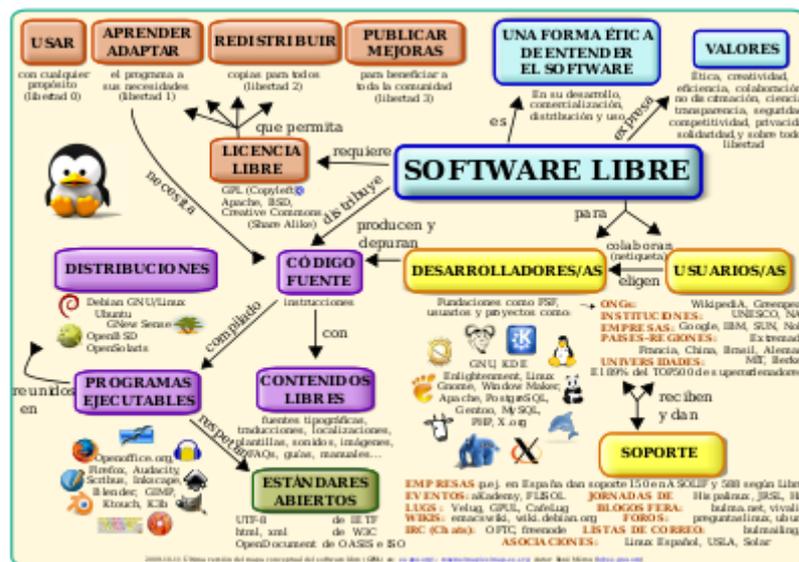


Figura 12-1: Software Open Source

Fuente: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/6/61/Mapa_conceptual_del_software_libre.svg/400px-Mapa_conceptual_del_software_libre.svg.png

Software libre (open source) es el software que respeta la libertad de los usuarios y la comunidad; significa que los usuarios tienen la libertad de ejecutar, copiar, distribuir, estudiar, modificar y mejorar el software. Es decir, el concepto es una cuestión de libertad, no de precio.

Para entender el término, piense en libre como en libre expresión, no como en libertinaje, existen reglas comunales que deberán acatarse para que no exista el peligro de adueñamiento y todos sigan compartiendo y aportando. (UNESCO, 2001)

Un programa es software libre si el usuario tiene cuatro libertades esenciales sobre el:

- La libertad de ejecutar el programa como se desea y con “cualquier propósito”.
- La libertad de comprender cómo funciona el programa, y cambiarlo para que haga lo que usted quiera. El acceso al código fuente es una condición insoslayable para ello.
- La libertad de redistribuir copias para ayudar a los demás.
- La libertad de distribuir copias de sus versiones modificadas a terceros. Esto permite ofrecer a toda la comunidad la oportunidad de beneficiarse de las modificaciones. El acceso al código fuente es una condición necesaria para ello.

Un programa es software libre si otorga a los usuarios todas estas libertades mencionadas de manera apropiada. De lo contrario no se encuadra en el concepto libre. (Eisner, 2005)

1.6 Redes Inalámbricas de Sensores – WSN

Una red de sensores inalámbrica o WSN (Wireless Sensor Network) está definida como una red inalámbrica de dispositivos de toma de datos o censado. 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).

Esta clase de redes se caracterizan por su facilidad de despliegue y por ser auto configurables, pudiendo convertirse en todo momento en emisor, receptor, ofrecer servicios de encaminamiento entre nodos sin visión directa, así como registrar datos referentes a los sensores de cada nodo para una comunicación 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)

Esta tecnología de redes inalámbricas de sensores se destaca en aplicaciones militares pero a su vez dio paso a su utilización en varios campos como por ejemplo:

En Japón y España se utilizan para controlar el uso eficaz de la electricidad - Eficiencia energética.

En lugares ameritan un nivel de seguridad elevado para evitar ataques terroristas, estas herramientas superan a la efectividad que tendría el simplemente ubicar una cámara - Entornos de alta seguridad.

La disminución del impacto ambiental es otra de las manifestaciones de la utilidad de las redes inalámbricas de sensores, permiten también cubrir amplias áreas de bosques o de océanos por ejemplo para el monitoreo de variables tales como temperatura, humedad, fuego, actividad sísmica, etc - Sensores ambientales.

El tamaño de los sensores permite estar incluidos en procesos de control de calidad dentro de las fábricas y donde se los requiera - Sensores industriales.

El monitoreo de signos vitales sin la necesidad de estar en un hospital, el especialista no necesita estar junto a su paciente para estar pendiente de la salud del mismo, la calidad de vida de pacientes podrá ser mejor – Medicina.

Su tamaño, economía y velocidad de despliegue, lo hacen una tecnología ideal para domotizar el hogar a bajo costo – Domótica. (IEC, 2014)

1.6.1 Arquitectura de la WSN

Las redes de sensores están formadas por un conjunto de pequeños dispositivos denominados nodos sensores, con capacidad limitada de cómputo y comunicación, cuyo tiempo de vida estará asignado por el tipo de batería adjunta al dispositivo. El tiempo de vida de la red de sensores dependerá por tanto del tiempo de vida de la batería de sus nodos. Típicamente, el modelo seguido por las aplicaciones es el siguiente: realizar una serie de mediciones sobre el medio,

transformar dicha información en digital en el propio nodo y transmitirla fuera de la red de sensores vía un elemento gateway a una estación base, donde la información pueda ser almacenada y tratada temporalmente para acabar finalmente en un servidor con mayor capacidad que permita componer un histórico o realizar análisis de datos. (Fernández, 2009, p. 18, p. 18 - 19)

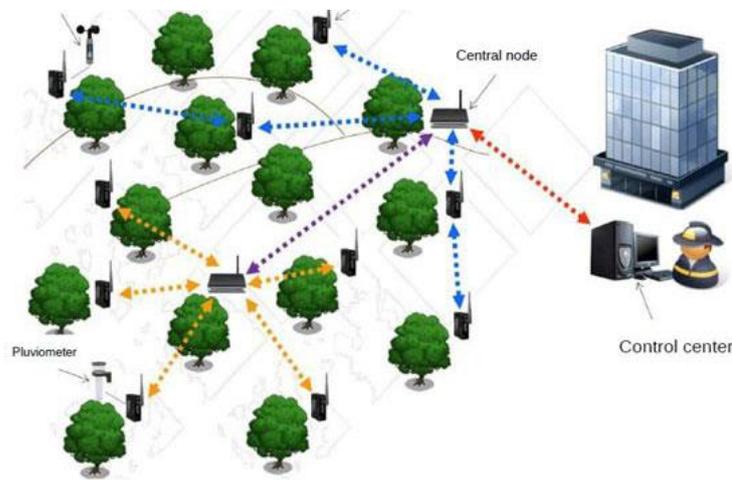


Figura 13-1: Software Open Source

Fuente: <http://www.ingenieros.es/files/Noticias3/Sensor-incendio-red.jpg>

En una red inalámbrica de sensores se encuentran:

- Nodos inalámbricos
- Puertas de enlace
- Estaciones base

Donde,

Un nodo inalámbrico está definido como una mota, del inglés 'mote', por su ligereza y reducido tamaño. Son dispositivos electrónicos que captan información de variables provenientes del entorno en el que estén ubicados, la procesan y transmiten inalámbricamente hacia otro destinatario.

Se presenta una situación contradictoria pues al diseñar una mota se pretende generar un dispositivo de espacio reducido, de bajo consumo y de bajo costo, pero a su vez que procese a alta velocidad y transmita la información a gran distancia. Dentro del diseño de la mota se considera la forma de asociarse a varias motas pues solo es de poca utilidad.

El hardware de estos dispositivos tiene varias partes bien diferenciadas cómo se las muestra en la figura.

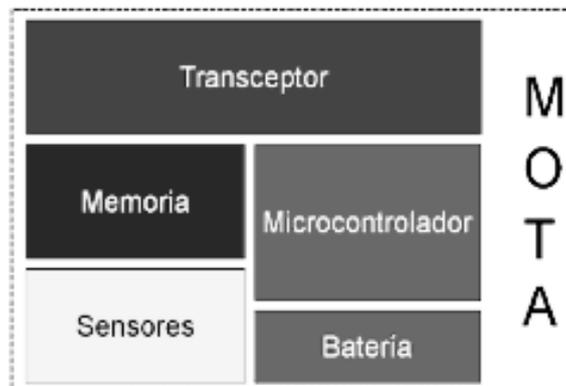


Figura 14-1: Software Open Source

Fuente: (Martínez, 2010)

Cada uno de los elementos que componen un nodo sensor cumple con una función específica:

Sensores: Son los encargados de tomar el valor de la variable a medirse para compartirla al microcontrolador.

Microcontrolador: Determina la capacidad de computación del nodo sensor. Éste recibe la información de los sensores, la almacena y envía las órdenes necesarias al transceptor para que envíe la información recogida hasta la estación base.

Transceptor: Es un dispositivo semiduplex que envía datos a otros nodos y recibe información de otros nodos de la red, para ello utiliza elementos comunes del circuito para ambas acciones, pero no de forma simultánea.

Memoria Externa: Es una extensión de memoria cuando así se necesita, cuando no es suficiente la memoria del microcontrolador y se requiere almacenar información de las variables sensadas.

Batería o Fuente de alimentación: es el elemento que proporciona la energía suficiente para hacer funcionar al resto de sistemas que componen el nodo sensor. En aplicaciones en las que no es imposible el acceso a la red eléctrica se emplean baterías, lo que implica que el consumo del nodo debe ser el menor posible para aumentar la durabilidad de las mismas y con ello la autonomía del sistema. (Martínez, 2010)

La puerta de enlace (gateway) son elementos para la interconexión entre la red de sensores y una red de datos (TCP/IP). Se puede considerar como un nodo especial sin elemento sensor, cuya finalidad es ser un puente entre dos redes de diferente tipo. Estas aplicaciones no trabajan en forma aislada al ser una herramienta para monitoreo y control remoto, de ahí que surge la necesidad de conectar las redes de sensores a infraestructuras de redes existentes tales como Internet, redes de área local (LAN) e intranets privadas. (Fernández, 2009, p. 22)

El recolector de datos basado en un ordenador común donde va a parar toda la información en una base de datos, trabaja como un equipo servidor desde donde los usuarios pueden acceder remotamente y poder observar y estudiar los datos. (Fernández, 2009, p. 23)

1.6.2 Topologías - WSN

Para la implementación de una aplicación de WSN se disponen de arquitecturas que pueden ser estrella, árbol o malla. Topología hace mención a la configuración de los componentes hardware y la forma de transmisión de los datos a través de esa configuración. Cada topología es apropiada bajo ciertas circunstancias y puede ser inapropiada en otras (Gil, Pomaes & Candelas, 2010)

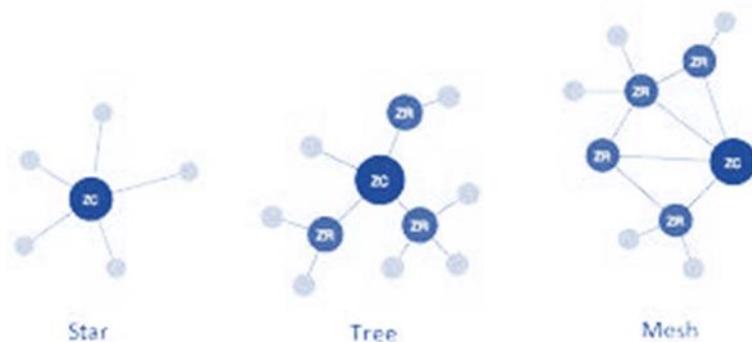


Figura 15-1: Topologías para WSN

Fuente: <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTijXk>

PnpwZLOLoT7eQHPLxKhK0nFOn5FpT_3h6B0CWTPhLCP_3

1.6.2.1 Topología en Estrella

Una topología en estrella es un sistema donde la información enviada sólo da un salto y donde todos los nodos sensores están en comunicación directa con la puerta de enlace. Todos los nodos sensores son idénticos, nodos finales, y la puerta de enlace capta la información de todos ellos. La puerta de enlace también es usada para transmitir datos al exterior y permitir la

monitorización de la red. Los nodos finales no intercambian información entre ellos, sino que usan la puerta de enlace para ello, si es necesario. (Ruiz Canales, A., & Molina Martínez, J., 2010)

1.6.2.2 Topología en Árbol

Cada nodo se conecta a un nodo de mayor jerarquía en el árbol y después al gateway, los datos son ruteados desde el nodo de menor jerarquía en el árbol hasta el gateway. (Ruiz Canales, A., & Molina Martínez, J., 2010)

1.6.2.3 Topología en Malla

En esta topología los nodos pueden conectarse entre sí y transmitir la base de datos por la ruta disponible de mayor seguridad. (Ruiz Canales, A., & Molina Martínez, J., 2010)

1.6.3 Tecnología ZIGBEE

La tecnología barata para comunicación inalámbrica, es una tecnología de comunicación inalámbrica que presume de sencillez y de un ahorro notable en los costes de producción. (Gutiérrez, 2015)

ZigBee es una nueva tecnología de inalámbrica de corto alcance y bajo consumo originaria de la antigua alianza Home RF y que se definió como una solución inalámbrica de baja capacidad para aplicaciones en el hogar como la seguridad y la automatización. (Javier Martín Moreno, 2007)

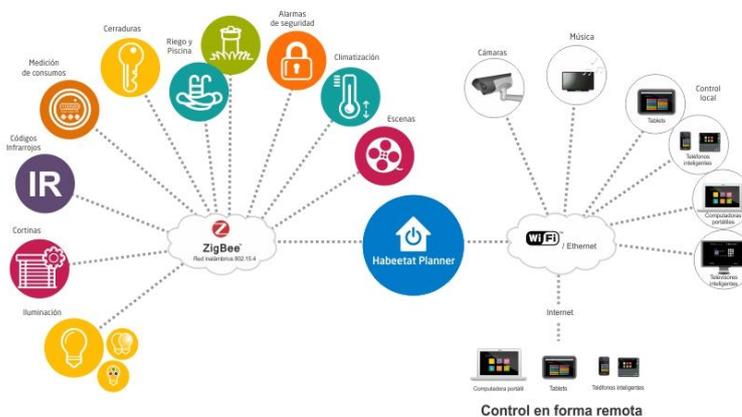


Figura 16-1: Topologías para WSN

Fuente: <https://elandroidelibre.espanol.com/wp-content/uploads/2015/08/arquitectura-sistema-es.jpg>

Se denomina ZigBee a un estándar que define un conjunto de protocolos que sirven para armar redes inalámbricas de corta distancia y baja velocidad de datos. Es capaz de entregar hasta 250 Kbps en datos y operar en las bandas de 868 MHz, 915 MHz y 2.4 GHz. Esta organización fue fundada en el año 2002 sin ningún fin de lucro, el estándar que desarrollaron tiene a varias compañías aliadas, desde fabricantes de semiconductores y desarrolladores de software a Fabricantes de Equipos Originales con sus siglas en ingles OMS, e instaladores. Desarrolla un protocolo que adopta para sus dos primeras capas física (PHY) y la subcapa (MAC); el estándar IEEE 802.15.4 que se encarga de definir el nivel físico y el control de acceso al medio. “Las capas superiores son definidas por la Alianza ZigBee y corresponden a las capas de red y de aplicación las cuales contienen los perfiles del uso, ajustes de seguridad y la mensajería”. (Marla Glen M., 2012)

1.6.3.1 Características Generales de la Tecnología ZigBee

ZigBee, también conocido como "Homero Lite", es una tecnología inalámbrica con velocidades comprendidas entre 20 kB/s y 250 kB/s; los rangos de alcance son de 10 m a 75 m. Puede usar las bandas libres ISM (6) de 2,4 GHz (Mundial), 868 MHz (Europa) y 915 MHz (EEUU). Una red ZigBee puede estar formada por hasta 255 nodos los cuales tienen la mayor parte del tiempo el transcribir ZigBee dormido con objeto de consumir menos que otras tecnologías inalámbricas. Un sensor equipado con un transcribir ZigBee pueda ser alimentado con dos pilas AA durante al menos 6 meses y hasta 2 años. Así también la fabricación de un transmisor ZigBee consta de menos circuitos analógicos de los que se necesitan habitualmente. Diferentes tipos de topologías como estrella, punto a punto, malla, árbol. (MORENO, 2007)

CAPÍTULO II

2. 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 1-2.

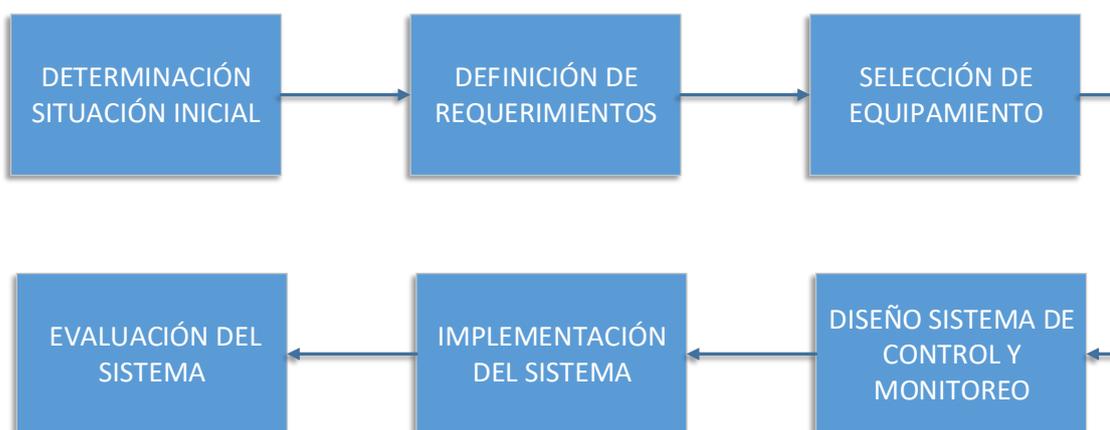


Figura 1-2: Metodología

Realizado por: Fabrizio Martínez, 2018

2.1 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 sitúa en la provincia de Tungurahua, cantón Huachi Grande, dispone de una extensión de 700 m².



Figura 2-2: Ubicación satelital de área de cultivo piloto.

Fuente: (Google Maps, 2018)

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 3-2.



Figura 3-2: Bases para cama de cultivo hidropónico.

Realizado por: Fabrizio Martínez, 2018

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

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 4-2 muestra las plantas de fresa ya sembradas sobre las camas de cultivo hidropónico.



Figura 4-2: Cama de cultivo hidropónico.

Realizado por: Fabrizio Martínez, 2018

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 $700m^2$ 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 1-2: Distribución del cultivo hidropónico

# PARCELA	# PLANTAS	ÁREA (m ²)	SUSTRATO
1	1125	175	Fibra de coco,
2	1125	175	Fibra de coco - cascarilla de arroz - arena
3	1125	175	Cascarilla de arroz - arena
4	1125	175	Fibra de coco – compost de pino

Realizado por: Fabrizzio Martínez, 2018

Fuente: Autor

2.1.1 Riego del Cultivo Hidropónico

El agricultor dispone de una bomba de 2 HP que sirve para el impulso del agua desde un reservorio hacia el cultivo a través de un tendido de tubería. El encendido y apagado de la bomba se controla simplemente con la conexión o desconexión manual del enchufe colocado en la bomba.



Figura 5-2: Sistema para el riego inicial

Realizado por: Fabrizzio Martínez, 2018

El reservorio tiene una capacidad de 390000 litros, se abastece desde la línea de riego comunitario, el abatecimiento se lo realiza de acuerdo al horario establecido por la comuna.

La tubería empleada en el sistema de riego es de dos tipos a las que el agricultor denomina tubería primaria y secundaria. Tubería primaria (Figura 6-2 A) aquella que va desde la bomba hasta cada parcela, en este tramo se encuentran válvulas manuales que sirven para seccionar y direccionar el flujo del agua. Tubería secundaria (Figura 6-2 B), la maguera para riego por goteo ubicada sobre cada cama del cultivo hidropónico.



Figura 6-2: Tuberías del sistema de riego.

Realizado por: Fabrizio Martínez, 2018

La activación & desactivación del sistema de riego está a criterio del agricultor, según comentarios de agricultores de la zona describen esta situación como ineficiente pues a veces por falta de tiempo el riego no se lo realiza o se opta por regar en demasía con el fin de que el cultivo se mantenga húmedo más tiempo.

2.1.2 Humedad en el sustrato

Como se mencionó anteriormente se experimenta con varios sustratos para determinar el mejor de ellos, la forma de evaluación del sustrato se lo efectúa por el nivel de retención de la humedad, lo que el agricultor realiza empíricamente.

Se observa en la figura 7-2 la forma en la que el agricultor toma una muestra del sustrato y a su criterio por medio del tacto determina la humedad del sustrato.



Figura 7-2: Prueba empírica nivel de humedad sustratos.

Realizado por: Fabrizzio Martínez, 2018

2.2 Definición de requerimientos

El objetivo del trabajo es la tencificación del proceso de riego de un cultivo hidropónico experimental implementado en el cantón Huachi para la optimización del recurso hídrico y además la determinación del sustrato con mayor nivel de retención de humedad.

Para el desarrollo de soluciones a las necesidades y problemas expuestos con anterioridad se fijan ciertos requerimientos específicos:

- Un sistema automatizado de control para el proceso de riego.
- Un sistema de monitoreo inalámbrico de la humedad del sustrato en las camas del cultivo hidropónico.
- Se requiere que el sistema sea autónomo capaz de decidir el riego o no de las parcelas basado en las lecturas de humedad determinadas en el sustrato.

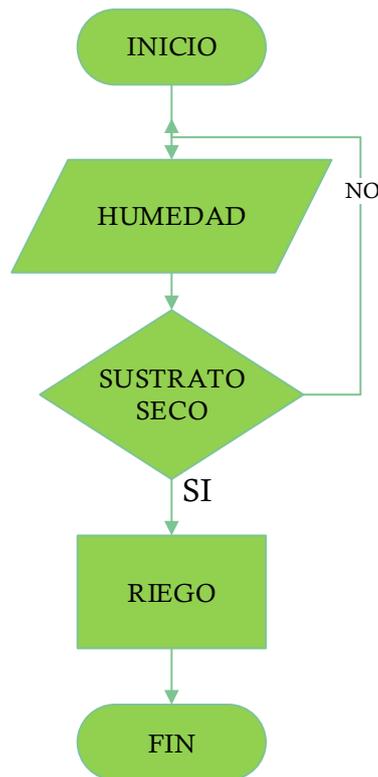


Figura 8-2: Algoritmo de decisión para el sistema de riego

Realizado por: Fabrizio Martínez, 2018

- Implementación del sistema de control y monitoreo basado en el uso de sistemas embebidos de la gama open source que determina la esencia de este trabajo como presentación de una opción de bajo coste..
- Presentar un análisis técnico de los niveles de humedad de los sustratos analizados para determinar el de mayor retención de humedad.

2.2.1 Sistema esperado

En base a los requerimientos planteados el sistema en forma general deberá cumplir el ciclo sustrato sustrato seco – riego – sustrato húmedo – no riego y paralelo a esto en tiempo real transmitir el nivel de humedad del sustrato, a continuación se describe el proceso completo en forma detallada:

- El sistema debe contar con sensores ubicados en campo para la toma de información sobre el sustrato.

- Las señales de los sensores deben ser procesadas e interpretadas en niveles de humedad para ser transmitidas inalámbricamente a un punto central.
- Un sistema centralizado de monitoreo debe permitir visualizar los niveles de humedad recibidos de cada uno de los sensores.

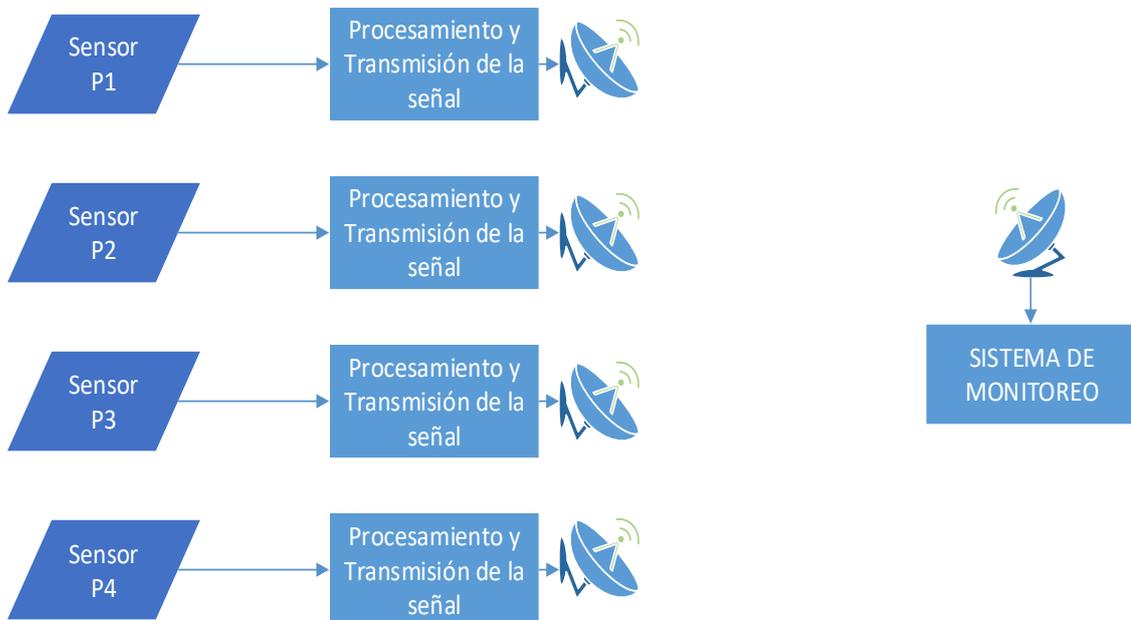


Figura 9-2: Bloques para el sistema de monitoreo

Realizado por: Fabrizio Martínez, 2018

- Se debe procesar los niveles de humedad de los sustratos recibidos para gestionar las acciones de riego.
- Las instrucciones del sistema de control se reflejarán en la activación & desactivación de los actuadores empleados para el control de flujo del recurso hídrico a través de las parcelas del cultivo.
- Los actuadores empleados para la administración del recurso hídrico funcionarán paralelamente a la bomba para el impulso del reservorio hacia el terreno del cultivo hidropónico.

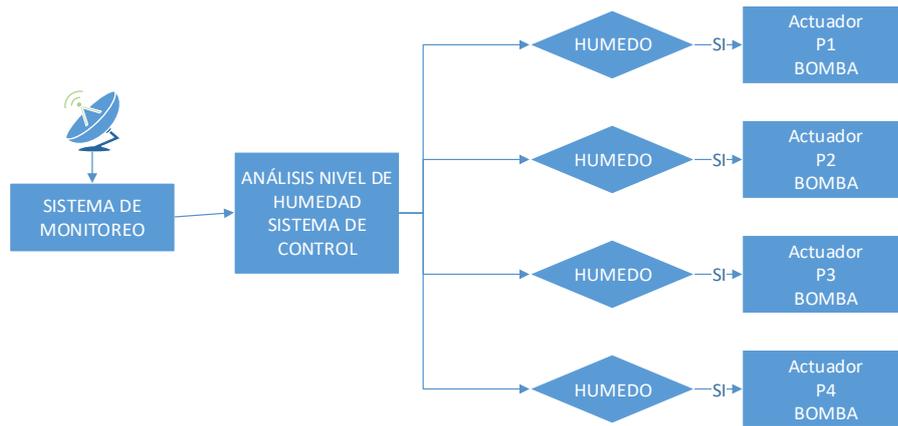


Figura 10-2: Bloques para el sistema de control

Realizado por: Fabrizio Martínez, 2018

2.2.2 Definición variables del sistema

Dentro del sistema se determinan variables de control y controladas que de cierto modo varias de ellas serán del tipo discreto y otras analógico en la Tabla 2-2 se describe una lista de ellas.

Tabla 1-2: Variables del sistema

Variable	Tipo 1	Tipo 2
Sensor de humedad parcela 1	Analógica	Variable de control
Sensor de humedad parcela 2	Analógica	Variable de control
Sensor de humedad parcela 3	Analógica	Variable de control
Sensor de humedad parcela 4	Analógica	Variable de control
Actuador riego parcela 1	Digital	Variable controlada
Actuador riego parcela 2	Digital	Variable controlada
Actuador riego parcela 3	Digital	Variable controlada
Actuador riego parcela 4	Digital	Variable controlada
Bomba	Digital	Variable controlada

Realizado por: Fabrizio Martínez, 2018

Fuente: Autor

2.3 Selección de equipamiento

En base al funcionamiento esperado, las variables identificadas y caracterizadas se procede a la selección del equipamiento necesario para la implementación del sistema.

La selección del equipamiento se fundamenta en el uso de sistemas embebidos de la gama open source con miras a dar cumplimiento a la propuesta de un sistema de control y monitoreo para la optimización del uso del recurso hídrico de bajo coste.

Mediante la revisión bibliográfica realizada en el punto 1.4.3 se determina como ideal para la implementación del sistema el uso de los sistemas embebidos Arduino y Raspberry que son los más comunes en el mercado. Arduino por su facilidad de relacionarse con el entorno y Raspberry por su capacidad a la hora de procesar información permitir visualizarla.

2.3.1 Equipamiento sistema de control

2.3.1.1 Selección del gestor del sistema de control

El sistema de control estará gobernado por la tarjeta Arduino que incluye en su estructura un microcontrolador que se encargará de gestionar el funcionamiento de los actuadores en base a la lectura de los sensores.

La plataforma electrónica Arduino es considerada de fuente libre “open source” que puede ser empleada libremente para la elaboración de prototipos que relacionen innovación el software y hardware son flexibles y fáciles de usar. Arduino permite establecer una relación con su entorno a través de su amplia gama de sensores conectados a sus pines de entrada y puede afectar a aquello que le rodea controlando diferentes tipos de actuadores. (Paredes, 2014).



Figura 11-2: Arduino – Open Source - logo

Fuente: <https://www.arduino.cc/en/uploads/Trademark/ArduinoCommunityLogo.png>

El microcontrolador en el sistema embebido Arduino se lo programa mediante el lenguaje de programación Arduino basado en Wiring y el entorno de desarrollo Arduino basado en Processing. Brinda la posibilidad de comunicarse con diferentes tipos de software pero Arduino no requiere estar conectado a un computador para ejecutar el programa cargado. (Arduino, 2013).

El acceso al software es libre se lo descarga de manera gratuita y está disponible para sistemas operativos como Windows, Mac OS X, y Linux (Arduino, 2013). Como ocurre con las distribuciones Linux, Arduino también cuenta con multitud de ediciones, cada una pensada para un público en particular o para una serie de tareas específicas. (Paredes, 2014).

Modelos de Placas



Figura 12-2: Modelos de placas Arduino

Fuente: https://1.bp.blogspot.com/-5b5WBm45iFM/VI741_YkpTI/AAAAAAAAABcw/eONpHusj6bw/s1600/modelos_Arduino_2014.png

Existen placas oficiales consideradas aquellas elaboradas por compañías específicas tales como la compañía italiana Smart Projects y algunas han sido diseñadas por la empresa estadounidense SparkFun Electronics (SFE) o por la también estadounidense Gravitech. Arduino Pro, Pro Mini y LilyPad son las manufacturadas por SFE y Arduino Nano por Gravitech, el resto se fabrican en Italia. Estas placas son las reconocidas oficialmente, incluyen el logo y son las únicas que pueden llevar la marca registrada de Arduino (Paredes, 2014).

Se consideran también como placas no oficiales a aquellas que en su nombre integran el sufijo “duino” para identificarlas, como por ejemplo Freeduino y Funduino. Son compatibles con Arduino pero son registradas bajo el nombre de Arduino pues son diseñadas y fabricadas por otras compañías ajenas. Son derivados que han salido para cubrir otras necesidades no brinda aporte al desarrollo propio de Arduino. (Paredes, 2014).

Existen placas compatibles a nivel del entorno de desarrollo, es decir, solo nivel de software (pudiendo emplear Arduino IDE para programarlas). Otras placas son compatibles a nivel de hardware y eléctricamente para poder emplear los shields y módulos existentes para Arduino sin problema (Paredes, 2014).

Características Generales

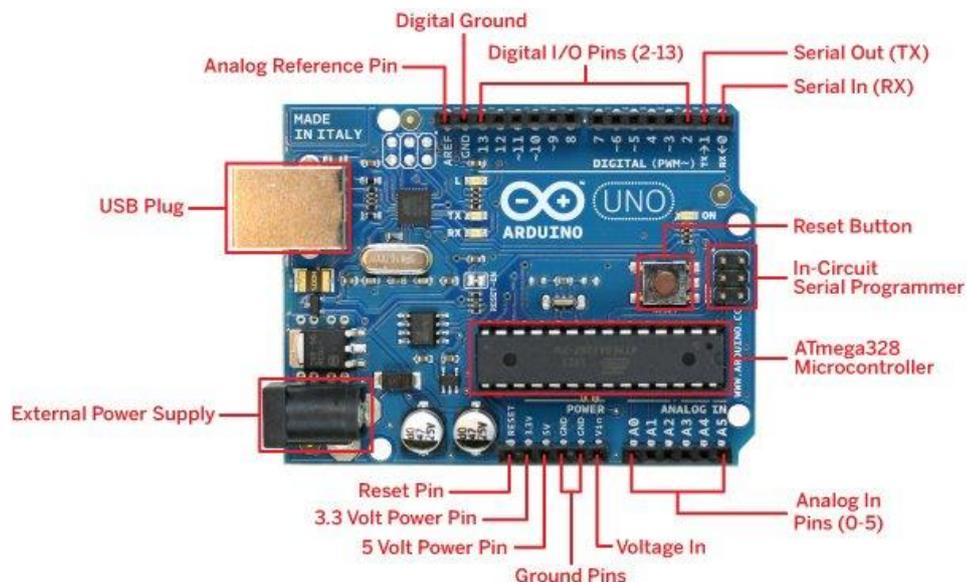


Figura 13-2: Elementos principales del Arduino

Fuente: <https://www.robomart.com/image/catalog/RM0058/02.jpg>

Se destacan entre las principales características del Arduino las siguientes:

- Dependiendo del modelo manejan cierto número de pines digitales y analógicos (las digitales son de tipo normal y de PWM o modulados por ancho de pulso que permiten simular una salida analógica) (Paredes, 2014).
- Para la selección de la placa a utilizar se debe también considerar la extensión del código a generar, pues un programa muy largo, con muchas constantes y variables

demandará una cantidad mayor de memoria flash para su almacenamiento, por lo que se debe elegir una placa adecuada (Paredes, 2014).

- Memoria RAM encargada de cargar los datos para su inmediato procesamiento, y afectaría a la velocidad de procesamiento. La RAM va ligada al microcontrolador, puesto que ambos afectan a la agilidad de procesamiento de Arduino (Paredes, 2014).
- Microcontrolador En los Arduinos oficiales se puede diferenciar entre dos tipos fundamentales de microcontroladores, los de 8 y 32 bits basados en ATmega AVR y los SMART basados en ARM de 32 bits y con un rendimiento superior, ambos creados por la compañía Atmel (Paredes, 2014).
- Voltaje en cuanto al voltaje, no importan demasiado a nivel electrónico, excepto en algunos casos, para tener en cuenta la cantidad de tensión que la placa puede manejar para montar el circuito (Paredes, 2014).

Se realiza una selección de la placa Arduino debido a que como se expuso anteriormente se presentan varias presentaciones de la misma, las más comunes Arduino UNO y Arduino MEGA. Para la selección del modelo de tarjeta se parte por la revisión de la hoja de especificaciones técnicas y mediante un análisis comparativo de características de la placa versus requerimientos del sistema se determina el que se va a usar.

En este caso, se consideró idónea para implementación del sistema la tarjeta Arduino MEGA que se la caracteriza en el siguiente punto.

A pesar de que en la revisión de la ficha técnica de los modelos de Arduino, la placa UNO cubría las necesidades del proceso se seleccionó el Arduino Mega con la finalidad de plantear un sistema sobredimensionado con la aspiración de que en trabajos futuros se pueda añadir más recursos al sistema, probablemente el modelo MEGA contiene el microcontrolador más capaz de la familia Arduino Posee 54 pines digitales que funcionan como entrada/salida; 16 entradas análogas, un cristal oscilador de 16 MHz, una conexión USB, un botón de reseteo y una entrada para la alimentación de la placa. (Monk, 2012)

Maneja comunicación serial para comunicarse con el ordenador, por lo que sólo se requiere una conexión directa a un puerto USB. (Monk, 2012)

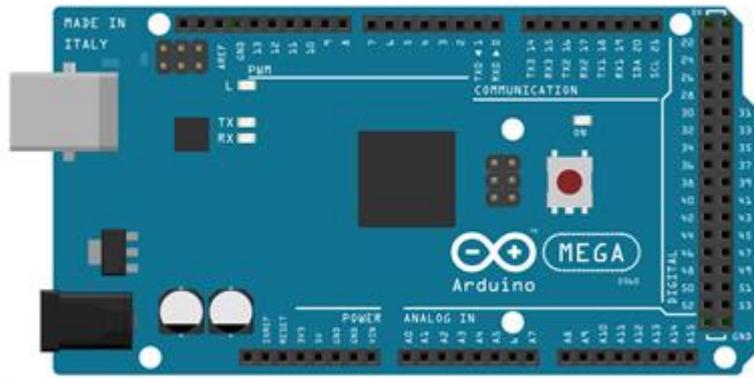


Figura 14-2: Arduino Mega

Fuente: <http://blascarr.com/wp-content/uploads/2015/05/hc-05-Mega.png>

Tabla 2-2: Características placa Arduino MEGA

Característica	Descripción
Microcontrolador:	ATmega2560
Voltaje Operativo	5V
Voltaje de Entrada	7-12V
Voltaje de Entrada (límites)	6-20V
Pines digitales de Entrada/Salida:	54 (15 proveen salida PWM)
Corriente DC por cada Pin Entrada/Salida	:40 Ma
Corriente DC entregada en el Pin	3.3V: 50 mA
Memoria Flash	256 KB de los cuales 8KB usados por el bootloader
Memoria SRAM	8KB
Memoria EEPROM	4KB
Velocidad de Reloj	16 MHz

Fuente: (Sabika, 2010)

Se puede alimentar mediante el puerto USB o por medio de una fuente de poder externa como baterías o pilas, al trabajar con una fuente externa de poder se requiere una etapa de rectificación y de regulación de dicho voltaje en el rango operativo de la placa en el rango de 7 a 12 voltios preferentemente. (Sabika, 2010)

Arduino Mega posee algunos pines para la alimentación del circuito aparte del adaptador para la alimentación:

- VIN: A través de este pin es posible proporcionar alimentación a la placa.
- 5V: Podemos obtener un voltaje de 5V y una corriente de 40mA desde este pin.
- 3.3V: Podemos obtener un voltaje de 3.3V y una corriente de 50mA desde este pin.
- GND: El ground (0V) de la placa.

2.3.1.2 Selección de actuadores

Para la distribución del recursos hídrico en el cultivo hidropónico en la definición de variables se establecieron variables del tipo discreto, por lo que el tipo de actuadores empleados debe cumplir con dicha característica.

Se seleccionan válvulas solenoides, actuadores del tipo eléctrico que controla el paso del recurso hídrico. El cierre de la válvula se basa en impulsos electromagnéticos de un solenoide es decir un electroimán que trabaja junto a un muelle diseñado para devolver a la válvula a su posición neutral cuándo el solenoide se desactiva. Las válvulas solenoides ofrecen funciones de apertura o cierre total y no se pueden utilizar para la regulación del flujo del fluido. (Hyde, 2013).

Un solenoide es una bobina de material conductor cuyo funcionamiento se basa en campos electromagnéticos. La válvula se puede abrir o cerrar, no hay término medio, por lo que no se puede utilizar este sistema para regulación de flujos. (Hyde, 2013).

Una vez que se activa el solenoide, la válvula se mantendrá abierta o cerrada, dependiendo de la amplitud del diseño, hasta que se corte la corriente eléctrica y desaparezca el campo

electromagnético del solenoide. En este momento, un resorte empuja el émbolo de nuevo hacia su posición original.



Figura 15-2: Válvula Solenoide para riego

Fuente: <https://www.decohogar.com.ar/riego-parque-jardin-valvula-electrica-solenoide/valvula-solenoide-hunter-pgv201-electrica-de-2-pulgadas-569.html>

2.3.1.3 Bomba para propulsión del recurso hídrico

La bomba eléctrica no se seleccionó se utilizó la disponible de 2HP expuesta en el literal 2.2.1 el análisis de la situación inicial, donde se especificó que era parte del sistema de riego empírico empleado.



Figura 16-2: Bomba Eléctrica 2HP

Realizado por: Fabrizio Martínez, 2018

2.3.2 Equipamiento sistema de monitoreo

El sistema de monitoreo tiene como fin obtener información en tiempo real del nivel de humedad de los sustratos empleados en el cultivo, se parte en este punto por la selección de los sensores para medida de dicha magnitud, además se expuso como requerimiento una interfaz

inalámbrica para transmisión de la información por lo que también aquí se seleccionará el equipamiento y tecnología necesaria.

2.3.2.1 Selección del sensor para lectura de la humedad

El uso de recursos de la gama open source es un punto especial en este trabajo por lo que la selección del sensor para la medida de la humedad de los sustratos del cultivo se la hizo de la amplia gama que se ofrecen en el mercado, seleccionando el sensor HL-69 de Arduino que emplean la conductividad entre dos terminales para determinar parámetros de humedad.

El HL-69 tiene la capacidad de medir la humedad del suelo. Aplica una pequeña tensión entre los terminales del módulo, hace pasar una corriente que depende básicamente de la resistencia que se genera en el suelo y ésta depende mucho de la humedad. Creando una relación de proporcionalidad entre la humedad y la corriente. (García, 2016)

El sensor posee dos salidas para determinar la humedad: Salida digital, de darse el caso que el suelo está húmedo asigna un cero lógico en su salida, mientras que si está el suelo seco se obtiene un uno lógico. Salida analógica proporciona valores de 0 a 1023 para fijar rangos de humedad siendo el grado mínimo de humedad el valor extremo de 1023.

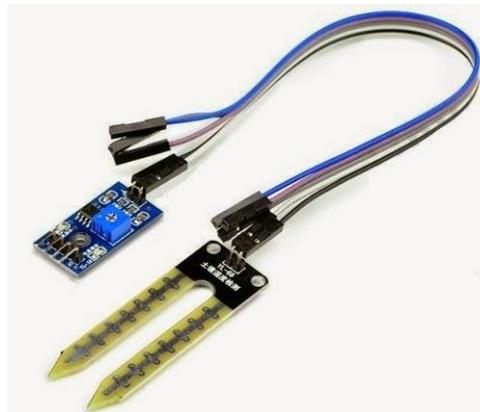


Figura 17-2: Sensor de Humedad

Fuente:http://3.bp.blogspot.com/og6nvpPmezI/VWTKQGgbNHI/AAAAAAAAABJo/50E3V8a_KRs/s1600/sensor-humedad-de-suelo-soil-tierra-indoor-arduino-ptec-21067-MLA20203603715_112014-O.jpg

2.3.2.2 Selección de recursos para sistema de transmisión de la información

El requerimiento del sistema determina que la información adquirida por el sensor debe ser transmitida inalámbricamente, se selecciona como tecnología ideal para la implementación, la Tecnología ZigBee del tipo open source que presenta flexibilidad, bajo costo y bajo consumo de energía. Se plantea la implementación de una Red Inalámbrica de Sensores (WSN) cuyas definiciones se muestran en la revisión bibliográfica en los literales de la sección 1.7.



Figura 18-2: Xbee S2

Fuente: http://www.alselectro.com/images/xbee1_thumb_cyui5200_cyui5200.jpg

Se seleccionó el módulo X-BEE S2 que en su hoja de especificaciones técnicas (ANEXO A) describe un alcance para un área de radio de 150 metros que resultan aptos a la hora de configurarlos en red y alcanzar a cubrir el área de las plantaciones piloto.

2.3.2.3 Selección de elementos para procesamiento y registro de la información

A pesar de que Arduino permita el monitoreo de la información que procesa a través del puerto serial, se plantea tener en el sistema de monitoreo un sistema embebido capaz de procesar y registrar dicha información.

Como uno de los recursos disponibles dentro del mercado para cumplir con la necesidad planteada se selecciona el uso de una Raspberry Pi que consiste en un ordenador de placa reducida o SBC de bajo coste el gran éxito de esta minicomputadora, radica en la gran comunidad solidaria que se ha creado al ser un hardware de la gama “open source” que comparte experiencias y tips en el desarrollo de proyectos de innovación tecnológica disponiendo de mucha documentación y ayuda.

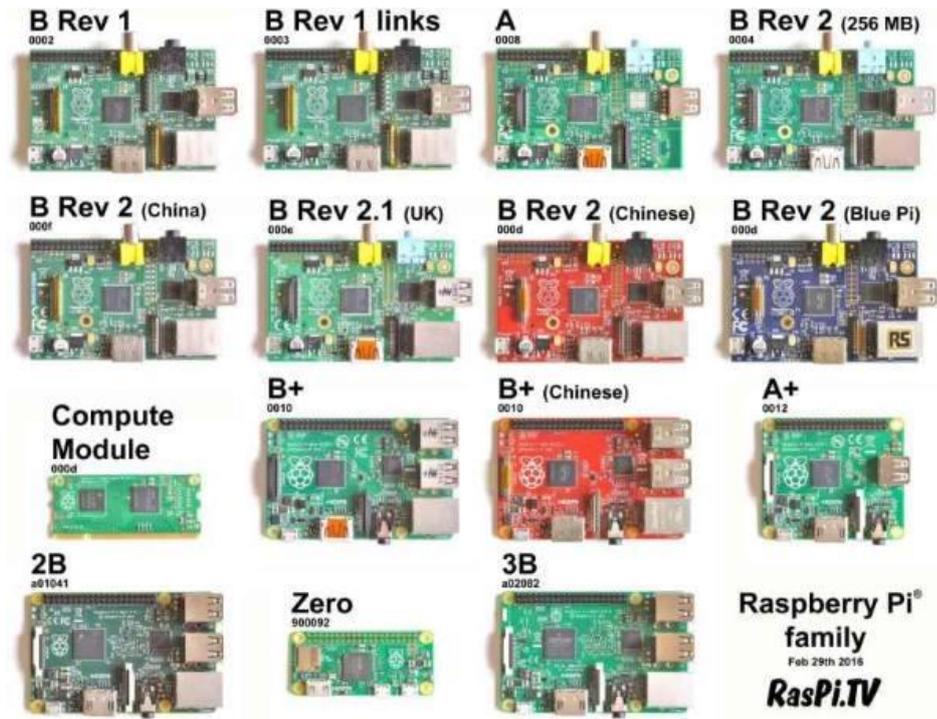


Figura 19-2: Modelos de placas Raspberrys

Fuente: <https://www.robomart.com/image/catalog/RM0058/02.jpg>

La evolución de esta placa se hace notoria en la que son varios modelos disponibles, con la consideración de que varios de ellos ya han salido del mercado, pues las presentaciones actuales disponen de varios recursos.

Para realizar el montaje del sistema embebido RaspBerry Pi se requiere de cierto hardware externo tales como:

- 1 Cargador de 1 A (RaspBerry Pi 1), 1.5 A (RaspBerry Pi 2) 2.5 A (Raspberry Pi 3). Vale cualquier cargador de Android con Micro-USB.
- Pantalla con HDMI (o adaptador) o una pantalla con RCA.
- Teclado y Ratón
- Cable Ethernet (o adaptador Wifi USB)(Raspberry Pi 3 incorpora ya modulo Wifi no requiere un externo)
- Tarjeta SD (o MicroSD) >8Gb (Clase 10 Recomendada).

Para el desarrollo del sistema propuesto se seleccionó la Raspberry PI3 que es el modelo más completo disponible en el mercado, se describe a continuación sus características más relevantes. Se amplía la descripción en el (ANEXO B).

- Marca: Raspberry Pi
- Series Raspberry PI 3 Model B
- Peso del producto: 45,4 g
- Dimensiones del producto: 12,2 x 7,6 x 3,4 cm
- Pilas: 3 9 V (Tipo de pila necesaria)
- Tipo de procesador: Core 2 Quad
- Velocidad del procesador: 1.20 GHz
- Capacidad de la memoria RAM: 1 GB
- Interfaz del disco duro: ATA-4
- Tipo de conectividad: WiFi
- Tipo de conexión inalámbrica: 802.11bgn
- Número de puertos USB 2.0: 4
- Voltaje : 5 voltios DC
- Plataforma de Hardware: Linux
- Sistema operativo: Linux

(Raspberry, 2018)

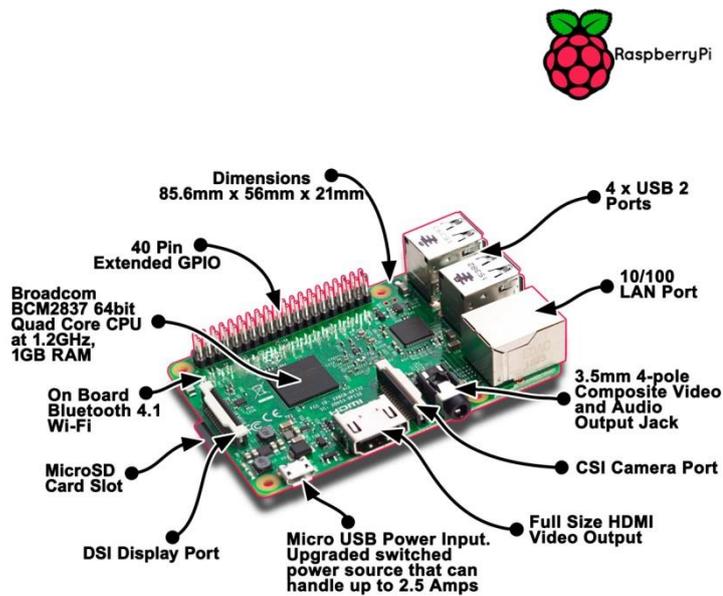


Figura 20-2: Puertos de Conexión Raspberry Pi3

Fuente: <https://www.planetaelectronico.com/images/productos/raspberry-pi-3-modelo-b-1gb-1-18327.jpeg>

Factor fundamental en el funcionamiento de la Raspberry Pi es el Sistema Operativo, el mismo que se lo instala en una tarjeta SD, presentado de esta manera la flexibilidad para que en caso de desear cambiar de sistema operativo tan solo se cambie la SD. Raspbian que se trata de un Debian (Linux) optimizado para este ordenador es uno de los sistemas operativos más utilizados en este tipo de tarjetas.

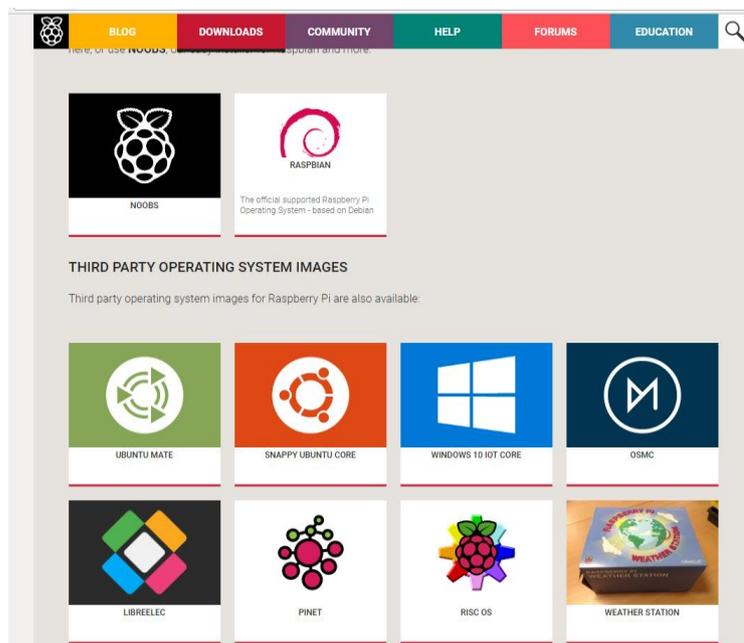


Figura 21-2: Sistemas Operativos Raspberry Pi3

Fuente: <https://soloelectronicos.files.wordpress.com/2017/08/raspb.png>

2.4 Diseño del sistema de control y monitoreo

2.4.1 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 la implementación del sistema de control y monitoreo propuesto se elaboran los diagramas de 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.

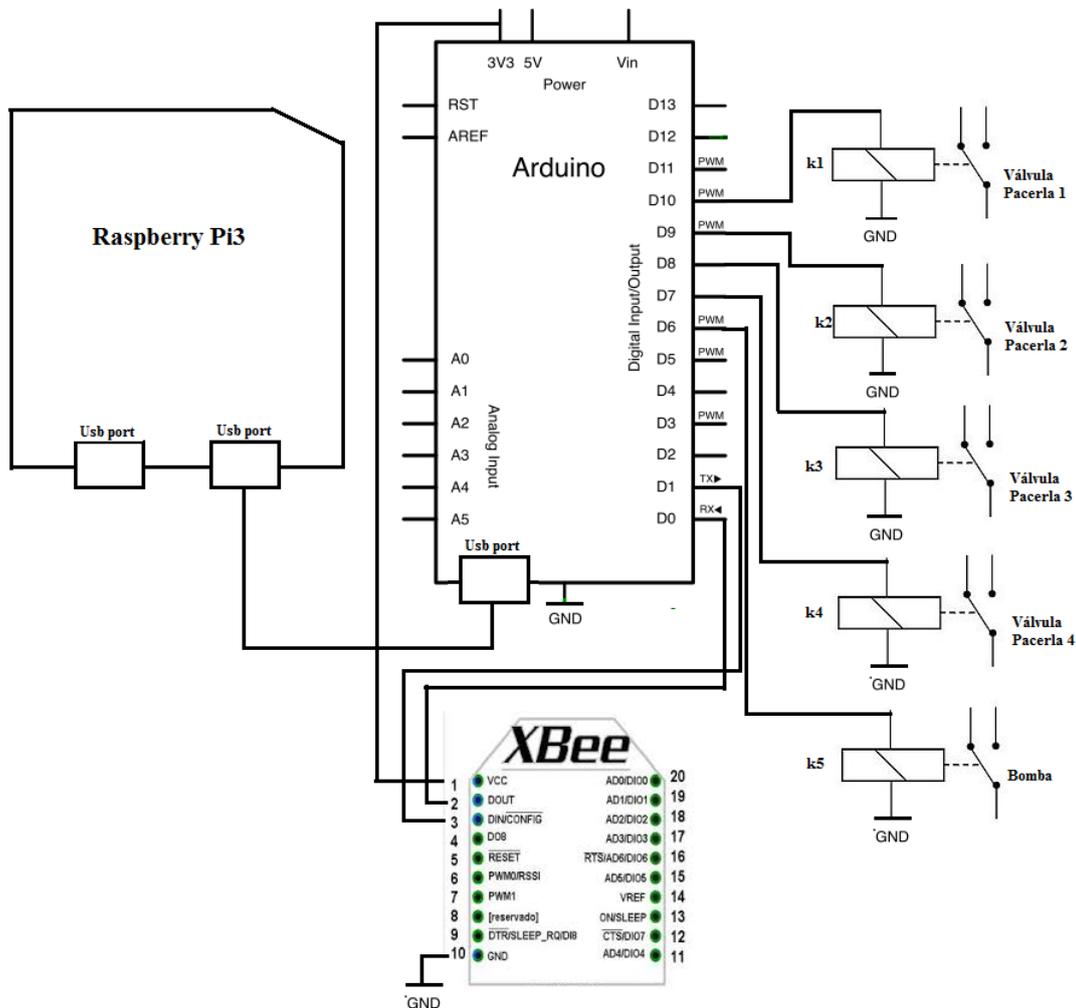


Figura 22-2: Diagrama electrónico sistema monitoreo y control

Realizado por: Fabrizio Martínez, 2018

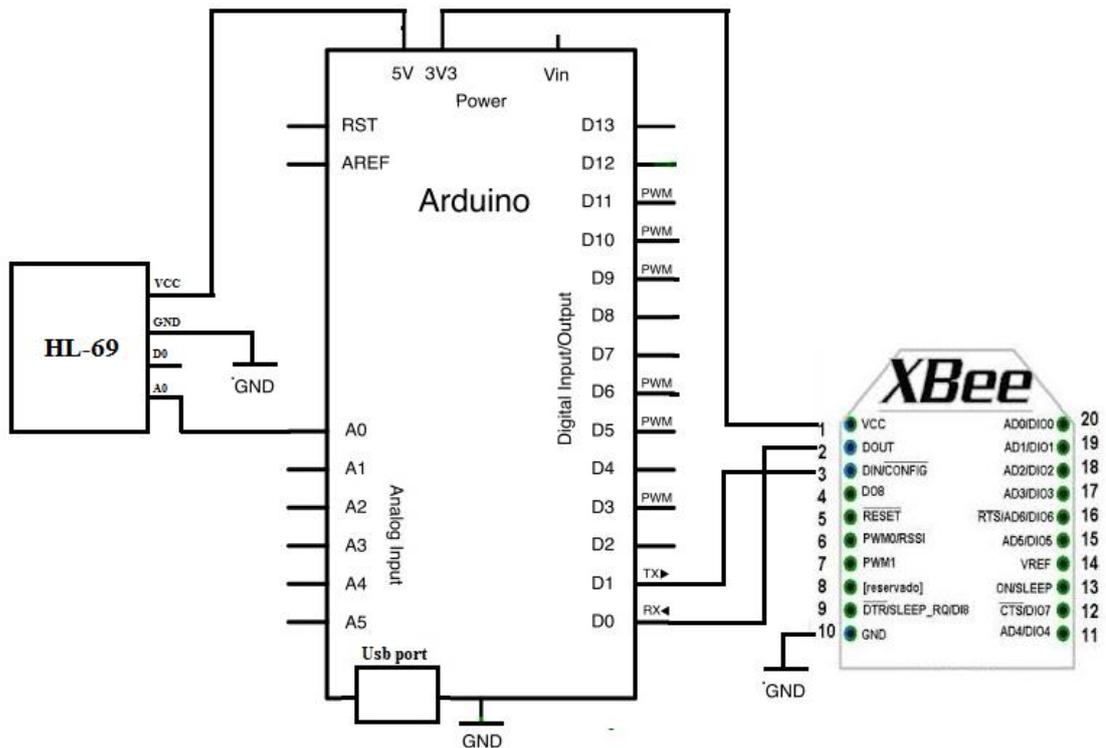


Figura 23-2: Diagrama eléctrico de conexiones – Nodos sensores

Realizado por: Fabrizio Martínez, 2018

2.4.2 Configuración de partida de la tarjeta Arduino

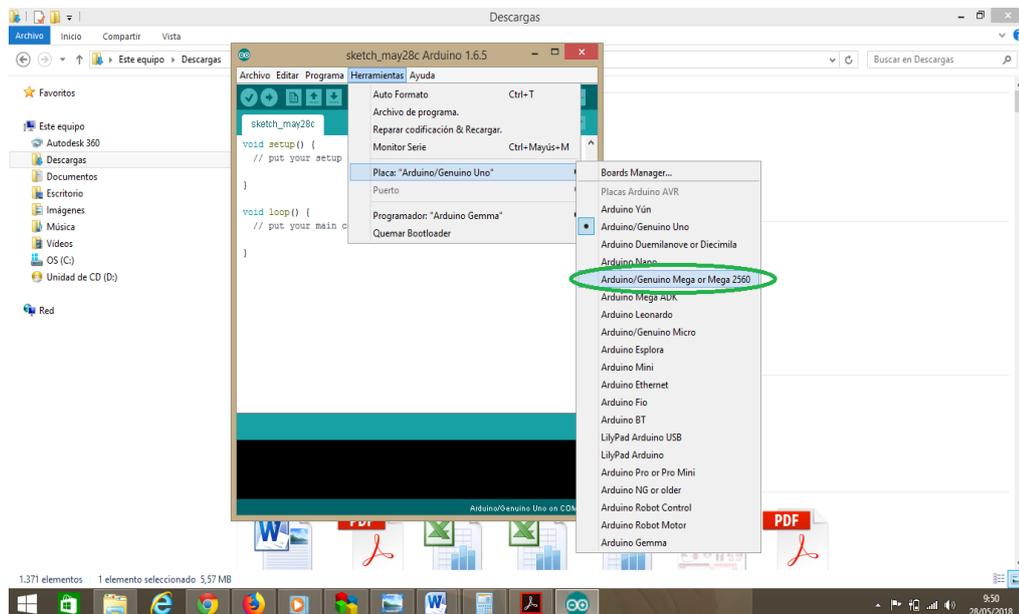


Figura 24-2: Reconocimiento de la placa Arduino en el IDE Arduino

Realizado por: Fabrizio Martínez, 2018

Un vez que se ha seleccionado el modelo de placa Arduino y los elementos que se integrarán para el control del proceso, se instalan los drivers y el software IDE (Arduino) Figura 21-2 para poder programarlo a través del computador. Ejecutada la aplicación en su entorno de desarrollo se selecciona la pestaña Herramientas opción Placa y se selecciona en este caso la placa Arduino/Genuino Mega or Mega 2560.

Posterior se establecerá el puerto de comunicación ejecutando nuevamente la pestaña herramientas opción puerto.

2.4.3 Programación del sistema de control – Microcontrolador.

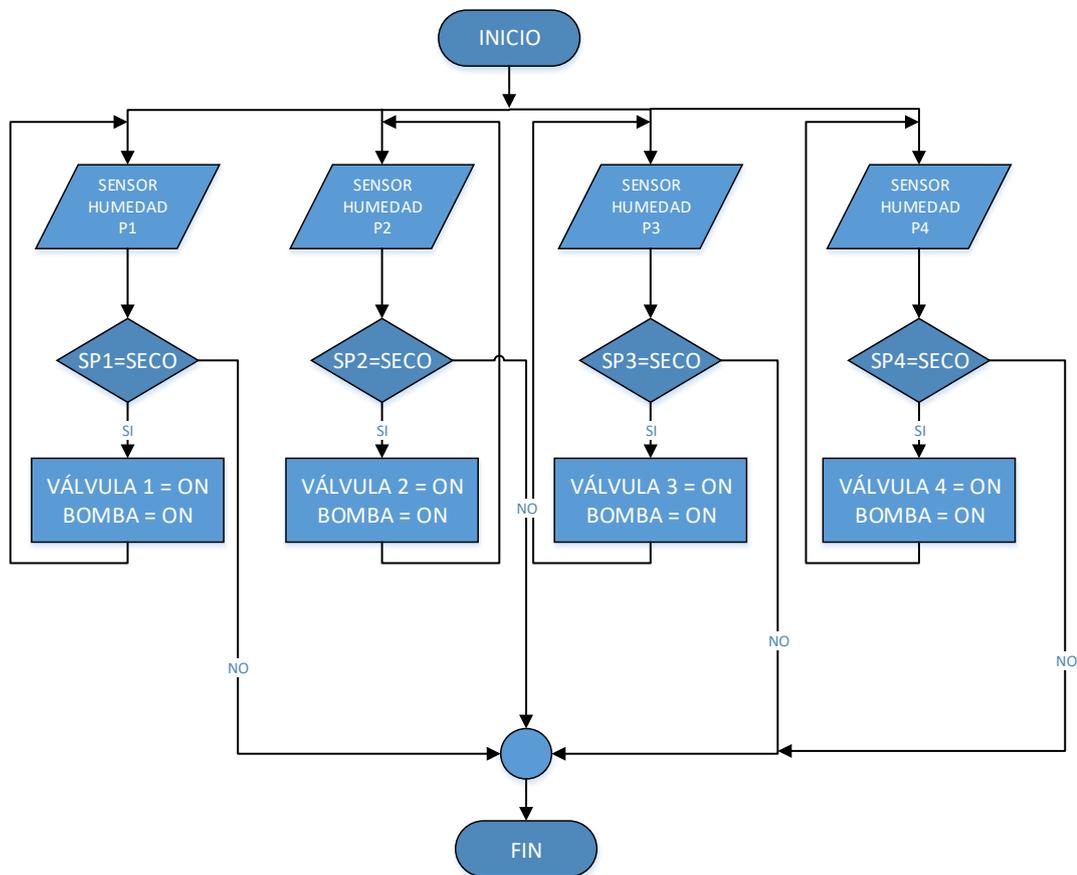


Figura 25-2: Diagrama de flujo programa sistema de control

Realizado por: Fabrizio Martínez, 2018

La Figura 22-2 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.

El diagrama de flujo denota en la parte positiva de las condicionales que al activarse una de las válvulas solenoides paralelamente se activa la bomba y en conjunto regulan el riego sobre el cultivo.

El programa en el microcontrolador se encuentra seccionado en tres partes la primera sección contiene la definición de variables, constantes, contadores y recursos determinados necesarios en el sistema.

La segunda sección del programa es la función *void setup()* en la que se encuentra declarada la funcionalidad de los pines del microcontrolador, definiendo aquellos que actuarán como señales de entrada o salida, además en esta sección se activa el puerto serial que juega papel importante al momento de relacionarse con el sistema de monitoreo y registro de la información. El comando para iniciar y configurar la velocidad de comunicación del puerto es *Serial.begin(9600)*.

La sección final contiene el bloque de instrucciones que son las que realizan la gestión de los actuadores por medio de la valoración de los intervalos de humedad leídos de los sensores, se trata de un bucle de repetición denominado *void loop ()*, la finalidad de emplear un bucle de repetición es la de actualizar las lecturas de las entradas y actualizar el estado de los actuadores continuamente, la ejecución del programa es de manera secuencial, es decir se ejecuta línea a línea de cada instrucción del programa.

2.4.4 Configuración de partida de la tarjeta Raspberry Pi3

Raspberry PI en su página oficial www.raspberrypi.org permite realizar la descarga libre de sistema operativo para la tarjeta electrónica en las versiones NOOBS y Raspbian.

El sistema operativo para el desarrollo de esta aplicación fue Raspbian que presenta dos opciones de descarga, se seleccionó la versión Full en formato .zip, que contiene una imagen de disco para su montaje en una SD Card recomendada ser de clase diez que se albergará en la tarjeta Raspberry.

Para la carga del sistema operativo en la SD Card se procede al formateo de la misma en un formato básico y si se desea se asigna un identificados a la tarjeta. Para montar la imagen de disco en la SD Card se emplea el software auxiliar WinDiskImage que actúa como enrutador de la información de la PC a la tarjeta. (Aguilar, 2017)

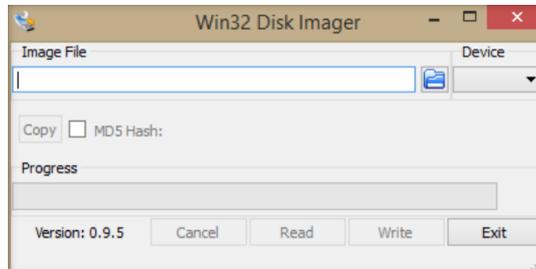


Figura 26-2: Win32DiskImage

Realizado por: Fabrizzio Martínez, 2018

2.4.5 Programación del sistema de monitoreo y registro

2.4.5.1 Configuración red inalámbrica

Para realizar el monitoreo de la humedad en las parcelas del cultivo hidropónico se dispuso como requerimiento hacerlo de forma inalámbrica, con el fin de evitar cableados que generarían mayor costo en la implementación y posibles errores de medida que pudiesen darse por pérdidas en el conductor.

Mediante la revisión bibliográfica efectuada en el capítulo I se determina que el uso de las redes inalámbricas de sensores denominadas WSN, siglas en inglés de Wireless Sensor Network sería la herramienta ideal para cubrir el monitoreo de la humedad.

La tecnología empleada para el sistema de transmisión de información en forma inalámbrica fue la ZigBee en base al equipamiento determinando en el punto 2.3.2.2.

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.

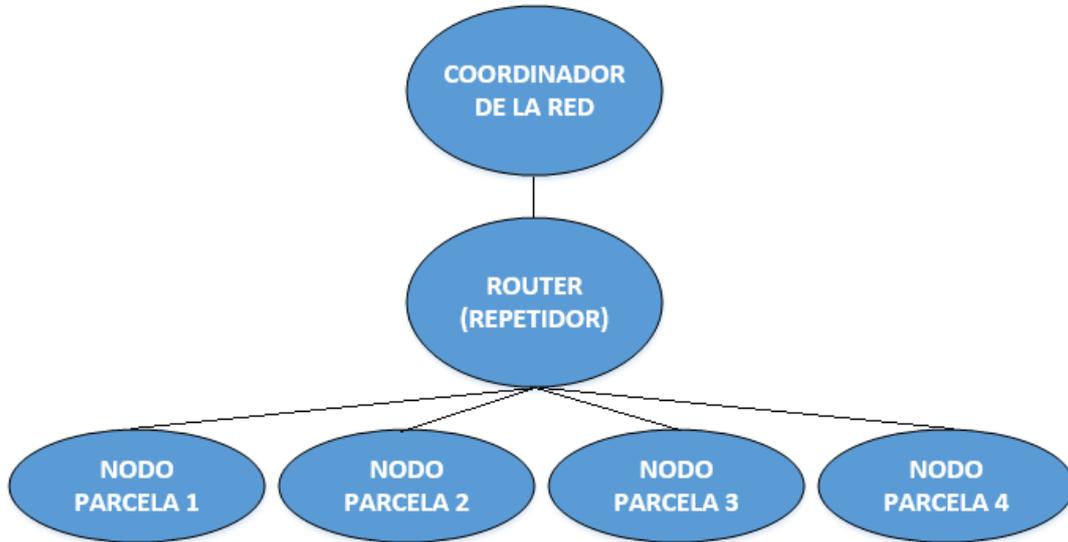


Figura 27-2: Topología de la Red - Árbol

Realizado por: Fabrizzio Martínez, 2018

Se procede con la configuración de los elementos de la red. Los módulos Xbee son configurados a través del software XCTU en el que se les otorgará los parámetros correspondientes de acuerdo al rol que cumplen dentro de la red.

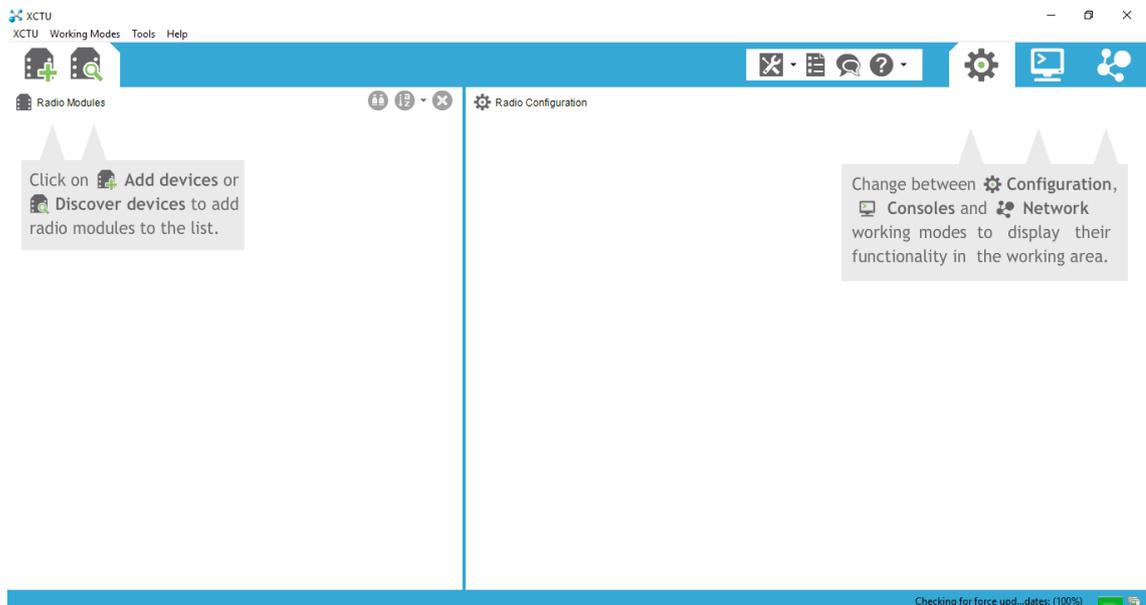


Figura 28-2: IDE XCTU

Realizado por: Fabrizzio Martínez, 2018

Para la configuración de los nodos de la red resulta necesario configurar ciertos parámetros específicos. PAN ID que es el nombre o identificador del nodo generalmente de 3 o 4 cifras, DH que representa un código propio de los elementos Xbee en general, el DL que es el nombre único de del equipo y son varios parámetros más que se les deja en el valor proporcionado de fábrica.

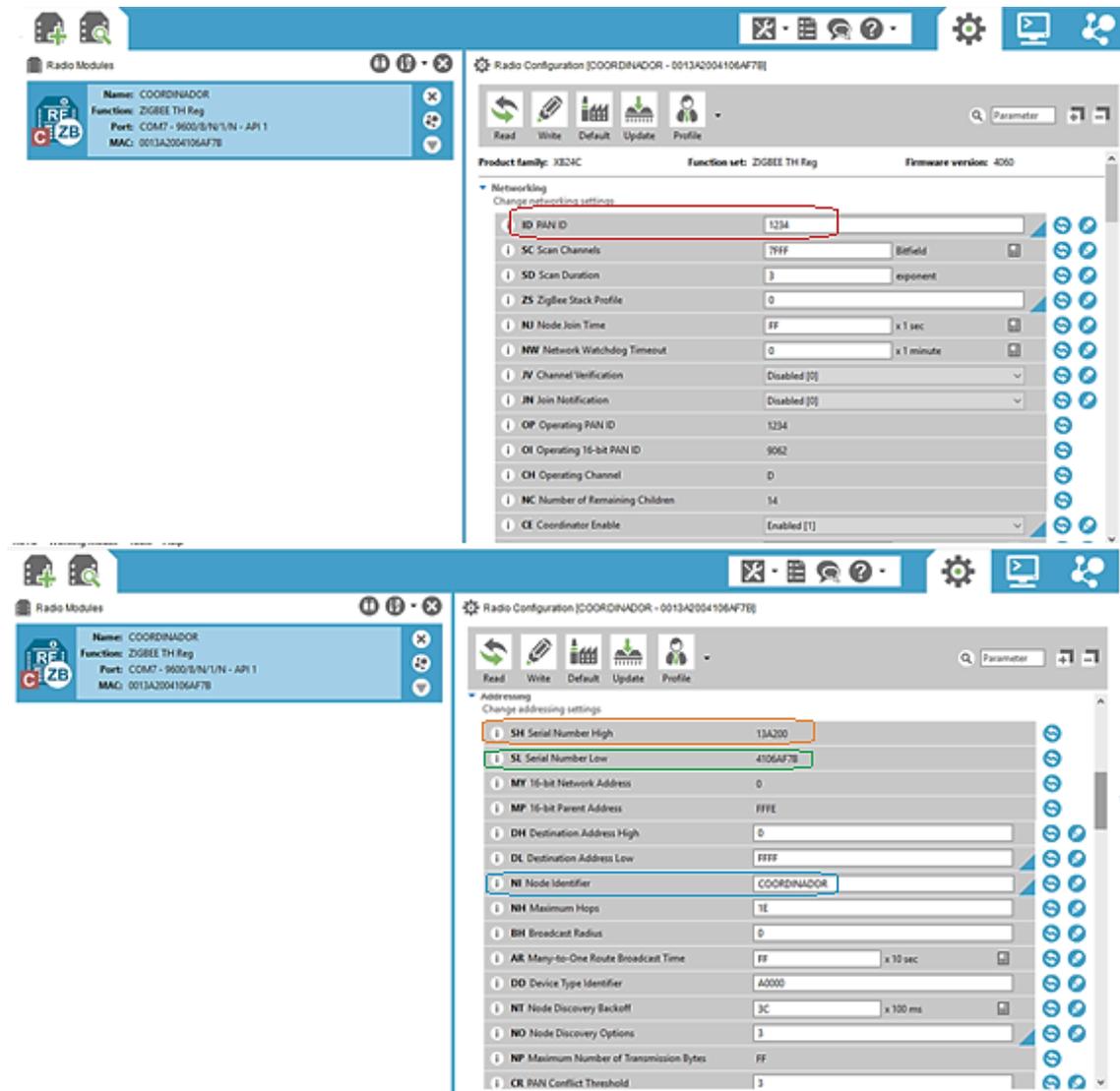


Figura 29-2: Pantalla sección de configuración del nodo coordinador

Realizado por: Fabrizio Martínez, 2018

Al configurar el nodo coordinador se establece el PAN ID que será el identificador para que el router pueda ubicarlo para la transferencia de información.

De igual manera el Xbee que actuará como router debe ser configurado para ser ubicado por los nodos finales de las parcelas para receptor su información y transmitirla hacia el coordinador de la red.

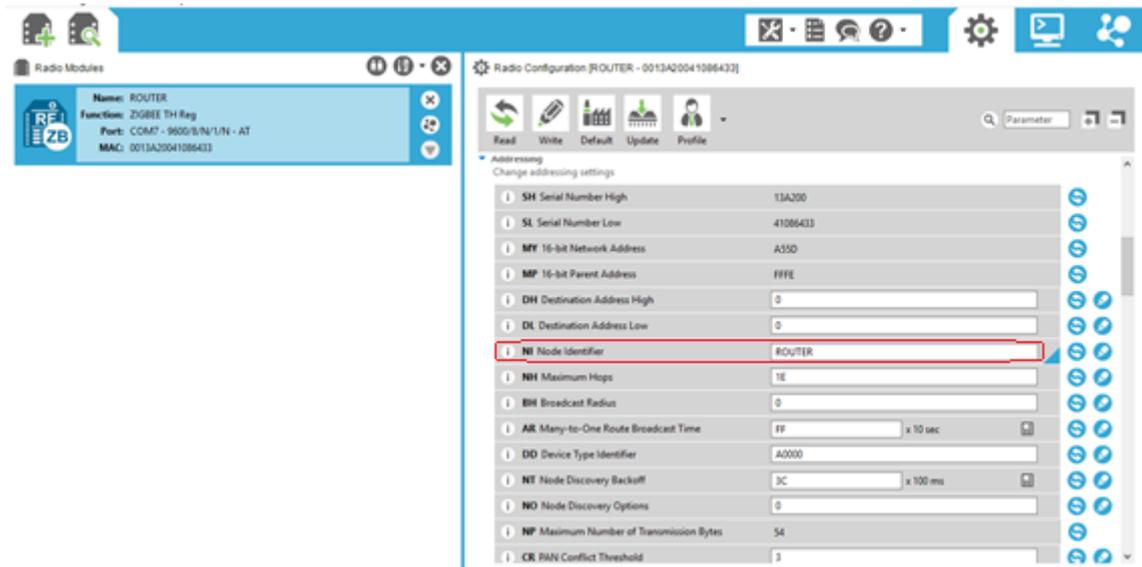


Figura 30-2: Pantalla sección de configuración del router.

Realizado por: Fabrizio Martínez, 2018

Los elementos finales de la red contienen la información adquirida del cultivo, en este caso el nivel de humedad determinado por el sensor, dato a ser transferido hacia el router para su respectiva transmisión al coordinador.

La configuración del nodo final mantiene la asignación de los datos PAN ID, DH, DL.

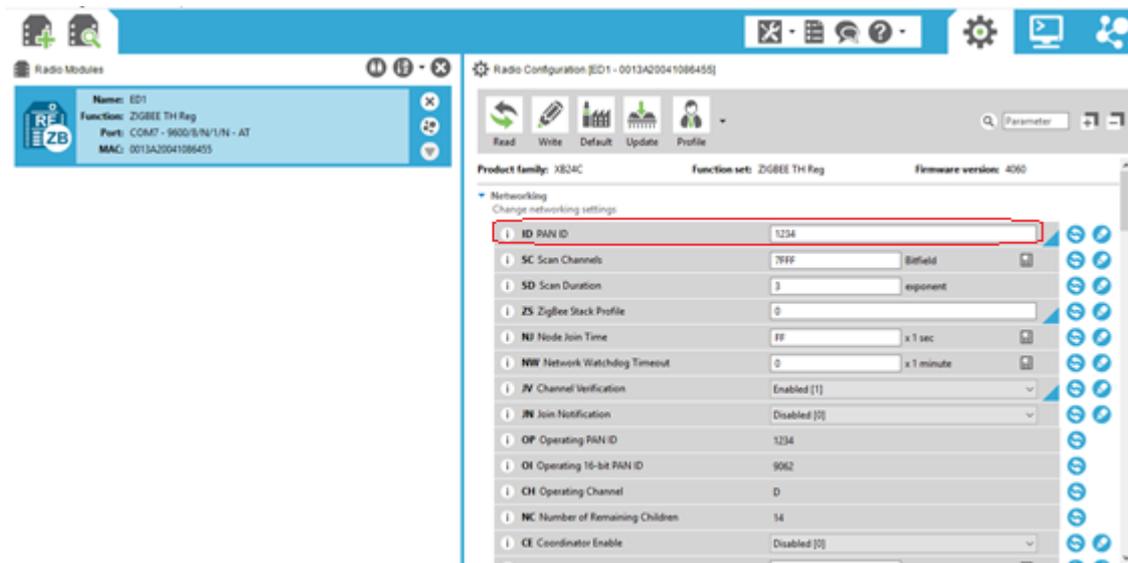


Figura 31-2: Pantalla sección de configuración del nodo final (a).

Realizado por: Fabrizio Martínez, 2018

Adicional en estos nodos se deberá activar en el D0 PIN20 (Figura 28-2) en modo ACD2 para que reconozca los datos analógicos que envía el sensor de humedad hacia un Arduino que conjuntamente con el módulo Xbee generan el nodo.

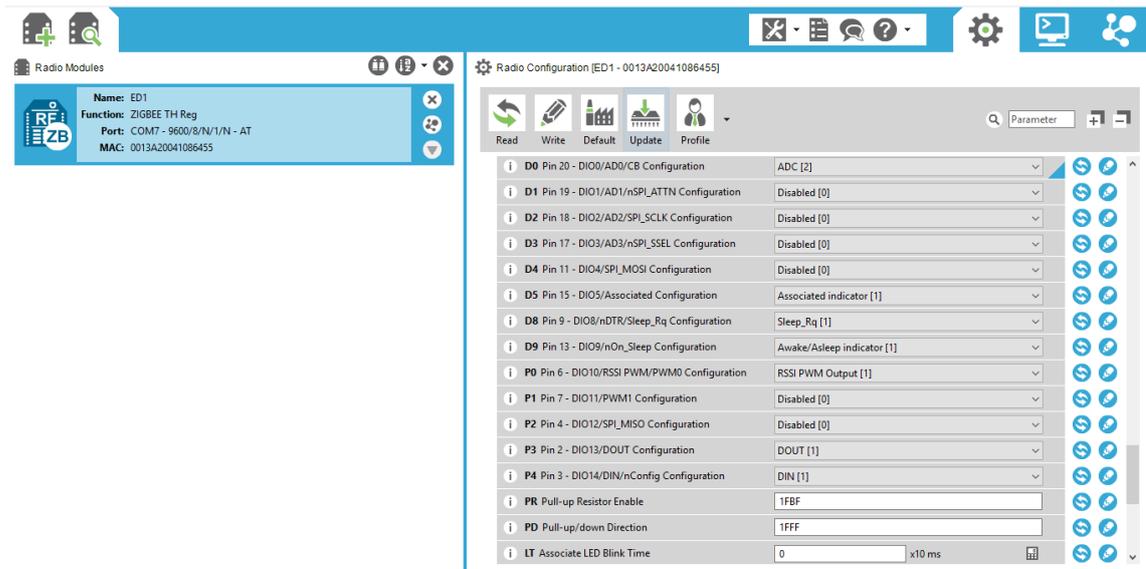


Figura 32-2: Pantalla sección de configuración del nodo final (b).

Realizado por: Fabrizio Martínez, 2018

Para realizar un trabajo conjunto de adquisición y transmisión se combinan en el nodo final un Arduino con el módulo Xbee en el (ANEXO C) se muestra las líneas de código del microcontrolador que será idéntico para todos los nodos.

2.4.5.2 Integración de la WSN al sistema visual de monitoreo y registro

Para realizar el monitoreo y registro de la información del nivel de humedad de las parcelas de cultivo hidropónico se seleccionó la tarjeta electrónica Raspberry PI3 que una vez cargada el sistema operativo está hábil para realizar la adquisición de datos, a su vez en el paso anterior se configuró la red inalámbrica que proporcionará la información extraída desde el cultivo. En este punto se describe la forma en que se realiza la integración de estos dos subsistemas para generar el sistema global de monitoreo esperado.

Como paso inicial para la integración de la información de la WSN al subsistema de monitoreo y registro, se realiza el montaje del nodo coordinador sobre el sistema embebido Arduino denominado en el ítem 2.3.1.1 gestor del sistema de control, esto mediante un Shield de base de Xbee (Figura 30-2). Mediante comunicación serial y sentencias preestablecidas dentro de la programación del Arduino (ANEXO D), adicional a las funciones de control, se anexará la lectura de la información de la Xbee para su procesamiento.

La integración de las tarjetas Arduino y Raspberry parte de aplicar:

sudo apt-get install upgrade, se emplea este comando dentro del terminal de la Raspberry para cargar e instalar las últimas actualizaciones para la tarjeta.

sudo apt-get install python-serial, habilita la comunicación serial

Ejecutados el par de comandos se procede a la verificación de la conexión entre el Arduino y la Raspberry mediante la sentencia:

lsusb sentencia empleada para revisión de recursos conectados a los puertos COM de la Raspberry.

*ls/dev/tty** se emplea para saber a qué puerto se ha conectado el Arduino, lo común que se obtiene es algo similar a */dev/ttyACM0*.

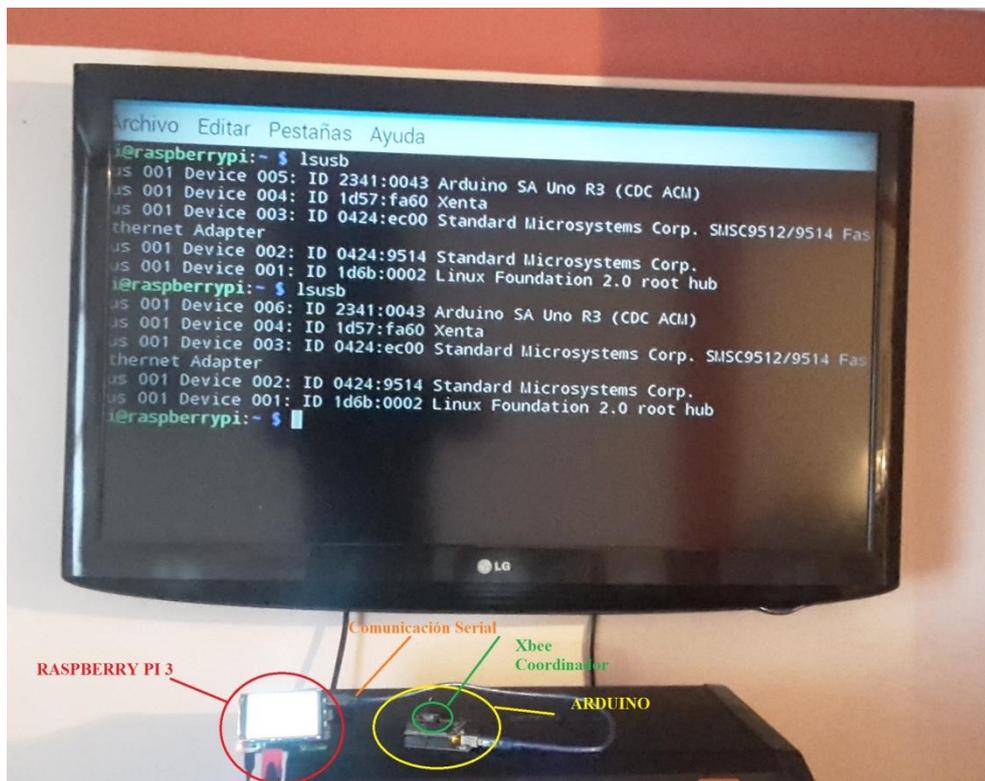


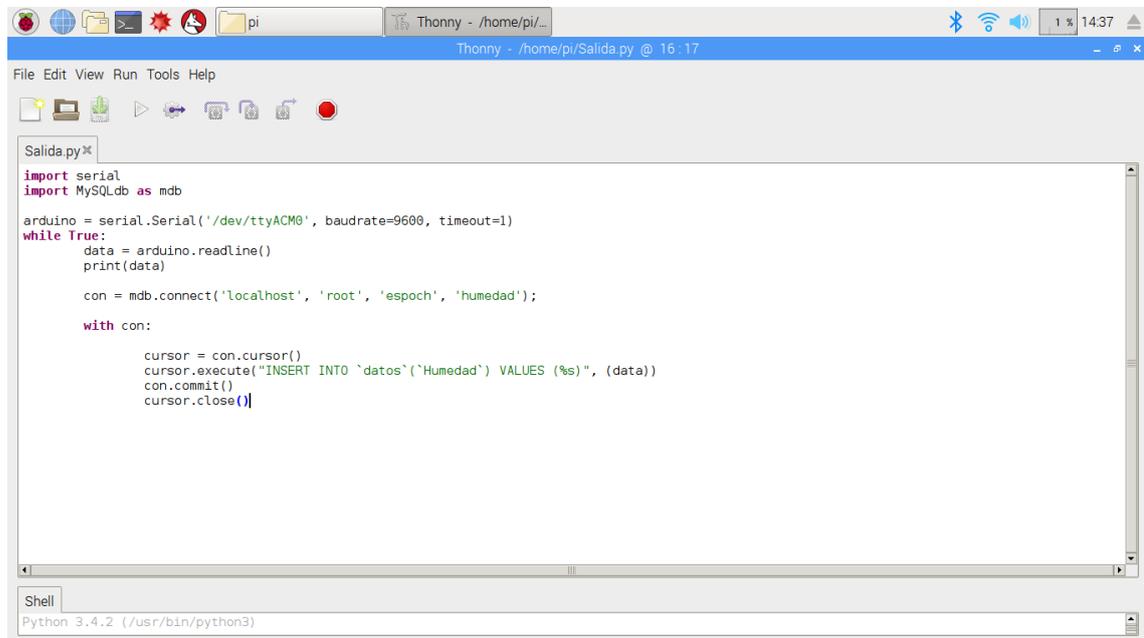
Figura 33-2: Prueba de continuidad Arduino y Raspberry

Realizado por: Fabrizio Martínez, 2018

2.4.5.3 Registro de datos

Una vez establecida la comunicación de los sistemas embebidos se procede a crear la base de datos para el registro de la información de humedad adquirida desde el campo a través de la

WSN, con el fin de realizar posteriormente un análisis de los datos obtenidos para determinar cuál de los sustratos empleados en el cultivo hidropónico conserva en mayor porcentaje la humedad. Se crea un archivo .py en el cual se va a ejecutar la programación de Python para registrar los datos.



```
Salida.py
import serial
import MySQLdb as mdb

arduino = serial.Serial('/dev/ttyACM0', baudrate=9600, timeout=1)
while True:
    data = arduino.readline()
    print(data)

    con = mdb.connect('localhost', 'root', 'epoch', 'humedad');

    with con:
        cursor = con.cursor()
        cursor.execute("INSERT INTO `datos`(`Humedad`) VALUES (%s)", (data))
        con.commit()
        cursor.close()
```

Shell
Python 3.4.2 (/usr/bin/python3)

Figura 34-2: Programación para registro de datos

Realizado por: Fabrizio Martínez, 2018

import serial, se emplea para importar la librería de comunicación serial.

import MySQLdb sirve para importar la librería de comunicación con la base de datos.

mdb.connect ('localhost', 'root', 'epoch', 'humedad'), se utiliza para la conexión a la base de datos, se establece el usuario root, la contraseña epoch y el nombre de la base humedad.

Anterior a esto se debe crear la base de datos que de igual manera se lo realiza mediante código:

sudo apt-get install python-mysqldb, importa la librería para la creación de la base de datos en MYSQL.

sudo apt-get install mysql-server, se crea un servidor para administración de la base de datos, en esta sección el usuario predeterminado root solicitará una contraseña.

Una vez ya instalado tenemos que ingresar a MYSQL con el comando: *sudo MySQL -u root -p*

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 Implementación del sistema de control

3.1.1 Tablero eléctrico y electrónico

Una vez configurados los elementos tanto para el control como el monitoreo se realizó las respectivas conexiones planteadas en el diseño del ítem 2.4.1, el montaje de los dispositivos se lo realizó en un gabinete metálico de 50x30cm, las conexiones están distribuidas a través de canaleta perforada.

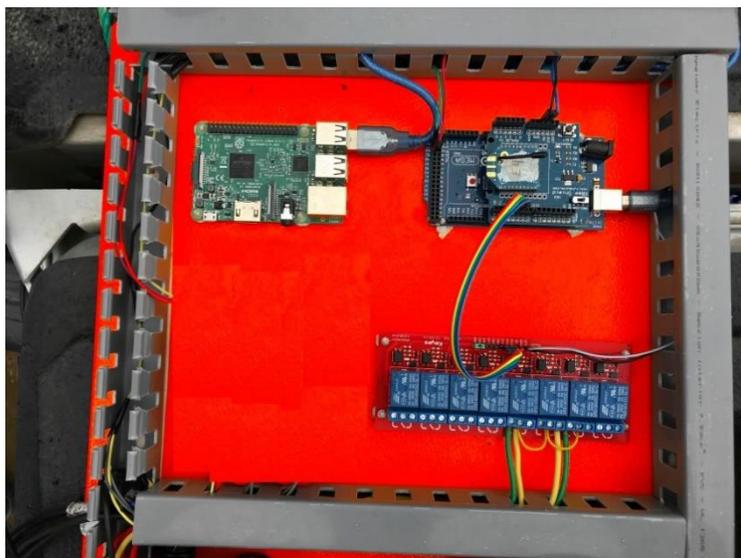


Figura 117-3: Montaje de dispositivos en el gabinete.

Realizado por: Fabrizio Martínez, 2018

En la figura 1-3 se evidencia el uso de la Raspberry Pi3 que interactuará como elemento para el monitoreo y registro de datos, el Arduino como elemento gestor del sistema de control en conjunto con el módulo shield de relés que se emplean como interfaz de potencia para el manejo de los actuadores, en este caso válvulas solenoides. Además sobre el Arduino se encuentra el módulo Xbee que actuará como coordinador de la WSN.

3.1.2 Montaje de dispositivos en campo

3.1.2.1 Instalación de actuadores

Para la instalación de las válvulas solenoides se inició por generar un canal en el terreno para el tendido eléctrico a través de tubería, con el fin de no dejar expuestos los conductores.



Figura 2-3: Instalación válvulas solenoides.

Realizado por: Fabrizio Martínez, 2018

Una vez trabajado el tendido eléctrico se procedió a la instalación de las solenoides en la línea de la tubería de riego, y a su vez realizar el empate del tendido con los pines de alimentación de la válvula solenoide.

3.1.2.2 Instalación gabinete eléctrico & electrónico

El gabinete que contiene los elementos para el sistema de control y monitoreo se instala en el cuarto que alberga la bomba se realizó un montaje en la pared a una elevación de 1,50m con el fin de aislar al piso que por cuestiones de fugas en las tuberías enlazadas a la bomba presentaban acumulación de agua.

Se toma la precaución de aislar orificios de la cubierta con espuma flex líquida relleno con esto los orificios del techo de zinc y la pared con el fin de evitar el polvo dentro del cuarto que puede provocar daño o deterioro en los elementos del tablero.



Figura 3-3: Instalación gabinete

Realizado por: Fabrizio Martínez, 2018

3.1.2.3 Instalación Elementos de la WSN en campo

Para la instalación de los nodos inalámbricos en el campo se utilizó una batería LIPO de 7,4 V 2000mAh de dos celdas con el fin de dar independencia al nodo y evitar cableados talvez a fuentes fijas que requieren un proceso de rectificación y adecuación.

Para la evaluación en campo se les colocó en una estructura en forma de caseta con el fin de aislar los elementos electrónicos de los efectos del sol y la lluvia.



Figura 4-3: Sensores inalámbricos

Realizado por: Fabrizio Martínez, 2018

Se instaló cuatro nodos finales ubicados estratégicamente a lo largo de cada parcela que contiene su sustrato correspondiente.



Figura 5-3: Instalación nodo en la parcela

Realizado por: Fabrizio Martínez, 2018

La ubicación del sensor HL-69 en la camada se la efectuó de tal manera que este quedase sumergido en el sustrato y así medir el valor eficaz del nivel de humedad en el sustrato.

El nodo situado en la parcela al empezar a ser alimentado por la batería LIPO inicia con su proceso de transmisión hacia el router y éste direcciona dicha información hacia el nodo coordinador ubicado en el tablero eléctrico del sistema.

3.1.2.4 Instalación interfaz de monitoreo

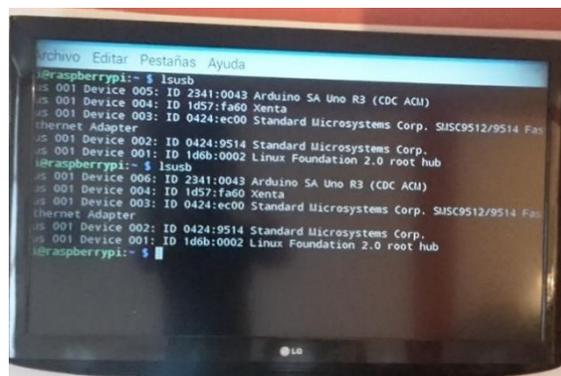


Figura 6-3: Monitoreo de la humedad

Realizado por: Fabrizio Martínez, 2018

La interfaz de monitoreo no se instaló directamente en el cuarto donde se halla el tablero eléctrico debido a situaciones como el espacio y lo que representaría a una persona mantenerse, o trasladarse a dicho lugar para realizar el seguimiento del proceso de monitoreo.

En vista de la problemática expuesta, se realizó la instalación del monitor para la supervisión de la humedad de los sustratos en las parcelas en una vivienda contigua al cuarto del tablero eléctrico tomando una extensión de cable HDMI de 5 metros para conectar la interfaz HDMI de salida de la Raspberry con la pantalla empleada para visualización de los datos del sistema de monitoreo y registro.

3.1.2.5 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 7-3 representa el diagrama de todos los elementos que intervienen dentro del sistema de control.

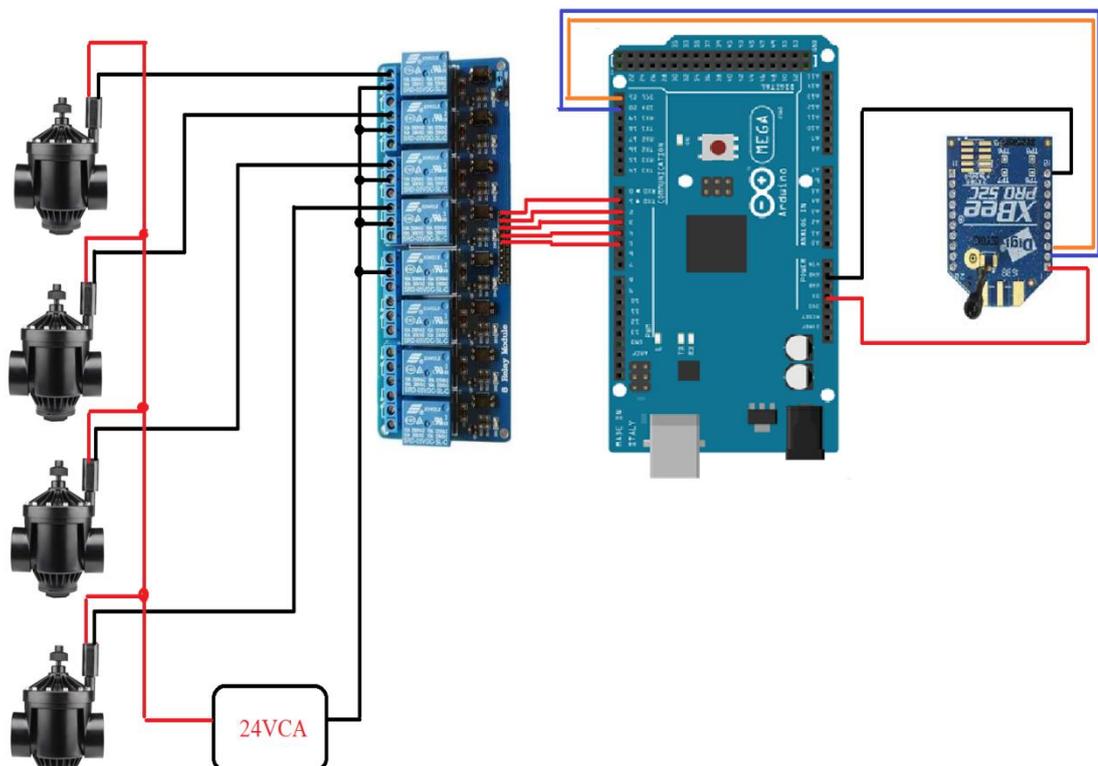


Figura 7-3: Sistema de control circuito total

Realizado por: Fabrizio Martínez, 2018

3.2 Evaluación del sistema

3.2.1 Pruebas de laboratorio

Previo a la evaluación de campo del nivel de humedad retenido en cada uno de los sustratos empleados en el cultivo hidropónico de fresa experimental, se realizan pruebas de laboratorio, en muestras de los sustratos tomadas en tarrinas de capacidad de 1000cc.

La prueba de laboratorio consistió en inicialmente tomar el nivel de humedad de la muestra de sustrato haciendo uso de los nodos implementados, para luego mediante la inserción de agua en la muestra hacer que ésta alcance el nivel de humedad relativa óptimo que se representa entre el 70 y 85%.

La optimización del uso del recurso hídrico fundamenta este trabajo, por lo que dentro de la experimentación se consideró la cantidad de agua dosificada en la muestra para alcanzar la humedad relativa ideal considerada para el cultivo de fresa.

La dosis de agua asignada en la experimentación es una copa de 250 mililitros.



Figura 10-3: Pruebas en muestras de sustrato fibra de coco - compost de pino

Realizado por: Fabrizio Martínez, 2018

La figura 5-3 muestra los valores porcentuales de humedad relativa al inicio de la evaluación (47%) y posterior a ser sometida a un proceso de hidratación (81%) para la muestra del sustrato de fibra de coco con compost de pino.

El sensor de humedad del nodo se lo ubicó de tal manera que el sustrato lo cubriera hasta antes de los pines de conexión, se tomó esta medida de sumersión referencial con el fin de seguir el mismo proceso de la colocación del sensor en todas las pruebas.

A continuación la tabla expone los valores obtenidos en la experimentación individual de todos los sustratos empleados en el cultivo.

Tabla 31-3: Experimentación inicial

Sustrato	Humedad inicial de la muestra	Humedad provocada	# Dosis H2O (1 dosis 250 ml)
Fibra de coco	51%	80%	1
Fibra de coco - cascarilla de arroz - arena,	49%	80%	2
Cascarilla de arroz – arena	34%	79%	4
Fibra de coco - compost de pino	47%	81%	1

Realizado por: Fabrizio Martínez, 2018

Fuente: Autor

Mediante los valores de las medidas iniciales (Gráfico1-3, Serie 1) se observa que la muestra de fibra de coco es la que llegó con mayor nivel de humedad seguida del sustrato de fibra de coco - cascarilla de arroz – arena luego la fibra de coco - compost de pino y por último la cascarilla de arroz – arena.

Las condiciones iniciales descritas impiden realizar una evaluación paralela de la atenuación del nivel de humedad, por lo que la inserción de la dosis de agua permite crear un punto de partida común en todas las muestras para partir de allí el análisis. (Gráfico1-3, Serie 2)

Adicionalmente en el proceso para crear la situación de partida común para la evaluación de los sustratos se permite sacar como conclusión que el sustrato de cascarilla de arroz – arena tiene el mayor consumo de recurso hídrico para alcanzar el punto ideal de humedad para la experimentación.

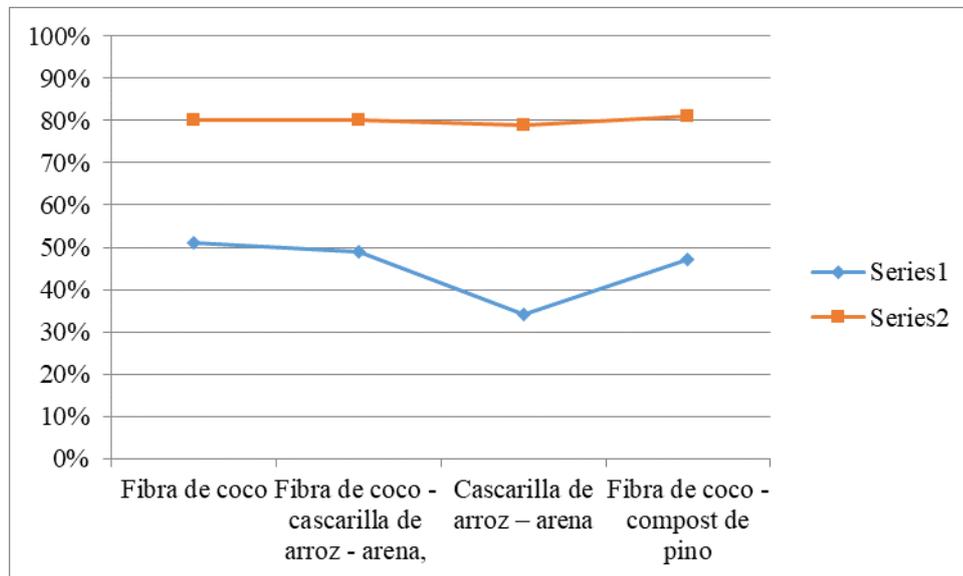


Gráfico 1-3: Condición inicial, punto de partida provocado

Realizado por: Fabrizio Martínez, 2018

Cabe resaltar también la observación humedad versus dosis de agua, al ser que el sustrato de cascarilla de arroz – arena tiene la menor humedad inicial hace también el mayor consumo de agua, en un criterio a priori se puede decir que a pesar de la consideración anterior sigue exigiendo una demanda superior del recurso hídrico para alcanzar el nivel de humedad del 80% planteado como condición de partida para la evaluación.

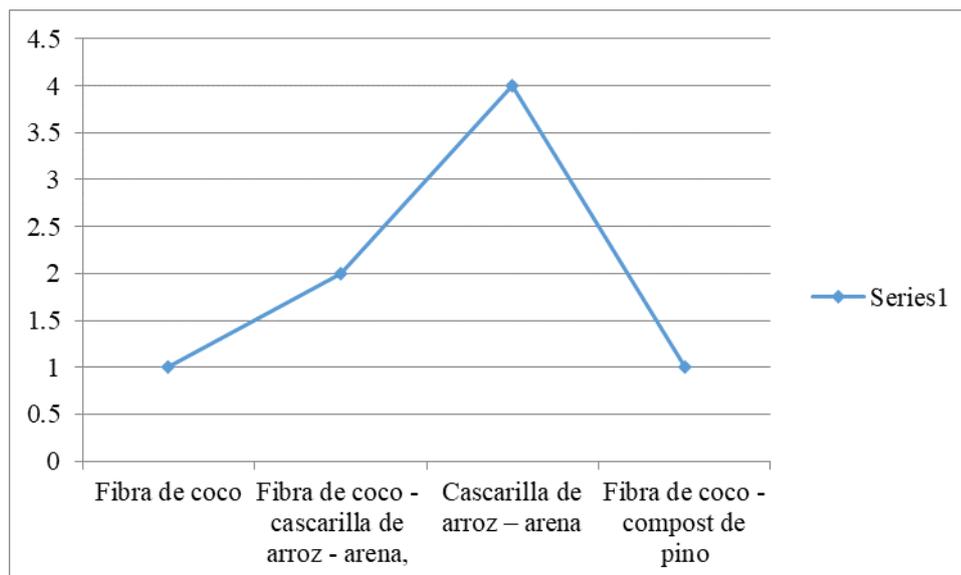


Gráfico 2-3: Consumo de agua en las muestras para alcanzar la condición de partida

Realizado por: Fabrizzio Martínez, 2018

Las muestras se las dejó a la intemperie en un lugar que en el caso de lluvia no incidiera en ellas. Se dejó transcurrir un lapso de tres días para tomar nuevamente la medida del nivel de humedad para poder determinar el sustrato que conservó de mejor la humedad. Resultado de la toma de datos se obtuvo:

Tabla 42-3: Nivel de humedad transcurrido tres días

Sustrato	Humedad inicial de la muestra	Humedad 3 días después
Fibra de coco	80%	64%
Fibra de coco - cascarilla de arroz - arena,	80%	67%
Cascarilla de arroz - arena	79%	71%
Fibra de coco - compost de pino	81%	56%

Realizado por: Fabrizzio Martínez, 2018

Fuente: Autor

Resultado de la medición del nivel de humedad al transcurrir tres días de la prueba en las muestras experimentales de sustratos se obtuvo que el sustrato de cascarilla de arroz conserva de mejor manera la humedad. En el Gráfico 3.3 Serie 1 se muestran los niveles de humedad de

partida de la experimentación cuando todos los sustratos tienen la humedad ideal y la Serie 2 señala los valores de humedad medidos luego del transcurso de 3 días.

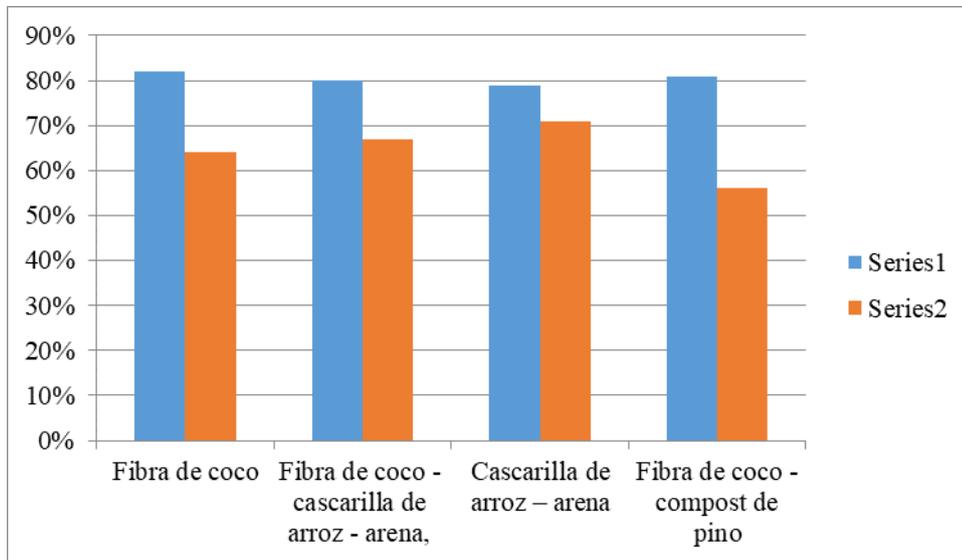


Gráfico 3-3: Humedad inicio prueba vs humedad tres días después.

Realizado por: Fabrizio Martínez, 2018

En resumen de la experimentación de laboratorio se determina que el sustrato de cascarilla de arroz con arena tiene el mayor nivel de retención de la humedad.

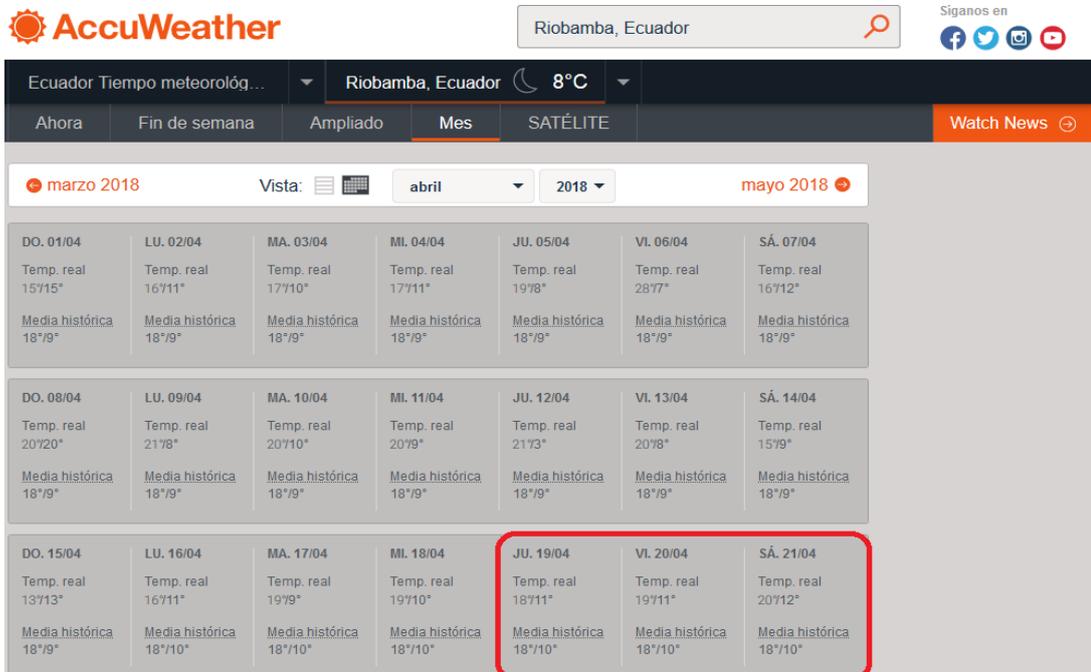


Figura 11-3: Medias de la temperatura ambiente en días de evaluación

Fuente: <https://www.accuweather.com/es/ec/riobamba/122060/april-weather/122060>

Adicionalmente, en la figura expuesta anteriormente se adjunta los datos de la temperatura media del día y la noche en los días de la evaluación; registro tomado de la base de datos de www.accuweather.com.

3.2.2 Pruebas en campo



Figura 12-3: Experimentación en campo.

Realizado por: Fabrizio Martínez, 2018

Posterior a las pruebas de laboratorio se realizó el análisis del comportamiento de los sustratos ya en campo, donde las condiciones son reales, pues involucra la presencia de la planta de fresa que representará un consumo de la humedad albergada en el sustrato.

La experimentación en campo se la realizó de igual manera provocando un nivel de humedad ideal fijado en 85%, esto mediante la activación directa del sistema de riego instalado.

Alcanzado el nivel ideal se procede a dejar correr el sistema automatizado de control del proceso 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 4-3 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 un acción de riego.

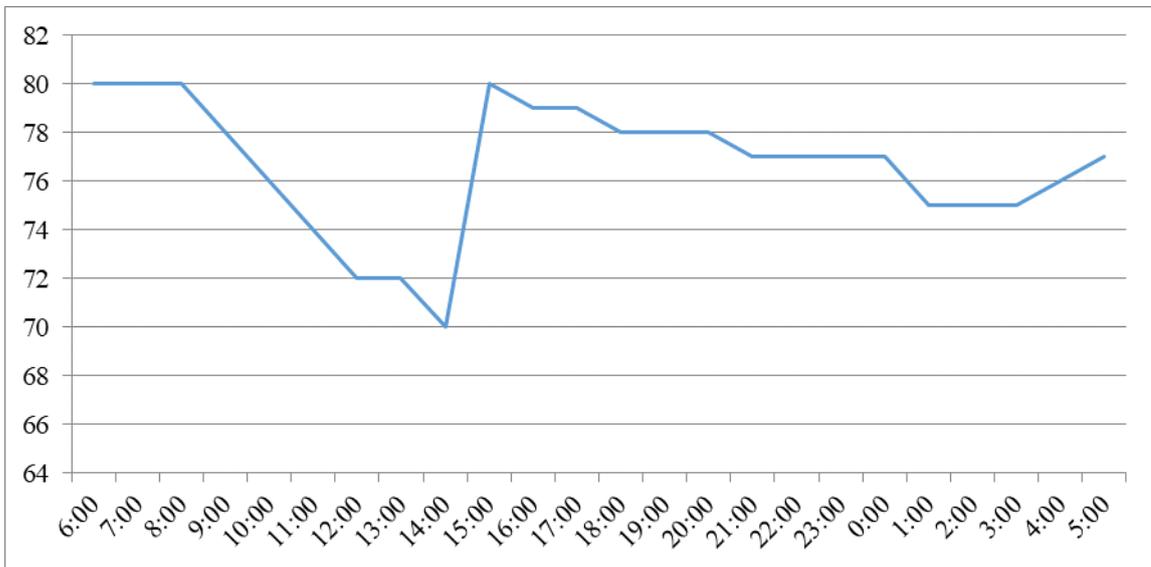


Gráfico 4-3: Evaluación día uno – sustrato de fibra de coco.

Realizado por: Fabrizio Martínez, 2018

El gráfico 5-3 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.

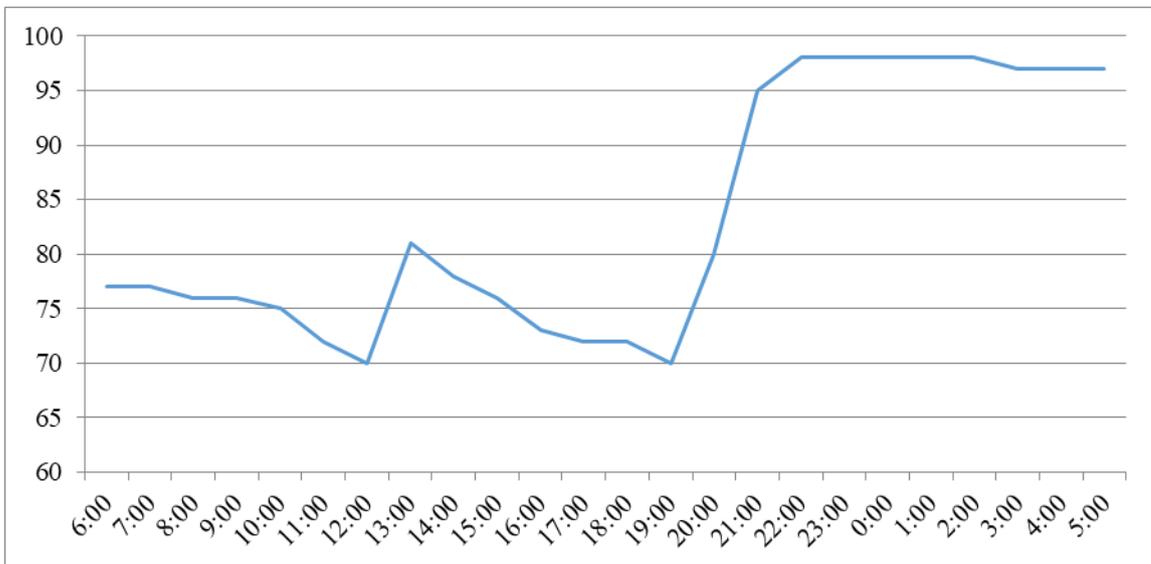


Gráfico 5-3: Evaluación día dos – sustrato de fibra de coco.

Realizado por: Fabrizio Martínez, 2018

El último día de evaluación se observa en el gráfico 6-3 que la humedad tiene una acción decreciente hasta las 3:00 donde se detecta nuevamente una acción de riego.

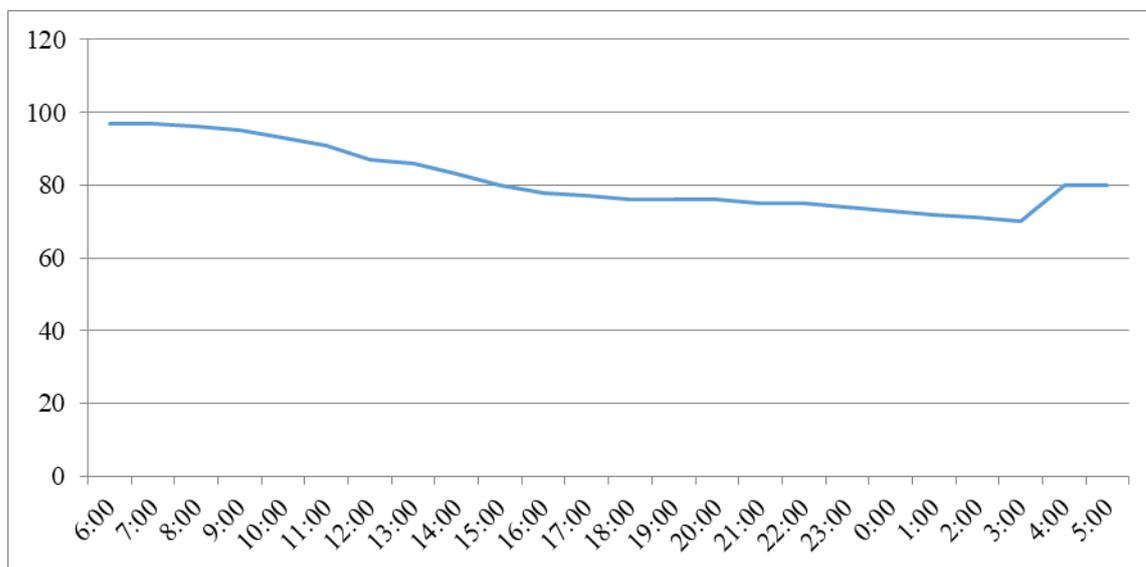


Gráfico 6-3: Evaluación día tres – sustrato de fibra de coco.

Realizado por: Fabrizio 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 presentan en la siguiente tabla.

Tabla 5-3: 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

Realizado por: Fabrizio Martínez, 2018

Fuente: Autor

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.

CAPÍTULO IV

4. COSTOS

Se realiza un análisis general de los costos efectuado en la construcción del modelo prototipo de cuatro líneas de producción con discriminación sensorial en productos terminados.

4.1 Costos directos

Son los que se relacionan directamente para la realización o fabricación del modelo prototipo.

4.1.1 Costos Eléctricos & Electrónicos

Tabla 6-4: Costos eléctricos & Electrónicos

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	V. UNITARIO(USD)	V. TOTAL (USD)
1	Bomba eléctrica para el riego	300	300
4	Válvulas solenoides 24 VCA 1”	24	96
4	Rollos de cable flexible 16 AWG	25	100
1	Raspberry Pi3	70	70
1	Monitor 17”	100	100
1	Arduino MEGA 2560	28	28
5	Arduino UNO	20	100
6	Módulos Xbee S2	45	270
6	Bases Shield para Xbee - Arduino	15	90
4	Sensores de Humedad	8	32
1	Gabinete eléctrico	35	35
2	Canaleta ranurada	15	30
1	Extensión cable HDMI 5m	25	25
5	Baterías LIPO	35	175
		TOTAL	1451

Realizado por: Fabrizio Martínez, 2018

Fuente: Autor

4.1.4 Costo de mano de obra

Tabla 7-4: Costos mano de obra

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	V. UNITARIO(USD)	V. TOTAL (USD)
1	Excavación tendido eléctrico	40	40
		TOTAL	410

Realizado por: Fabrizio Martínez, 2018

Fuente: Autor

4.1.6 Costos directos totales

Tabla 8-4: Costo directos totales

DESCRIPCIÓN	V. TOTAL
Costos eléctricos y electrónicos	1451
Costos de mano de obra	40
COSTO DIRECTO TOTAL	1491

Realizado por: Fabrizio Martínez, 2018

Fuente: Autor

4.2 Costos indirectos

Tabla 9-4: Costo indirectos totales

N ^º	DESCRIPCIÓN	V. UNITARIO(USD)	V. TOTAL (USD)
1	Ingenieriles	100	100
2	Impresiones papelería	150	150
	TOTAL		250

Realizado por: Fabrizio Martínez, 2018

Fuente: Autor

4.3 Costo total

Tabla 10-4: Costo total

N ^º	DESCRIPCIÓN	V. UNITARIO(USD)	V. TOTAL (USD)
1	Costos directos totales	1491	1491
2	Costos indirectos totales	250	250
	COSTO TOTAL		1741

Realizado por: Fabrizio Martínez, 2018

Fuente: Autor

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 implementación de una red inalámbrica de sensores (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.

BIBLIOGRAFÍA

AZUL WEB. *¿Qué son los sistemas embebidos?*. 2016. [Consultado: 04 de Abril 2018]
Disponibile 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].
Disponibile en: <https://elandroidelibre.lespanol.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]
Disponibile en: <http://www.infoplcn.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.

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 PONSÁ, 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 DUGOU, J., & EYNARD, B. *Survey on mechatronic engineering: A focus on design methods and product models.* *Advanced Engineering Informatics.* 2014.