



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ
MANUEL FÉLIX LÓPEZ**

DIRECCIÓN DE POSGRADO Y FORMACIÓN CONTINUA

**INFORME DE TRABAJO DE TITULACIÓN
PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE MAGÍSTER EN
TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN MENCIÓN REDES Y
SISTEMAS DISTRIBUIDOS**

MODALIDAD: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

TEMA:

**AUTOMATIZACIÓN DE RIEGO Y FERTILIZACIÓN MEDIANTE
UNA RED INALÁMBRICA DE SENSORES EN LA ESPAM MFL**

AUTOR:

MANUEL DE JESÚS MACÍAS RAMÍREZ

TUTOR:

DR. INF. MARLON RENNE NAVIA MENDOZA

CALCETA, SEPTIEMBRE 2019

DERECHOS DE AUTORÍA

MANUEL DEL JESÚS MACÍAS RAMÍREZ, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo los derechos de propiedad intelectual a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

MANUEL DEL JESÚS MACÍAS RAMÍREZ

CERTIFICACIÓN DE TUTOR

MARLON RENNE NAVIA MENDOZA, certifica haber tutelado el Trabajo de Titulación **AUTOMATIZACIÓN DE RIEGO Y FERTILIZACIÓN MEDIANTE UNA RED INALÁMBRICA DE SENSORES EN LA ESPAM MFL**, que ha sido desarrollada por **MANUEL DEL JESÚS MACÍAS RAMÍREZ** previa la obtención del título de Magister en Tecnologías de la Información mención Redes y Sistemas Distribuidos, de acuerdo al **REGLAMENTO DE LA UNIDAD DE TITULACIÓN DE LOS PROGRAMAS DE POSGRADO** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

DR. INF. MARLON NAVIA MENDOZA

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

Los suscritos integrantes del tribunal correspondiente, declaramos que hemos **APROBADO** el trabajo de titulación **AUTOMATIZACIÓN DE RIEGO Y FERTILIZACIÓN MEDIANTE UNA RED INALÁMBRICA DE SENSORES EN LA ESPAM MFL**, que ha sido propuesto, desarrollado por **MANUEL DEL JESÚS MACÍAS RAMÍREZ** , previa la obtención del título de Magister en Tecnologías de la Información mención Redes y Sistemas distribuidos, de acuerdo al **REGLAMENTO DE LA UNIDAD DE TITULACIÓN DE LOS PROGRAMAS DE POSGRADO** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

DR.INF. JORGE S. HERRERA TAPIA

MIEMBRO

DR.INF. JORGE A. PÁRRAGA ÁLAVA

MIEMBRO

MG.SC. JÉSSICA J. MORALES CARRILLO

PRESIDENTA

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, institución que abrió sus puertas a muchos jóvenes, gracias a ella hoy somos profesionales,

A los señores docentes, que compartieron su conocimiento ético profesional y a la Dra. Miryam Félix López, que de una u otra forma me ha apoyado siempre de manera incondicional, y gracias a ello, hoy algunos jóvenes somos profesionales.

A mi tutor, el Ing. Marlon Navia Mendoza, Dr. Inf., y los señores miembros del tribunal, por guiarme en este camino, y gracias por compartir sus conocimientos que fueron parte importante para conseguir este objetivo.

El autor

DEDICATORIA

A Dios, mis padres, esposa e hijos, que me han sabido guiar y apoyar de manera incondicional para conseguir este objetivo.

El autor

CONTENIDO

PORTADA	i
DERECHOS DE AUTORÍA	ii
CERTIFICACIÓN DE TUTOR	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL	iv
AGRADECIMIENTO	v
DEDICATORIA	vi
CONTENIDO	vii
CONTENIDO DE FIGURAS	ix
CONTENIDO DE IMÁGENES	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES	1
1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.2. JUSTIFICACIÓN	3
1.3. OBJETIVOS	4
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	4
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
CAPÍTULO II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	5
2.1. INTRODUCCIÓN	5
2.2. USO DEL AGUA EN LA AGRICULTURA	5
2.3. IMPORTANCIA DE LA FERTILIZACIÓN	6
2.4. AGRICULTURA DE PRECISIÓN	6
2.5. REDES INALÁMBRICAS DE SENSORES Y SU APLICACIÓN	7
2.6. SISTEMAS DE RIEGO AUTOMATIZADOS	9
2.6.1. CASOS DE EJEMPLO DE AUTOMATIZACIÓN DE RIEGO	10
CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO	13
3.1. MÉTODO	13
3.2. SOFTWARE UTILIZADO	14
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	16
4.1. ESTUDIO	16
4.4. REVISIÓN	24
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	27
5.1. CONCLUSIONES	27
5.2. RECOMENDACIONES	27

BIBLIOGRAFÍA	29
ANEXOS	32
ANEXO 1A. CÓDIGO FUENTE NODO CORDINADOR.....	33
ANEXO 2. FOTOGRAFÍAS DE PRUEBAS EN FRÍO DEL SISTEMA.....	36
ANEXO 3. FOTOGRAFÍAS DE PRUEBAS EN CALIENTE DEL SISTEMA	37

CONTENIDO DE FIGURAS

FIGURA 1. ARQUITECTURA TÍPICA DE RED MULTISALTO DE SENSORES INALÁMBRICOS.	8
FIGURA 2. EJEMPLO DE UNA RED DE SENSORES PARA MONITORIZACIÓN INDUSTRIAL ..	9
FIGURA 3. ESQUEMA DE LA METODOLOGIA EDER	13
FIGURA 4. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE RIEGO Y FERTILIZACIÓN	18
FIGURA 5. DISEÑO DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA AUTOMATIZADO	19

CONTENIDO DE IMÁGENES

IMAGEN 1. INSTALACIÓN DE LAS ELECTROVÁLVULAS.....	21
IMAGEN 2. HARDWARE DEL NODO SENSOR.....	22
IMAGEN 3. INSTALACIÓN DEL NODO SENSOR.....	22
IMAGEN 4. CIRCUITO NODO CONTROLADOR	23
IMAGEN 5. PROTECCIÓN DE NODO CONTROLADOR	24
IMAGEN 6. PROTECTOR DE NODO SENSOR	24

RESUMEN

El presente trabajo de titulación tuvo como finalidad implementar de manera automatizada un control de riego y fertilización mediante una red inalámbrica de sensores, dentro de los predios de la ESPAM MFL, de tal manera que se optimice el uso de recursos hídricos y de abono. Para la consecución del objetivo especificado, se utilizó la metodología EDER, misma que proporciona procesos claros y pertinentes en la aplicación de proyectos de infraestructura tecnológica. En el primer paso de la metodología planteada se analizaron los dispositivos existentes en el mercado para automatización, seleccionando las placas Arduino para realizar el proyecto planteado, además de dispositivos XBee que sirven para la transmisión de datos entre los nodos. Posteriormente se realizó el diseño del sistema, que incluye sensores de humedad electroválvulas, así como una batería solar recargable, para la alimentación energética del nodo. Se continuó con la implementación del sistema con base en el diseño y los materiales considerados. Se realizaron las pruebas de funcionamiento respectivas, tanto de la funcionalidad como de la duración de la batería, obteniendo que la autonomía estimada de esta le permite trabajar varios días al nodo (al menos 108.7h) aun en el caso extremo de no recibir luz solar. Al final, se obtuvo un sistema autónomo de bajo costo, que puede realizar el riego y la fertilización de plantas, de acuerdo con parámetros de condiciones del suelo, previamente configurados, con una buena duración de la batería de los nodos inalámbricos de sensores.

PALABRAS CLAVE: Arduino, XBee, sistema de riego, fertilización automatizada.

ABSTRACT

The purpose of the present work was to implement, in an automated way, an irrigation and fertilization control system by using a wireless sensor network, within the facilities of the MFL ESPAM, in such a way that the use of water and fertilizer resources will be optimized. In order to achieve the specified objective, EDER methodology was used, which provides clear and relevant processes in the performing of technological infrastructure projects. In the first step of the used methodology, the existing devices in the market for automation were analyzed, selecting the Arduino boards to carry out the proposed project, as well as XBee devices that serve for the data transmission between the nodes. Subsequently, the system design was carried out, which includes humidity sensors and solenoid valves, as well as a rechargeable solar battery for the power supply of the node. Then, the implementation of the system was performed, according to the considered design and materials. The respective operation tests were performed, both for functionality as well as on battery life duration, obtaining that the estimated autonomy of the battery allows it to work several days at the node (at least $108.7h$) even in the extreme case of not receiving sunlight. At the end, a low cost system was obtained, which could perform the autonomous irrigation and fertilization of plants, according to soil conditions parameters, previously configured, with good battery life duration in wireless sensor nodes.

KEYWORDS: Arduino, XBee, irrigation system, automated fertilization.

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En las últimas décadas el crecimiento de las redes de computadores y, en concreto, de las comunicaciones inalámbricas es muy notorio, propiciado por los constantes avances tecnológicos. De la misma forma, han evolucionado los circuitos electrónicos, mismos que son cada vez más pequeños, potentes y de menor costo, permitiendo también en esta línea, importantes avances en el campo de los transductores (IEC, 2014). Con base en esto se han desarrollado nuevos dispositivos para la detección y medida de parámetros del entorno en cualquier magnitud de forma eficaz.

Entre los dispositivos que se emplean en la actualidad están las de redes de sensores para monitorización de hábitats y variables ambientales, estos presentan un gran potencial en beneficios de la comunidad académica y la sociedad en general, que permiten complementar espacios naturales con numerosos nodos interconectados para formar una red, que permiten obtener datos por periodos de tiempo largos, a escalas de cobertura y resoluciones que serían difíciles, si no es que, imposibles de obtener de otra manera entre otros diversos campos de aplicación (Martínez, 2018).

Dentro de las variables ambientales, se tiene que el agua es un recurso vital para la vida y se sabe que no es inagotable, por lo que se debe generar una cultura sobre el uso responsable de esta. En el medio local es muy frecuente observar que se cuenta con ella, pero, no se lo utiliza de una forma óptima. En Manabí, entre los agricultores es común ver la aplicación de sistemas de riego, sobre todo para el cultivo de sus productos en épocas secas; los métodos utilizados por los pobladores en zonas agrícola son los métodos convencionales como el riego por aspersión e inundación, que no son aplicados de manera eficiente y generan desperdicio del recurso hídrico de manera recurrente y el control que conlleva largas jornadas en su aplicación.

Una forma no invasiva de monitorización es mediante el uso de las tecnologías inalámbricas, especialmente los sensores. La transmisión inalámbrica puede simplificar el cableado, ubicar sensores en sitios remotos y, considerados peligrosos. Su instalación es fácil, ya que son de tamaño considerablemente pequeño, bajo consumo de potencia, permitiendo la integración a bajo costo y su movilidad (Urbano, 2013).

Al crear un sistema de riego automatizado y sustentable, se pretende demostrar que al utilizar un control para el riego de la planta aportara a la comunidad optimizando el uso hídrico (Velasco, 2017).

Las técnicas de monitorización del riego mediante los sistemas de sensores aplicados a los cultivos son relativamente nuevas en Ecuador. La ESPAM MFL, que desea apoyar las investigaciones dentro del campo agropecuario, como se ha establecido en la línea de investigación institucional “Soluciones computacionales para el sector agro-productivo y de servicio”. Además, tiene dentro de sus predios espacios de cultivo y plantaciones experimentales que necesitan riego y fertilización adecuada. Sin embargo, este proceso demanda tiempo y esfuerzo. Por lo tanto, surge la siguiente pregunta:

¿Cómo mejorar los procesos de riego y fertilización en la ESPAM MFL?

1.2. JUSTIFICACIÓN

Un sistema de riego bien diseñado es un requisito esencial para un riego amigable rentable y ambiental (Ochoa et al, 2016). El uso de los sensores en el manejo del riego, y, por tanto, su empleo en la monitorización, constituye una técnica efectiva para cosechas ajustadas, en cuanto a cantidad y calidad, a los requerimientos del mercado; puesto que, mejora el manejo del agua en los cultivos al permitir conservarla y, adicionalmente, aumentar la rentabilidad en las tierras agrícolas (García, 2013).

Según el Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 (SENPLADES, 2017), se establece que el agua es uno de los servicios sociales más importantes y prioritarios, el acceso y la calidad de este recurso para el consumo humano, los servicios de saneamiento y, por supuesto, para la producción y sistemas de riego.

Dentro de la ESPAM MFL se encuentran áreas verdes y de cultivos, de las cuales ninguna se encuentra automatizada, razón por la cual no se conoce de manera puntual el manejo de este recurso, y menos si se utiliza la cantidad de agua adecuada. Con esto, se pretende en esta investigación obtener datos sobre el riego automático por medio de Redes Inalámbricas de Sensores (WSN por sus siglas en inglés), en lo que corresponde a la humedad del suelo, con la finalidad de mejorar el control de riego y la fertilización. De esta manera se puede implementar sistemas de riego y fertilización que brinden eficientemente el agua necesaria, en el sector agrícola local.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Implementar la automatización del control de riego y fertilización mediante una red inalámbrica de sensores en la ESPAM MFL, para optimizar el uso de recursos hídricos y de abono.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar equipos y materiales existentes en el mercado para la automatización de riego.
- Programar el esquema de funcionamiento del sistema automatizado.
- Instalar los componentes del sistema automatizado en la ubicación de prueba.
- Verificar el funcionamiento de la automatización.

CAPÍTULO II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. INTRODUCCIÓN

Una de las áreas donde se puede y se están implementando las redes inalámbricas de sensores es en el campo de la agricultura. Esta tecnología contribuye a la reducción del consumo de agua, fertilizantes y pesticidas, ayudando a la conservación del entorno. La gestión eficiente del agua juega un papel importante en los sistemas de riego para cultivos agrícolas (Kim y Evans, 2009; Sezen et al., 2010). Debido al elevado consumo de agua, la demanda de técnicas para poder ahorrar este recurso se requiere cada vez más. Una solución potencial para mejorar los rendimientos y maximizar la eficiencia del uso del agua en los diferentes cultivos según sus necesidades específicas son las redes de sensores inalámbricos localizados en sitios específicos de control (Miranda et al., 2005; Coates y Delwiche, 2006; Dursun y Ozden, 2011).

2.2. USO DEL AGUA EN LA AGRICULTURA

El agua dulce es imprescindible para la vida, pero la cantidad disponible es escasa y su distribución desigual. Además, varía a lo largo del año y está sujeta a cambios provocados por la actividad humana. Los usos más importantes están relacionados con la agricultura y el consumo industrial y doméstico. Su demanda se ha incrementado notablemente con el crecimiento de la población. En las últimas décadas, se han multiplicado las áreas agrícolas dependientes del riego para la producción de alimentos. Las industrias y actividades mineras la emplean para el lavado, enfriamiento, dilución, remojo, procesamiento, eliminación de productos de desecho, etc. (Franco & Rodríguez, 2016).

La agricultura como actividad productiva juega un rol fundamental en el desarrollo de los países, generando la disponibilidad de mejores procesos para el riego de los suelos cultivados. La producción de alimentos en el mundo ocupa aproximadamente el 70% del agua que se extrae. El Ecuador se considera como uno de los países más ricos en tener este líquido vital con un

promedio de 43 mil 500 metros cúbicos por habitante al año” (Bolzan, Spatola, & Chiera, 2010).

2.3. IMPORTANCIA DE LA FERTILIZACIÓN

Para conseguir un mayor rendimiento económico en cualquier producción agrícola es importante contar con una correcta y adecuada disponibilidad de nutrientes. Generalmente los suelos en donde se desarrolla la agricultura no logran suplir las demandas nutricionales que exige una producción agrícola económica y ambientalmente viable. Es por ello que los productores agrícolas, deben aplicar fertilizantes como un insumo para asegurar una producción aceptable, lo que implica que este se constituya en un rubro muy importante dentro del costo de producción (Pérez, 2014).

Cuando el ciclo de siembra y cosecha es continuo, es decir se cosecha sin descanso, el suelo no puede renovar los nutrientes perdidos. Así pues, para poder seguir cosechando, es necesario fertilizar la tierra. Se puede fertilizar sólidos y líquidos. Los sólidos vienen en presentaciones polvo y granulados y en pastillas que se aplican en métodos antiguos. El objetivo principal de la fertilización por líquidos es el aprovechamiento del flujo de agua del sistema de riego para transportar los elementos nutritivos que necesita la planta hasta el lugar donde se desarrollan las raíces, con lo cual se optimiza el uso del agua, los nutrientes y la energía, y se reducen las contaminaciones si se maneja adecuadamente (Hydro Enviroments, 2015).

2.4. AGRICULTURA DE PRECISIÓN

La agricultura, se la considera como sostén alimenticio de la humanidad, en consecuencia, deberá optimizar el uso de recursos de la misma, a la vez que se aumenta la productividad. El uso de la tecnología en la agricultura aumenta cada día , lo que provoca mejora en la productividad y cambios en el entorno (Quevedo Herrero, *et al.* 2006)

Se define a la agricultura de precisión como un ciclo de prácticas agrícolas orientado a sustituir la recomendación habitual de insumos en base a valores

promedio, como ocurre en la agricultura tradicional, por una más precisa, con manejo localizado, considerando las variaciones del rendimiento en toda el área. Es una optimización del uso de los insumos porque deposita en el suelo la cantidad de semilla que cada punto soporta, la cantidad de nutrientes requerida, y además el control de malezas, plagas y enfermedades se hace solamente en los puntos que demanden tal control.(Bongiovanni, *et al.* 2006).

Adicional a lo descrito anteriormente, la agricultura de precisión se administra a través de un conjunto de procedimientos con una base de información, con el objetivo de mejorar el proceso de producción y logrando reducir al mínimo porcentaje el impacto ambiental, por medio del monitoreo preciso del cultivo. Esto comprende el ajuste y control de diversos parámetros del cultivo, la variación de las dosis de micronutrientes, riego focalizado para las plantas, pesticidas y herbicidas. Este tipo de sistemas aplicado a la agricultura es la integración de conocimientos sobre sensores, automatización y control, transmisión digital de datos en redes, almacenamiento y procesamiento de información. Para la toma de las medidas se usa una red inalámbrica de sensores compuesta por varios dispositivos distribuidos adecuadamente y colaborando entre sí para recoger, procesar y comunicar las medidas de cada variable.

2.5. REDES INALÁMBRICAS DE SENSORES Y SU APLICACIÓN

Las redes de sensores se encuentran formadas por numerosos dispositivos distribuidos espacialmente, los cuales, son los encargados de monitorear y controlar diversas condiciones en distintos puntos, entre ellas la temperatura, el sonido, la vibración, la presión y movimiento o los contaminantes (Figura 1). Los sensores pueden ser fijos o móviles, adquiriendo datos de entornos físicos como los estados actuales del objeto, procesamiento y comunicación, de tal forma que puedan comunicarse entre ellos y ofrecer nuevos servicios de acuerdo a su área de aplicación (Burbano, 2017).



Figura 1. Arquitectura típica de red multihop de sensores inalámbricos.

Elaboración: El Autor

Un sensor es un dispositivo diseñado para tomar datos de su entorno, estos pueden ser de temperatura, humedad del suelo, flujo fotosintético, temperatura en las hojas (radiómetro) y muchos otros, con el objetivo de obtener las variables de manera más precisa, garantizando una mejor entrega de datos. También, suelen estar conectados a sistemas en tiempo real apoyados en herramientas de transmisión de datos (Urbano, 2013). Las redes inalámbricas de sensores están siendo aplicadas con éxito a sistemas de automoción, aplicaciones industriales, aviónica, entornos inteligentes, identificación de productos, domótica y seguridad, control de consumo energético, y plantaciones en los campos (Capella, 2010). Un ejemplo de este tipo de redes se puede ver en la Figura 2.

Existen varios protocolos utilizados en el campo de comunicaciones inalámbricas entre estos están: Wimax, Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee, entre otros. De los protocolos indicados los más apropiados para una red inalámbrica son Bluetooth y Zigbee. Teniendo ambos su campo específico de aplicación; el Bluetooth es ideal para aplicaciones con teléfonos celulares (debido a su alta velocidad de transmisión de datos), Zigbee es el protocolo más adecuado para una WSN, debido a sus características. Es un estándar de comunicación inalámbrica entre dispositivos centrados en aplicaciones de bajo coste y consumo (Navarro, Vila, Muñoz y Calpe, 2004). Más adelante se realiza un análisis comparativo de estos protocolos, para poder escoger el más indicado para la ejecución de este trabajo.

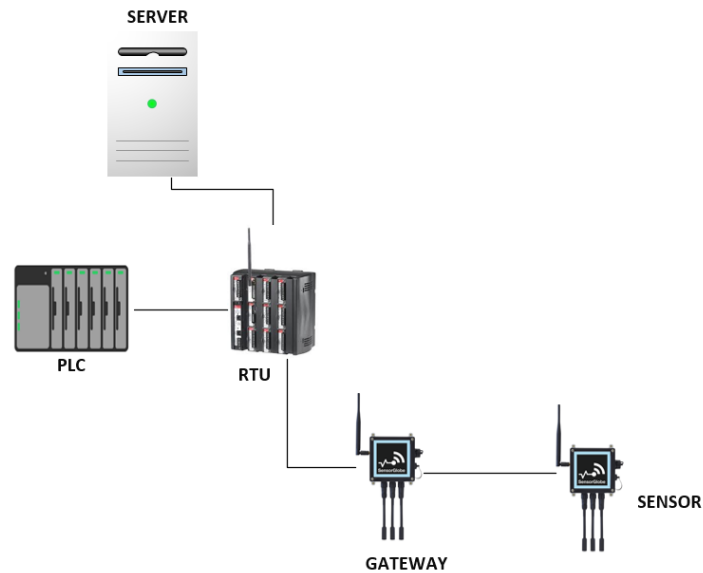


Figura 2. Ejemplo de una red de sensores para monitorización industrial

Fuente: El Autor

2.6. SISTEMAS DE RIEGO AUTOMATIZADOS

El riego tecnificado o la tecnificación de riego se refiere al aprovechamiento eficiente del agua, a partir de la aplicación de la tecnología en beneficio de la agricultura; se diseña para saber cuándo, cuánto y cómo regar, permitiendo la aplicación de agua, fertilizantes y nutrientes de forma segura en los cultivos (González, 2016).

Este sistema facilitara la irrigación mediante un sensor que monitorea el estado de humedad de la tierra, regando al objeto únicamente cuando necesite el agua; si el nivel de humedad es bajo, se enciende el sistema a través de electroválvulas, si por el contrario el nivel de humedad es alto, el sistema se apaga (Gonzáles, 2017).

Mediante la tecnificación de riego se pueden aplicar los recursos de forma localizada, continua, eficiente y de manera oportuna, asimismo, se adapta a cualquier tipo de suelo y a condiciones tipográficas diversas, lo cual además de ahorrar tiempo, ayuda a mejorar la economía ya que cumple con ciertas funciones como regar, fertilizar y controlar plagas, evitando el desarrollo de

maleza, la presencia de plagas y enfermedades, lo cual disminuye las pérdidas (Hydro environment, 2015).

En la india se utiliza sistema de riego por goteo automático en el que el riego tendrá lugar solo cuando haya requerimiento intenso de agua. Usos del sistema de riego válvulas solenoides para activar y desactivar el riego. Estas válvulas fácilmente automatizadas mediante el uso de controladores. La automatización del riego en granjas o viveros permite a los agricultores para aplicar la cantidad correcta de agua (Nandurkar, Thool v., Thool r 2014).

Asimismo, favorece el crecimiento y desarrollo de los cultivos, permitiendo alcanzar una eficiencia del 95 % en comparación a otros mecanismos de riego, ya que le aporta a los cultivos lo necesario, así como las condiciones óptimas para su producción con una frecuencia regular (Mamani, *et al.* 2017).

2.6.1. CASOS DE EJEMPLO DE AUTOMATIZACIÓN DE RIEGO

En la universidad católica de Santiago de Guayaquil fue implementado un sistema de riego automatizado para el cultivo de legumbres, el objetivo fue demostrar que se optimiza el uso del recurso hídrico con vías de riego, disminuyendo el impacto ambiental de este tipo de procesos en la industria. (Borja, 2018). En la Universidad Católica de San Pablo Arequipa – Perú, se implementó un Sistema de riego por goteo automático utilizando redes de sensores inalámbricos. Este se conforma de nodos terminales encargados de medir las condiciones ambientales del suelo haciendo uso de sensores de humedad, temperatura y conductividad eléctrica, nodos enrutadores actuando sobre las válvulas solenoides de riego, se establece una topología de comunicación tipo malla y de este modo encaminar las comunicaciones hasta un nodo coordinador; el cual envía los datos del campo hacia un servidor donde se instala un software de gestión y control predictivo que de acuerdo con los valores de las condiciones ambientales envía ordenes primero hacia un controlador que acciona la bomba principal y segundo hacia las válvulas solenoides utilizando la red de comunicaciones establecido por el nodo coordinador y los nodos enrutadores. Un sistema muy práctico que permite la

gestión y control de forma remota, mediante un dispositivo que esté conectado a Internet, incluso desde dispositivos móviles (López y Choez, 2016).

Otro trabajo reciente sobre redes de sensores aplicado a la agricultura es el realizado en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en la que se implementó un sistema de automatización para el control y monitoreo del sistema de riego por goteo parcial a campo abierto, con la utilización de sensores de temperatura, lluvia, humedad y rayos UV en conjunto con una interfaz gráfica para la fácil manipulación del usuario. Los autores realizaron las investigaciones necesarias para determinar el porcentaje ideal de humedad, información que se valoró en la parametrización del sistema para que cumpla con el suministro de agua requerido (Quiroz, 2017).

Un caso de estudio sobre redes de sensores inalámbricas es el que se aplicó en la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Cuenca donde realizaron el *“Diseño de una red de sensores inalámbricos para el monitoreo del tránsito vehicular y la contaminación CO2 dentro de un sector urbano”*. Cuyo objetivo es analizar el comportamiento vehicular a partir de los valores de concentración de CO2 y niveles de ruido, medidos en porcentaje por millón (ppm) y decibelios (dB) respectivamente. Valores tomados mediante una red de sensores inalámbrica montada en el sector Calle Larga y Hermano Miguel de la ciudad de Cuenca. La red se basa en el estándar Zigbee, compuesta por cuatro nodos sensores y un coordinador. El coordinador recibe los datos de forma inalámbrica, con una interfaz gráfica desarrollada en JAVA, muestra el comportamiento que describen las curvas de medición y almacena la información en un servidor web vinculado a MySQL, determinando las horas con mayor actividad vehicular (Bravo y Belduma, 2017).

Realizando un análisis de los casos de estudio citados, se puede observar que todos centran a la agricultura de precisión aplicando tecnologías para la automatización de riego, utilizando diferentes técnicas que involucran análisis de datos o inteligencia artificial. En la actualidad con el alcance de la tecnología, tanto el pequeño como el gran productor pueden aplicar sistemas de riego automático, considerando las ventajas que poseen, como la

disminución del consumo de agua, mayores ingresos y mayor disponibilidad de tiempo. Logrando obtener cosechas de calidad, con mayor rendimiento por planta, bajando los costos en mano de obra como en cuidados culturales.

CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

Este trabajo es de tipo Desarrollo Tecnológico y de Campo, ya que aquí se automatiza el proceso de riego y fertilización mediante el uso de sensores que miden la humedad del terreno, que sirven para el envío de información a un sistema central denominado Coordinador que activa las electroválvulas responsables de permitir el flujo de agua. Todo esto se realiza con la finalidad de desarrollar el sistema óptimo del proceso analizado. Esta investigación ha sido realizada en la provincia de Manabí, en el Campus Politécnico de la ESPAM MFL en el sitio El Limón, dentro de los predios de la institución.

3.1. MÉTODO

Para la consecución del objetivo específico planteado en este documento, se utilizará la metodología EDER, misma que proporciona procesos claros y pertinentes en la aplicación de proyectos de infraestructura tecnológica; las fases de esta metodología son: Estudio, diseño, ejecución y revisión. (Morales, *et al.* 2018), que son planteada en la sección correspondiente (Figura 3).



Figura 3. Esquema de la metodología EDER
Fuente: (Morales et al. 2018).

Paso para aplicar la metodología se siguió el siguiente procedimiento:

1. Estudio

La intención de esta investigación es realizar un prototipo funcional que permita la fertilización y riegos de las plantas. Para esto se escogió un área dentro de los predios universitarios, que permita la automatización para implementar el sistema de riego y fertilización automatizado.

Se indagó los requerimientos de riego de las plantas. También se obtuvo información de parte del técnico del huerto, en lo que respecta al proceso de la fertilización.

2. Diseño

En esta sección se realizó el esquema respectivo del sistema a implementar (ver figura 6, página 18). Los componentes y materiales necesarios para realizar adecuadamente el sistema de riego y fertilización se presentan en la página 16.

3. Ejecución

Se procedió a la adquisición de los componentes más adecuados para desarrollar el sistema. Se empezó con la configuración de los componentes con base a la necesidad planteada, y a los requisitos de funcionamiento. Se instalaron los componentes con base en el diseño preliminar realizado en la etapa anterior.

4. Revisión

Se realizaron pruebas del sistema, con valores simulados, para poder evaluar su operación de forma rápida. Se ejecutó una retroalimentación del sistema, para mejorar el funcionamiento del mismo. Se implementó el sistema en un área adecuando

3.2. SOFTWARE UTILIZADO

- Entorno de programación de Arduino: utilizado para la configuración del Arduino

- XCTU programa de configuración de los XBee: utilizado para la configuración del el XBee

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN


Los resultados obtenidos del trabajo de titulación, Automatización de riego y fertilización mediante una red inalámbrica de sensores en la ESPAM MFL, se presentan de acuerdo con la metodología propuesta y en concordancia con los objetivos planteados.






4.1. ESTUDIO

Para la selección del área de trabajo donde se implementó la propuesta, fue necesario inicialmente solicitar la autorización a las autoridades de la institución para que dieran la apertura en la implantación de la propuesta, que ésta cumpla con las condiciones necesarias para proporcionar el servicio de riego y fertilización, fue así como se definió como área de trabajo los jardines de la carrera de computación (Anexo 3). Además, fue necesario por parte del autor, la adquisición de equipos y materiales para este trabajo, ya que la institución no contaba con éstos.

En el mercado existen muchos dispositivos para la automatización. Varios de ellos (los que se pueden encontrar en el mercado local) se detallan en el Cuadro 1. Uno de ellos es el Raspberry PI que prácticamente es un computador en miniatura. Las placas de microcontrolador Arduino realizan tareas específicas, dentro de ellos se tiene Arduino uno, Arduino Leonardo, Arduino mega Arduino R3 entre otros. Dada la facilidad y el costo relativamente bajo de estos equipos se eligió el Arduino uno ya que cumple con las características suficientes para el proceso a realizar que en cierto caso es la automatización de riego.

Cuadro 1. Placas de microcontroladores disponibles en el mercado

Dispositivo	Características principales	Imagen de referencia
Placa Arduino Uno	Arduino Uno es una placa electrónica basada en el microcontrolador ATmega328. Cuenta con 14 entradas/salidas digitales, de las cuales 6 se pueden utilizar como salidas PWM (Modulación por ancho de pulsos) y otras 6 son entradas analógicas.	

Arduino Leonardo	Microcontrolador Tiene 20 pins digitales de entrada/salida, de los cuales 7 pueden ser usadas como salidas PWM y 12 como entradas analógicas. El puerto de comunicación USB es emulado, por tanto, ¡deja el puerto serial hardware libre para la programación! De esta forma ya no ocurren conflictos de programación mientras tenemos periféricos serial conectados a la placa.	
Arduino Yún	Yún posee 64MB de memoria RAM del tipo DDR2 y 16MB de memoria Flash. En la memoria flash viene instalada una distribución de Linux llamada OpenWrt-Yun, la cual ocupa 9 de los 16MB	
ATmega2560	Tiene 54 entradas/salidas digitales (de las cuales 15 pueden ser usadas como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs, un cristal de 16Mhz, conexión USB, jack para alimentación DC, conector ICSP, y un botón de reseteo.	
Raspberry Pi	Existen varias versiones. El Raspberry Pi 3 Modelo B+ tiene como características: CPU + GPU: Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 (ARMv8) 64-bit SoC @ 1.4GHz. RAM: 1GB LPDDR2 SDRAM. Wi-Fi + Bluetooth: 2.4GHz y 5GHz IEEE 802.11.b/g/n/ac, Bluetooth.	
STM32Fxx NUCLEO-64	Microcontrolador ARM Cortex -M4core a 80MHz. 512 Kbytes de memoria Flash 160 Kbytes SRAM. Dos tipos de extensión: Conectividad Arduino Uno V3 ST morpho extensión pin cabecera huellas para completo; acceso a todos los I/O STM32; embedded ST-LINK / V2-1 DEBUGER / PROGRAMADOR mbed-habilitado.	

Fuente: autor

Existen varias tecnologías para comunicación inalámbrica en WSN. Estas tecnologías se describen en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Trasmisores para WSN

Tecnología	Características	Ejemplos de implementación
ZigBee	Zigbee opera en dos bandas de frecuencia: 2.4 GHz con tasa máxima de transferencia de 250 Kbps, para este caso, modula en O-QPSK (Modulación con desplazamiento de fase en cuadratura con desplazamiento temporal).	<ul style="list-style-type: none"> • Nodo transmisor XBee • ZigBee3.0 Stak • ZigBee pro • Fast ZigBee
Bluetooth	La tecnología inalámbrica BLUETOOTH funciona en un rango de aproximadamente 10 metros. Lo habitual es establecer una conexión entre 2 dispositivos, pero algunos dispositivos pueden conectarse simultáneamente a varios dispositivos. Trabaja en la frecuencia de 2.4GHz.	<ul style="list-style-type: none"> • Audífono bluetooth • Parlante bluetooth • Gafas con cámara bluetooth
WiFi	Se utilizan la tecnología para conectar ordenadores entre sí, a Internet y a las redes cableadas (que utilizan IEEE 802,3 o Ethernet).	<ul style="list-style-type: none"> • Atenuador conectable con wifi • Tomacorriente conectable con wifi

Redes celular	telefonía celular es un medio de comunicación inalámbrico a través de ondas electromagnéticas. Como cliente de este tipo de redes, se utiliza un dispositivo denominado teléfono móvil o teléfono celular.	<ul style="list-style-type: none"> • Televisores • Cámaras • Manos libres
LoRa WAN	Alta tolerancia a las interferencias Alta sensibilidad para recibir datos (-168dB) basado en modulación "chirp" Bajo Consumo (hasta 10 años con una batería*) Largo alcance 10 a 20km Baja transferencia de datos (hasta 255 bytes) Conexión punto a punto. FrecuenciaS: 868 Mhz en Europa, 915 Mhz en América, y 433 Mhz en Asia	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoreo de vehículo • Controla la Estacio meteorológica

Fuente: autor

4.2. DISEÑO

El diseño realizado está enfocado en la optimización del agua y fertilizante, usando electroválvulas, que es el equivalente a llaves de paso controladas electrónicamente por la programación desarrollada para los Arduino. El esquema del sistema se puede ver en la Figura 4.

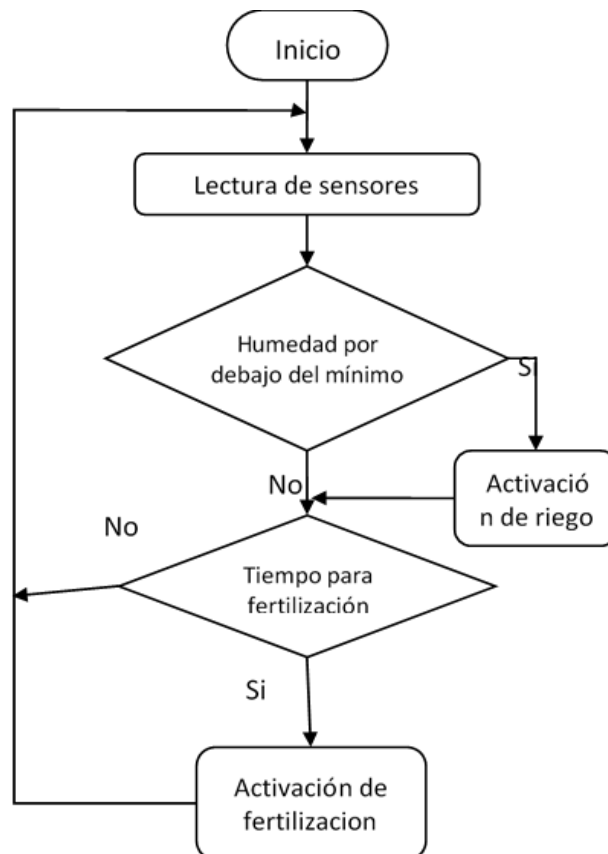


Figura 4. Diagrama de flujo del proceso de riego y fertilización

En la Figura 5 se muestra el proceso de riego y fertilización que se cumple en base a la necesidad programada con dichos componentes. El sistema de riego y fertilización está compuesto por el nodo coordinador y el nodo sensor. Para realizar el riego, el nodo sensor (nodo de humedad, mismo que sirve para medir los niveles de hidratación del suelo) envía señal al nodo coordinador, cuando el suelo esté en un nivel bajo se activa la electroválvula 1 y empieza el riego automatizado, hasta que el nodo sensor envíe la señal al nodo coordinador de que el suelo está en un buen nivel de hidratación. La fertilización se configura con base a la necesidad de la planta, para que funcione pasa el agua por la T de 1/2, luego llega a una llave manual, misma que se almacena en un tanque de plástico grande, para colocar el fertilizante se abre la llave de paso hasta que se llene el tanque y se cierra una vez que esté lleno. La electroválvula 2 se activa en base a la configuración que se aplique en el nodo coordinador y empieza la fertilización.

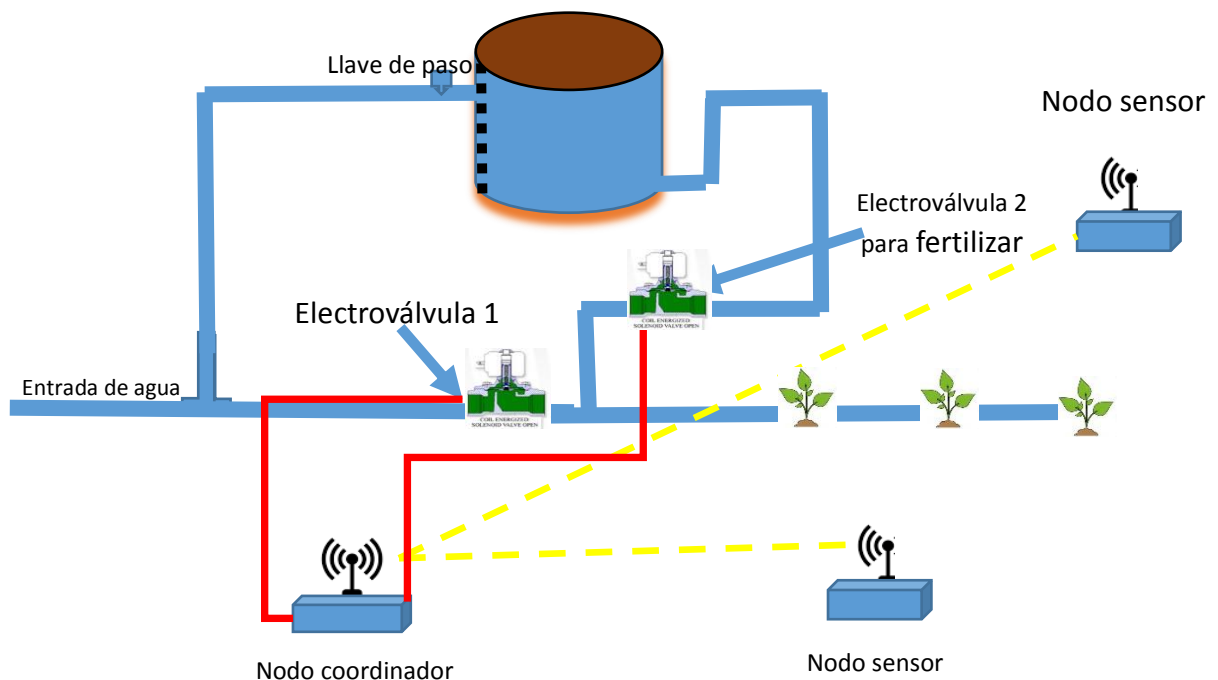




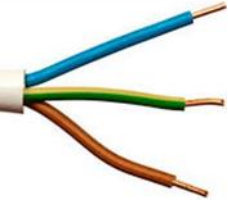



Figura 5. Diseño de funcionamiento del sistema automatizado

4.3. EJECUCIÓN

El proceso de ejecución e instalación del sistema fue necesario utilizar los dispositivos que se presentan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Componentes utilizados en el sistema de riego y fertilización

NOMBRE	FUNCIÓN	IMAGEN
Placa Arduino	Uno los principales componentes que sirven para automatizar sistemas.	
s nodos de comunicación XBee:	Son un medio inalámbrico para la interconexión y comunicación entre dispositivos. Utilizan el protocolo de red ZigBee (IEEE 802.15.4)	
Adaptador USB-XBee	Para programar el XBee.	
Cables USB	Alimentador de corriente de 5 voltios, que sirven también para cargar el código al Arduino.	
	Cables de tres colores para identificar las conexiones y tener la comunicación con los pines del Arduino y sensor.	
Sensor de humedad	Sirve para determinar el porcentaje de la humedad del suelo.	

Placa universal	Placa para montar pequeño circuito y unir los cables.	
Regleta	Regleta para la conexión eléctrica.	
Cargador	Cargadores de 12 voltios para alimentar el electro válvulas.	
Electroválvula	2 electroválvulas de 12 voltios que es por donde drena el agua una para regar y otra para fertilizar.	

Para continuar la realización de este sistema se programó las aperturas y cierre de las electroválvulas (Imagen 1), con base en señal que envía el sensor de humedad, que se explica más adelante esta codificación que tiene los sensores de humedad y la transmisión de sus datos se presenta en los Anexos 1A y 1B.

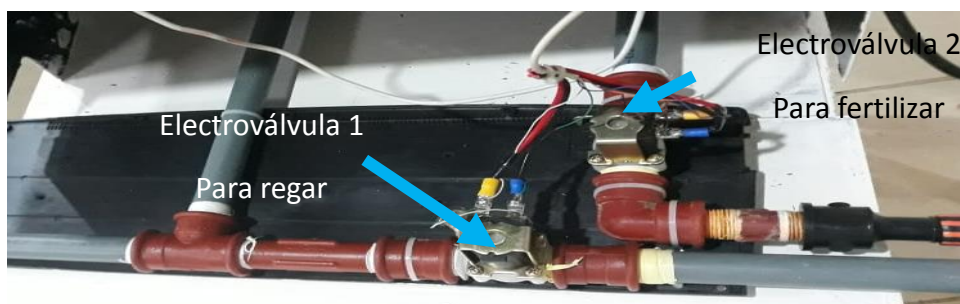


Imagen 1. Instalación de las electroválvulas

Continuando con el desarrollo del sistema planteado se procedió a comunicar las electroválvulas con los sensores de humedad, para esto es necesario que la comunicación entre los nodos basados en las placas Arduino, denominados nodo Sensor (Imagen 2), que reciben la señal de los sensores de humedad, se envíe, por medio de los dispositivos XBee, a otro nodo, denominado nodo Controlador, encargado del control de las electroválvulas, como se observa en la imagen correspondiente (Imagen 2).

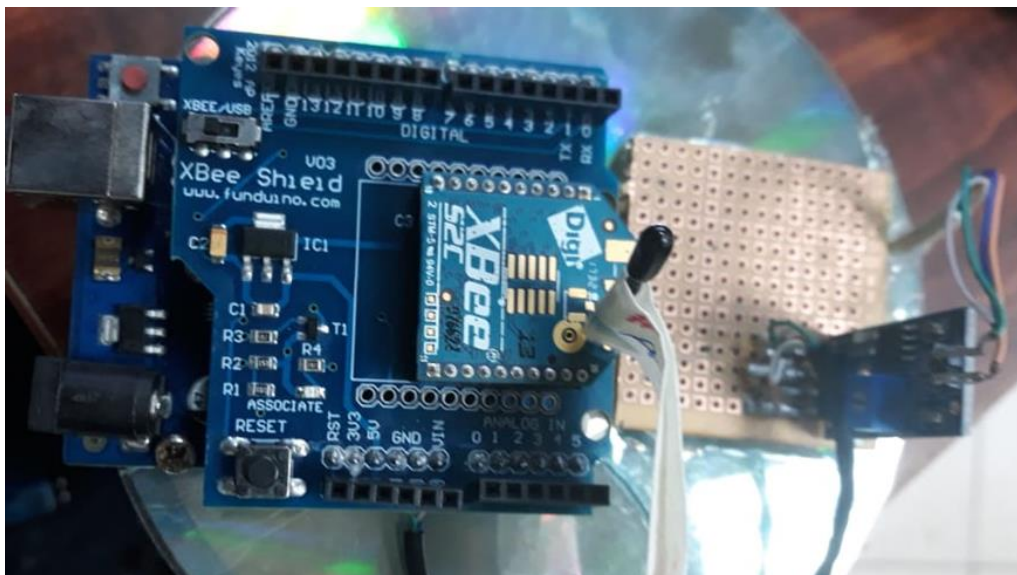


Imagen 2. Hardware del Nodo sensor

El nodo Sensor armado y operativo con alimentación eléctrica por medio de un panel solar, se muestra en la Imagen 3.

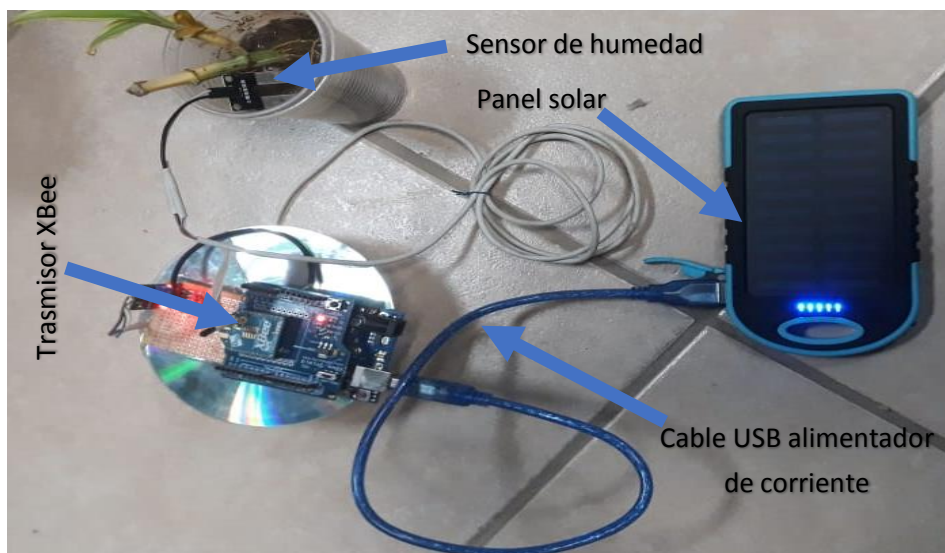


Imagen 3. Instalación del Nodo sensor

Una vez que se ha configurado e instalado estos componentes, se los puso en funcionamiento. Al estar en operación, los nodos sensor miden cada cierto tiempo la humedad del suelo, tiempo que para las pruebas fue cada 2 minutos, y envían los datos al nodo Controlador o Coordinador, que es el encargado de activar las electro-válvulas (Imagen 4). Para medir la humedad el sensor aplica una pequeña tención entre los terminales del módulo, generando una pequeña corriente que depende básicamente de la resistencia en el suelo y ésta

depende mucho de la humedad. Por lo tanto, al aumentar la humedad la corriente crece y al bajar la corriente disminuye, de tal manera que al conocer la corriente que se genera se identifica la humedad.

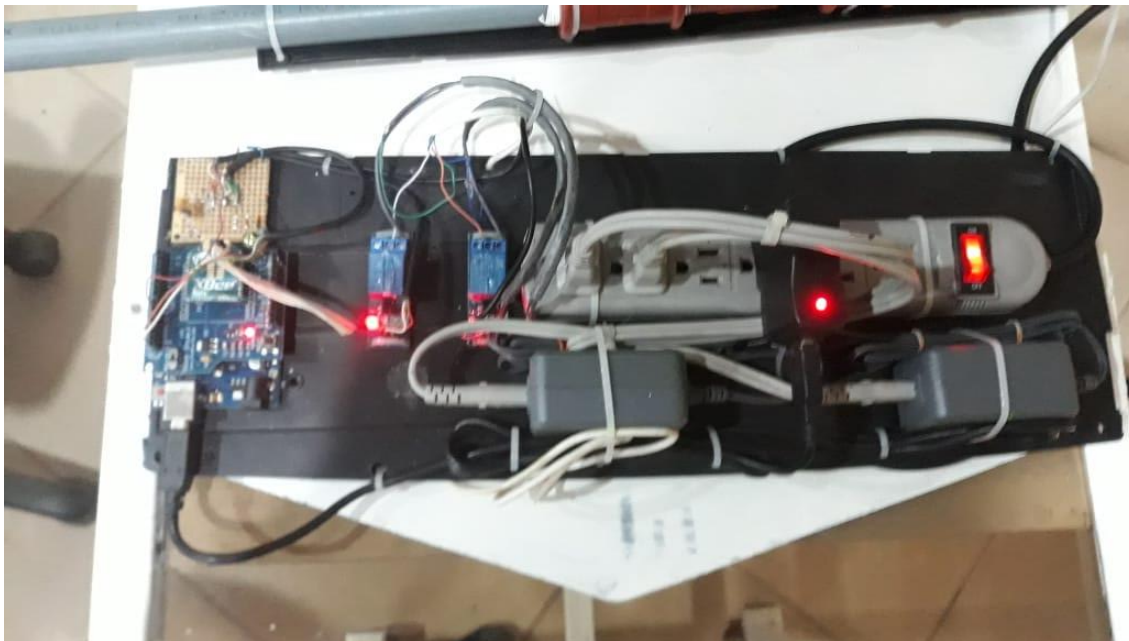


Imagen 4. Circuito nodo controlador

El nodo Controlador es donde recibe la señal que envían los nodos sensores, y envía la señal de apertura de la electroválvula de riego, esta se basa en la medición de humedad realizada por los nodos mediante los sensores. La electroválvula de fertilizante se configura para que automáticamente cada cierto tiempo de acuerdo a las necesidades del cultivo, es decir el proceso de riego con fertilizante se ejecute. Para las pruebas de activación de la electroválvula de fertilización se tomó un intervalo de tiempo de 10 minutos. Cabe indicar que estos tiempos fueron sólo para las pruebas funcionales, ya que los tiempos reales de trabajo del sistema implantado son otros.

Para la protección de la intemperie de los componentes correspondiente al sistema, fueron ubicados en un closet metálico como se presenta en la Imagen 5, allí se presenta la caceta de protección para el nodo controlador del sistema, que incluye las electroválvulas para el riego y la fertilización.



Imagen 5. Protección de nodo controlador

En la Imagen 6 se puede ver la caceta de protección del nodo sensor que protege los componentes, Cabe indicar que esta protección fue elaborada con materiales reutilizados.



Imagen 6. Protector de nodo sensor

4.4. REVISIÓN

Las imágenes de funcionamiento del sistema en el campo se presentan en los Anexos 3 y 4. Es de indicar que los cambios que se realizaron a los tiempos de fertilización, que se cambió de 22 días (tiempo real) a 10 minutos, para evaluar su funcionamiento en un periodo corto de tiempo: mientras que los sensores de

humedad se ingresaron en un recipiente con tierra humedecida a un nivel alto de agua, y posteriormente con tierra con un nivel bajo de humedad para observar la activación de la electro válvula respectiva.

Las horas de trabajo que brinda la batería del panel solar se calcula mediante la fórmula [1], donde t es el tiempo de duración de la carga, Cap_B es la capacidad de la batería en mAh, e I_{nodo} es el consumo normal del nodo sensor.

$$t = \frac{Cap_B}{I_{nodo}} \quad [1]$$

Dado que la capacidad de la batería cargada es de 5000mAh y el consumo del nodo sensor activado es de 85.4mA, al aplicar la fórmula se obtiene una duración estimada: 58.4 horas de trabajo, en el caso que la batería no pudiera recargarse. Sin embargo, para optimizar el funcionamiento del sistema, y alargar la vida de la batería, el nodo sensor se envía a dormir mientras no trabaja, es decir mientras espera el siguiente ciclo de medición. El valor I_{nodo} bajo estas condiciones es 46mA, con lo cual el cálculo del tiempo quedaría con lo que se consigue una duración estimada de 108.70h sin recargarse. Mayor parte del consumo del nodo viene del transmisor, como este es un elemento adicional al Arduino, hacerlo dormir requiere otro tipo de programación. Sin el transmisor XBee el consumo se reduce prácticamente a la mitad.

Los nodos sensores pueden a conectarse hasta 1.5km de distancia con el nodo coordinador, pero las pruebas se realizaron a una distancia de 100 metros.

Existen muchos proyectos realizados relacionados a riego automatizado utilizando sensores. En el trabajo de López y Choez (2016), se utilizó un nodo enrutador con alimentación fotovoltaica mediante un panel solar de 12V DC, para almacenar energía, y encender el nodo sensor. En el presente trabajo se ha hecho lo mismo, pero calculando la duración de la batería para el peor caso, es decir si no hubiera luz solar.

Quiroz (2017), en su trabajo de sistema automatizado de riego por goteo parcial, también alimentaron al nodo sensor por medio de un panel solar que permite autonomía en cuanto el funcionamiento, que permite la carga de una fuente tipo buck lm2596s que regula y alimenta con 5v al Arduino pro-mini, que es el encargado de la conexión de los sensores.

Sin embargo, a pesar de las similitudes con estos trabajos o de las mejoras que puedan presentar, ninguno considera la automatización de la fertilización. Al automatizar la fertilización, se reduce el tiempo que normalmente el personal dedica a estas labores, con lo que se consigue optimizar el trabajo que realiza dicho personal.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

A continuación, las conclusiones de este trabajo:

- Se analizaron los equipos que existen en el mercado eligiendo los microcontroladores Arduino y los transmisores Xbee, dados su disponibilidad y prestaciones.
- Se diseñó y se realizó el sistema de riego automatizado en función de las necesidades analizadas, resultando un sistema adecuado a lo esperado, como se observa en el capítulo 4 y en anexos.
- Se realizó la instalación de todos los equipos como se presenta en el capítulo 4, adicionalmente se creó equipos de protección para el sistema desarrollado que permita su traslado fácilmente
- Se realizó la verificación de la automatización, operando tal como se había planificado en el desarrollo, para ello se tomaron imágenes mostradas en el anexo respectivo (Anexo 3 y 4), definiendo como área de prueba los jardines de la carrera de computación (para riego y fertilización) evidenciando que, en el proceso de fertilización, existía el cambio de coloración del agua, de acuerdo con los parámetros configurados y el tiempo establecido.

5.2. RECOMENDACIONES

Entre las recomendaciones que se pueden indicar están:

- Que se haga un trabajo similar con otro tipo de componente electrónico, como por ejemplo las placas STM32 Núcleo 64, que permiten una fácil expansión de la funcionalidad de tal manera que se generen datos que un computador pueda almacenar para futuro análisis.
- Se recomiende que en próximo estudio adicionalmente a los sensores de humedad se coloque sensor de temperatura de tal manera que se

tomen más datos para mejorar las decisiones en cuanto al sistema de riego.

- En el momento de implementar los componentes del sistema de riego y fertilización, se debe considerar la seguridad, ya que, al ser dispositivos fáciles de desarmar y transportar, pueden estar sujetos a sustracción.
- También es recomendable realizar la verificación de los equipos en grandes extensiones de terreno con el fin de observar la característica en cuanto a distancia de envío de la señal.
- El llenado de tanque de fertilización también puede configurarse por medio de un electroválvula, de tal manera que no sea necesario que este siempre lleno sino solamente un periodo de tiempo anterior a la fertilización.

BIBLIOGRAFÍA

- Bolzan, H. E., Spatola, J., & Chiera, A. (2010). Prevalencia del proceso de riego por aspersión.
- Bongiovanni, R., Chartuni Mantovani, E., Best, S., y Roel, Á. (2006). Agricultura de Presición: Integando Conocimientos para una Agricultura Moderna y Sustentable. Editorial PROCISUR. Uruguay. Recuperado de: <http://www.procisur.org.uy/adjuntos/135050.pdf>
- Borja, G. (2018). "Diseño de un sistema de riego automatizado para el cultivo de legumbres en un huerto ubicado en el campus de la UCSG" (Tesis de Grado), Universidad Católica De Santiago De Guayaquil. (Consultado el 05/09/2018) Recuperado de: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/>
- Bravo, B. A., y Belduma, L., (2017). "Diseño de una red de sensores inalámbricos para el monitoreo del tránsito vehicular y la contaminación CO2 dentro de un sector urbano". Cuenca (Tesis de Grado) Universidad Politécnica Salesiana. (Consultado el 15/09/2018) Recuperado de: <https://dspace.ups.edu.ec/>
- Burbano, C. (2017). Implementación de una Red de Sensores Inalámbricos LPWAN Mediante Módulos LoRa para el Monitoreo de la Calidad del Agua en 2 Ríos. (Tesis de Grado) Universidad Distrital Francisco José De Caldas, Bogotá (Consultado el 31/08/2018). Recuperado de: <http://repository.udistrital.edu.co/>
- Capella J., (2010) Redes inalámbricas de sensores: Una nueva arquitectura eficiente y robusta basada en jerarquía dinámica de grupos. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica De Valencia, España (Consultado el 30/08/2018). Recuperado de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/8417/tesisUPV3326.pdf>.
- Coates, R.W.; Delwiche, M.J. (2006) Solar-Powered, Wirelessly-Networked Valves for Site-Specific Irrigation. ASABE Annual International Meeting. Paper, pp. 062165.
- Dursun, M.; Ozden. S. (2011). Application of Solar Powered Automatic Water Pumping in Turkey. International Conference on Electrical Energy and Networks (ICEEN), pp. 52-57. (IEEE Catalog Number: CFP1155M-PRT).
- Franco, P. & Rodríguez, M. (2016). Formulación de líneas estratégicas para un proyecto participativo de conservación de un ojo de agua de la parroquia el condado, barrio colinas del norte, sector el manantial y sector rancho bajo. Trabajo de fin de Máster. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito.

- García Holgado, A. (2013). Análisis de integración de soluciones basadas en software como servicio para la implantación de ecosistemas tecnológicos corporativos. Trabajo de fin de Máster. Universidad de Salamanca, España. (Consultado el 30/08/2018) Recuperado de: https://www.researchgate.net/profile/Alicia_Garcia-Holgado/publication/257944390_Analisis_de_integracion_de_soluciones_basadas_en_software_como_servicio_para_la_implantacion_de_ecosistemas_tecnologicos_corporativos/links/00b495266b09f4e2bb000000.pdf
- González Rodríguez, E. E. (2016). Informalidad del agricultor arrocero y los incentivos del gobierno para el cantón Daule 2013-2015. Tesis de Maestría. Universidad de Guayaquil Facultad de Ciencias Económicas.
- González, M. Z. (2017). Sistema de riego automatizado. Revista Iberoamericana de Producción Académica y Gestión Educativa, 4(8).
- Hydro Enviroments. (2015). Tipo de fertilizantes y sus aplicaciones. En línea (formato HTML) consultado 10 de Julio.
- IEC. (2014). Internet of Things: Wireless Sensor Networks. International Electrotechnical Commission (IEC). ISBN 978-2-8322-1834-1.
- Kim Y, Evans RG (2009). Software design for wireless sensor-based site-specific irrigation. *Comput. Electron. Agric.*, 66: 159-165.
- López, E. M., y Choez, J. L. (2016). Sistema de riego por goteo automático utilizando una red de sensores inalámbricos. *Revista de Investigación (Arequipa)*, 7, 69–92. Rescatado de <http://ucsp.edu.pe/investigacion/wp-content/uploads/2017/01/4.-Sistema-de-riego-por-goteo-automatico.pdf>
- Mamani, Apaza; Fray, Darwin; La Torre Javier, Irvin Jhons. (2017) Diseño e implementación de un sistema automatizado para riego tecnificado basado en el balance de humedad de suelo con tecnología Arduino en el laboratorio de control y automatización EPIME 2016. Tesis de Grado. Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú. (Consultado el 31/08/2018). Recuperado de: <http://repositorio.unap.edu.pe/>
- Martínez, R. M. (2018). Redes de sensores con aplicación agrícola. (Consultado 30/08/2018). En línea formato pdf. Recuperado de: <http://www3.ucol.mx/telematica/REMICI/documentos/Miguel-Martinez.pdf>
- Miranda FR, Yoder RE, Wilkerson JB, Odhiamboc LO (2005). An autonomous controller for site-specific management of fixed irrigation systems. *Comput. Electron. Agric.*, 48:183-197.
- Morales, J. J., Cedeño, L. C., Parraga, Alava, J. A., y Molina, B. A. (2018). Propuesta Metodológica para Proyectos de Infraestructura Tecnológica en Trabajos de Titulación. *Información tecnológica*, 29(4), 249-258.

- Nandurkar, S. R., Thool, V. R., & Thool, R. C. (2014, February). Design and development of precision agriculture system using wireless sensor network. In 2014 First International Conference on Automation, Control, Energy and Systems (ACES) (pp. 1-6). IEEE.
- Navarro, M., Vila, J., Muñoz, J., & Maravilla, J. C. (2004). ZigBee. Nuevo estándar de tecnología inalámbrica. *Mundo electrónico*, (359), 48-53.
- Ochoa , V. D. R., Ramírez, C. L., del Rosario Baltazar-Flores, M., Araiza, M. Á. C., Rodríguez, V. M. Z., Cervera, S. J. L., & Zamora, G. E. M. (2016). Propuesta de un sistema para optimizar el riego en invernaderos de plantas heterogéneas usando WNS y algoritmos evolutivos. *Research in Computing Science*, 113, 131-145.
- Pérez, J. P. (2014). Uso de los fertilizantes y su impacto en la producción agrícola. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia. Departamento Biociencias, Facultad de Ciencia, Tunja, Colombia. (Consultado el 12/10/2018), Rescatado de: <http://www.bdigital.unal.edu.co/39459/1/71782231.2014.pdf>
- Quevedo Herrero, I.; Rodríguez López, Y.; Hernández Alfonso, P. M., y Freire Roach, E. (2006). La aplicación de la Agricultura de Precisión: su impacto social. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* , 15(3), 42–45.
- Quiroz, A. (2017). Implementación de un sistema automatizado de riego por goteo parcial, a campo abierto en el Centro Experimental del Riego de la Facultad de Recursos Naturales (Tesis de grado), Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. (Consultado el 05/09/2018). Recuperado de: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/7620/1/108T0209.pdf>
- SENPLADES (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo) (2017). Plan Nacional de Desarrollo. Quito (EC)
- Sezen, S.M.; Celikel, G.; Yazar, A.; Tekin, S.; Kapur, B. (2010). Effect of irrigation management on yield and quality of tomatoes grown in different soilless media in a glasshouse. *Sci. Res. Essay*, 5(1): 41-48.
- Urbano, F. A. (2013). Redes de Sensores Inalámbricos Aplicadas a Optimización en Agricultura de Precisión para Cultivos de Café en Colombia. *Journal de Ciencia e Ingeniería*, 5(1), 46–52. Recuperado de: <http://jci.uniautonoma.edu.co/2013/2013-8.pdf>
- Velasco, L. D. J., Sánchez, Z. M. C., Martínez, E. Y. S., & Fonseca, B. D. (2017). Optimización de riego mediante el uso de energía Solar. *Lacandonia*, 11(1), 81-84.

ANEXOS

ANEXO 1A. CÓDIGO FUENTE NODO CORDINADOR

Código de nodo controlador

```
int valor_limite1= 40;
int valor_limite2= 60;
int valor_fertiliza=504;
int temp,temp2;
int lecturaA, lecturaB, medicion;
byte A, B, count;
int segundos;
float hora;
void setup() {
  Serial.begin(19200);
  pinMode(13,OUTPUT); //riego
  pinMode(8, OUTPUT); //fertilizacion
  A = 0; B = 0;
  medicion = 0;
  segundos = 0;
}
void loop() {
  if (Serial.available()){
    temp = Serial.read();
    temp2 = Serial.read();
    if (temp == 101){
      A = 1;
      Serial.print("A,"); Serial.println(temp2);
      lecturaA = temp2;
    }
    else if (temp == 102){
      B = 1;
      Serial.print("B,"); Serial.println(temp2);
```

```

    lecturaB = temp2;
}
if (A == 1 && B == 1){
    medicion = (lecturaA+lecturaB)/2;
    Serial.print("Med:"); Serial.println(medicion);
    if(medicion < valor_limite1){
        digitalWrite(13,HIGH);
        delay(20000); //Valor de prueba, el real equivale a una hora
        segundos = segundos+20; //CAMBIAR LUEGO A hora=hora+1
        digitalWrite(13,LOW);
    }else if(medicion < valor_limite2){
        digitalWrite(13,HIGH);
        delay(20000); // Valor de prueba, el real equivale a media hora
        segundos = segundos+10; //CAMBIAR LUEGO A hora=hora+0.5
        digitalWrite(13,LOW);
    }
    A=0; B=0;
}
}
count=0;
if (segundos>600){ //Valor de prueba (cambiar a hora>=valor_fertiliza)
    digitalWrite(8,HIGH);
    Serial.println("fertilizar");
    delay(15000); // Valor de prueba, el real equivale a 5 minutos
    digitalWrite(8,LOW);
    segundos=0; //cambiar a hora = 0;
}
delay (100);
segundos = segundos+1;
if (segundos>=3600){
    hora = hora + 1;
    segundos = 10;
}
}

```

ANEXO 1B CÓDIGO DE NODO SENSOR

```
#include <LowPower.h>
int lectura;
byte direccion=101;

void sleep(int sec) {
  while (sec >= 8) {
    LowPower.powerDown(SLEEP_8S, ADC_OFF, BOD_OFF);
    sec -= 8; }
  if (sec >= 4) {
    LowPower.powerDown(SLEEP_4S, ADC_OFF, BOD_OFF);
    sec -= 4; }
  while (sec > 0) {
    LowPower.powerDown(SLEEP_2S, ADC_OFF, BOD_OFF);
    sec -= 2; }
  delay(10);
}

void setup() {
  Serial.begin(19200);
}

void loop() {
  lectura = analogRead(A0);
  lectura = map(lectura,0,1023,100,1);
  Serial.write(direccion);
  Serial.write(lectura);
  sleep(21600);
  sleep(21600);
}
```

ANEXO 2. FOTOGRAFÍAS DE PRUEBAS EN FRÍO DEL SISTEMA



Foto1: Ubicación de los nodos sensores en el campo



Foto2: conectando el agua y la corriente a nodo controlador



Foto 3: Prueba en ejecución

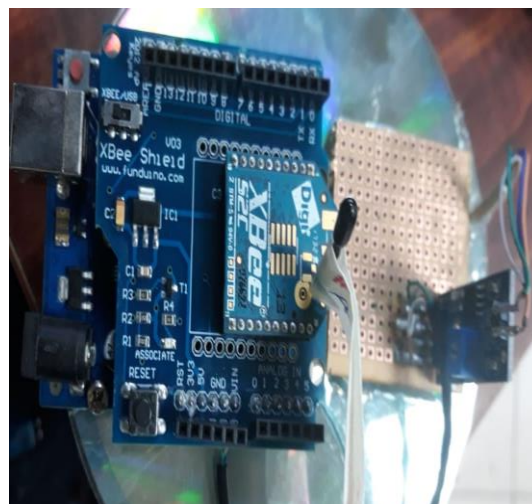


Foto 4: Nodo sensor en operación

ANEXO 3. FOTOGRAFÍAS DE PRUEBAS EN CALIENTE DEL SISTEMA

Foto 1 conectando la manguera



Foto 2 encendiendo la regleta para la corriente



Foto 3 sistema en funcionamiento