



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y  
AUTOMATISMO

TEMA:

**Diseño de un sistema de riego automatizado para el cultivo de legumbres en un  
huerto ubicado en el campus de la UCSG**

AUTOR:

Borja Hualoto, Geovanny Francisco

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de

**INGENIERO ELECTRÓNICO EN CONTROL Y AUTOMATISMO**

TUTOR:

Ing. Vega Ureta, Nino Tello

Guayaquil, Ecuador

12 de marzo, 2018



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y  
AUTOMATISMO

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr. **Borja Hualoto, Geovanny Francisco** como requerimiento para la obtención del título de **INGENIERO ELECTRÓNICO EN CONTROL Y AUTOMATISMO**.

TUTOR

---

Ing. Vega Ureta Nino Tello

DIRECTOR DE CARRERA

---

Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, a los 12 días del mes de marzo del año 2018



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y  
AUTOMATISMO

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **Borja Hualoto, Geovanny Francisco**

**DECLARO QUE:**

El trabajo de titulación “**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO AUTOMATIZADO PARA EL CULTIVO DE LEGUMBRES EN UN HUERTO UBICADO EN EL CAMPUS DE LA UCSG**”, previo a la obtención del Título de **Ingeniero Electrónico en Control y Automatismo**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de nuestra total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 12 días del mes de marzo del año 2018

EL AUTOR

---

Borja Hualoto, Geovanny Francisco



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y  
AUTOMATISMO

**AUTORIZACIÓN**

**Yo, Borja Hualoto, Geovanny Francisco**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: “**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO AUTOMATIZADO PARA EL CULTIVO DE LEGUMBRES EN UN HUERTO UBICADO EN EL CAMPUS DE LA UCSG**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 12 días del mes de marzo del año 2018

EL AUTOR

---

Borja Hualoto, Geovanny Francisco

# REPORTE DE URKUND

**TITULO:** Diseño de un sistema de riego automatizado para el cultivo de legumbres en un huerto ubicado en el campus de la UCSG.

**AUTOR:** Geovanny Francisco Borja Hualoto

The screenshot displays the URKUND software interface. At the top, the document title is 'geovannyborja\_tesis\_final.docx (D36016319)'. Below this, it shows the date presented (2018-02-28 18:50), the sender (orlandophilco7@gmail.com), and the recipient (orlando.philco.ucsg@analysis.urkund.com). A message summary indicates that 2% of the 44 pages are composed of text from 6 sources. On the right, a 'Lista de fuentes' (List of sources) panel shows several URLs, with a 65% match rate for the first source. The main text area shows a 76% match with an external source from simarbc.gob.mx, with a 76% match rate for that specific source. The text in the main area discusses the calculation of ETP (Evapotranspiration of the crop) based on Kc (crop coefficient) and ETR (reference evapotranspiration).

Reporte Urkund de Trabajo de Titulación denominado: **Diseño de un sistema de riego automatizado para el cultivo de legumbres en un huerto ubicado en el campus de la UCSG**, del estudiante Geovanny Francisco Borja Hualoto al 2% de coincidencias con otros documentos encontrados en internet.

Atentamente,

---

Ing. Philco Asqui, Luis Orlando

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero agradecer de manera muy especial a mis padres, ya que ellos son los pilares más grandes de mi vida, y sin su apoyo y consejos, este trabajo no hubiera sido el mismo. A mi padre, Juan Francisco Borja Tinajero, por enseñarme que el camino de la vida no es fácil y los espejos que tengo alrededor son una constante fuente de aprendizaje para tomar mejores decisiones. A mi madre, Cecilia María Hualoto Batallas, por ser mi inspiración para ser una mejor persona cada día, y por enseñarme que a pesar de los obstáculos que se presenten, la perseverancia es clave para conseguir lo que uno se propone.

A mi familia por el apoyo incondicional en cada paso que he dado a nivel personal y profesional, y que siguen motivando hacia instancias profesionales y académicas mayores.

A mis compañeros de clase, por ser parte esencial de mi vida universitaria, y por enseñarme que el compañerismo y la amistad puede perdura a pesar de las diferencias que se tengan. A Pablo Gustavo Fuentes Espinoza y Joseph Adrián Peñafiel Caicedo, por ser mis guías cuando algo no ha sido claro, y por la paciencia que han tenido a pesar de mis constantes fallas.

Al Movimiento Político Resistencia, por permitirme representar a los estudiantes de mi facultad, darme un período de aprendizaje con sus altas y bajas y mucho más importante, reafirmar que mi vocación de servicio no concluye en la universidad.

A los docentes de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo, porque de alguna u otra forma, con sus fallas y aciertos, me han enseñado que no todo en la vida profesional que me espera, se lo aprende dentro de un aula de clases o en un libro.

Geovanny Francisco Borja Hualoto



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y  
AUTOMATISMO

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

---

**ROMERO PAZ, MANUEL DE JESÚS**  
DECANO

---

**MENDOZA MERCHÁN, EDUARDO VICENTE**  
COORDINADOR DE TITULACIÓN

---

**QUEZADA CALLE, EDGAR RAUL**  
OPONENTE

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIV
RESUMEN.....	XV
ABSTRACT.....	XVI
INTRODUCCIÓN .....	2
<b>CAPÍTULO 1: ASPECTOS GENERALES .....</b>	<b>4</b>
1.1. Planteamiento del problema.....	4
1.2. Justificación .....	5
1.3. Delimitación.....	5
1.4. Objetivos .....	6
1.4.1. Objetivo General .....	6
1.4.2. Objetivos Específicos .....	6
1.5. Hipótesis.....	6
1.6. Metodología de Investigación.....	6
<b>CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>9</b>
2.1. Sistemas Domóticos.....	9
2.1.1 Definición .....	9
2.1.2 Aplicaciones de Sistemas Domóticos en Agricultura.....	9
2.2. Sistemas de Riego .....	10
2.2.1 Riego con Aspersores .....	10
2.2.2. Riego con Difusores.....	10
2.2.3. Riego Subterráneo.....	10
2.2.4. Riego por Cintas de Exudación.....	10
2.2.5. Riego por Microaspersores.....	11
2.2.6. Riego con Manguera .....	11
2.3. Sistema de Riego por Goteo .....	11
2.4. Conceptos Generales de Hidráulica .....	12
2.4.1 Caudal .....	12
2.4.2 Presión de Fluido.....	13
2.4.3 Velocidad.....	13
2.4.4 Número de Reynolds .....	13
2.5. Sistema de Tuberías .....	16
2.5.1 Ecuación de Bernoulli.....	16
2.5.2 Ecuación de Darcy-Weisbach .....	18
2.5.3 Pérdidas.....	19



2.5.4 Carga dinámica .....	19
2.6. Sistema Agua – Planta .....	20
2.6.1. Potencial hídrico.....	21
2.7. Control automático de riego.....	23
2.8. Diseño de un Sistema de Riego por Goteo .....	23
2.9. Descripción de elementos utilizados en el riego.....	25
2.9.1 Emisores .....	25
2.9.1.1 Tipos de emisores .....	25
2.9.1.2 Goteros .....	25
2.9.2 Condiciones para efectuar el riego por goteo .....	26
2.9.3 Características del riego por goteo .....	27
2.10 Evapotranspiración.....	27
2.10.1 Uso consuntivo o evapotranspiración.....	28
2.10.2 Evapotranspiración Potencial y Real .....	29
2.10.3. Evapotranspiración de Referencia .....	30
2.11 Sistema Agronómico .....	30
2.12 Demanda de Agua del Cultivo .....	31
2.12.1 Aprovechamiento del agua presente en el Suelo .....	31
2.12.2 Coeficiente de Cultivo Kc .....	32
2.12.3 Demanda neta del Cultivo .....	33
2.12.4 Demanda bruta del cultivo .....	34
2.12.5 Riego diario del cultivo .....	34
2.12.6 Condiciones para cultivo de lechuga. ....	34
<b>CAPÍTULO 3: DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO .....</b>	<b>36</b>
3.1 Diseño de la maqueta a escala .....	36
3.2 Diseño general del sistema de riego .....	37
3.2.1 Funcionamiento de sensores y actuadores en el sistema de riego.....	38
3.3 Diseño del circuito de control y de fuerza .....	41
3.4 Diseño del circuito electrónico .....	42
3.5 Diseño de programación en la plataforma ARDUINO .....	44
3.5.1 Librería Wire.h .....	45
3.5.2 Librería LiquidCrystal.h.....	45
3.5.3 Librería DHT.h .....	45
3.5.4 Librería NewPing.h.....	46
3.6 Selección de materiales .....	47
3.6.1 ARDUINO UNO .....	48

3.6.2 Pantalla LCD 16 x 2 .....	49
3.6.3 Adaptador de pantalla I2C PCF8574.....	50
3.6.4 Sensor ultrasónico HCSR04.....	50
3.6.5 Sensor de temperatura DHT11.....	51
3.6.6 Sensor de humedad FC28.....	52
3.6.7 Bomba de agua JOVTOP JT-160 .....	52
3.6.8 Ventilador .....	54
3.6.9 Relé .....	54
3.6.10 Buzzer piezoeléctrico .....	55
3.6.11 Potenciómetro.....	56
3.6.12 Diodo 1N4148.....	56
3.6.13 Circuito Integrado 555.....	57
3.6.14 Capacitores .....	57
3.6.15 Módulo de reloj DS1307 .....	58
3.6.16 Presupuesto del proyecto.....	58
<b>CAPITULO 4: PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA.....</b>	<b>60</b>
4.1 Pruebas mecánicas del sistema.....	60
4.2 Pruebas del sistema de alimentación .....	61
4.3 Pruebas con sensores .....	63
4.4 Pruebas con actuadores .....	65
4.5 Pruebas de programación.....	67
4.6 Prueba del sistema completo .....	67
<b>CAPITULO 5: RESULTADOS EL SISTEMA DE RIEGO .....</b>	<b>69</b>
5.1 Resultados de los elementos mecánicos .....	69
5.2 Resultados de los actuadores.....	69
5.3 Resultado de los sensores.....	70
5.4 Metodología aplicada .....	71
5.5 Solución del problema.....	72
5.6 Propuesta de sistema de riego para la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo a partir de los resultados obtenidos. ....	72
5.6.1 Cálculos importantes para el sistema de riego propuesto .....	73
5.6.2 Materiales y presupuesto .....	75
<b>CAPITULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>77</b>
6.1 Conclusiones .....	77
6.2 Recomendaciones .....	77
6.3 Futuros proyectos relacionados a sistemas de riego .....	78
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>79</b>

<b>ANEXOS .....</b>	<b>85</b>
<b>ANEXO A – CODIGO FUENTE PARA HUERTO 1 .....</b>	<b>85</b>
<b>ANEXO B – CODIGO FUENTE PARA HUERTO 2 .....</b>	<b>87</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPITULO 2

Figura 2. 1 Sistema de enlace domótico. ....	9
Figura 2. 2 Riego por goteo.....	11
Figura 2. 3 Dibujo del experimento de Reynolds. ....	14
Figura 2. 4 Distribución por sectores del uso consuntivo del agua en Ecuador.....	29
Figura 2. 5 Curva del coeficiente de cultivo KC.....	33

### CAPITULO 3

Figura 3. 1 Propuesta de parcela para cultivo hecho en AUTOCAD. ....	37
Figura 3. 2 Diagrama de flujo para el funcionamiento del sistema de enfriamiento. ....	39
Figura 3. 3 Diagrama de flujo para el sistema de riego. ....	40
Figura 3. 4 Diagrama de flujo del sistema de alerta.....	41
Figura 3. 5 Diseño del circuito de potencia y de control. ....	42
Figura 3. 6 Conexión de elementos electrónicos para el huerto 1. ....	43
Figura 3. 7 Conexión de los elementos electrónicos para el huerto 2.....	44
Figura 3. 8 Arduino UNO. ....	49
Figura 3. 9 Pantalla LCD 16c2.....	49
Figura 3. 10 Adaptador de pantalla I2C.....	50
Figura 3. 11 Sensor ultrasónico HCSR04. ....	51
Figura 3. 12 Sensor de temperatura DHT11. ....	51
Figura 3. 13 Sensor de humedad o higrómetro. ....	52
Figura 3. 14 Bomba de agua JOVTOP. ....	53
Figura 3. 15 Ventilador de 12v. ....	54
Figura 3. 16 Modulo de relés. ....	55
Figura 3. 17 Zumbador o Buzzer piezoeléctrico.....	55
Figura 3. 18 Potenciómetro500K.....	56
Figura 3. 19 Diodo 1N4148. ....	56
Figura 3. 20 Temporizador IC555.....	57
Figura 3. 21 Capacitor cerámico. ....	57
Figura 3. 22 Modulo RTC para ARDUINO. ....	58

## **CAPITULO 4**

Figura 4. 1 Vista frontal y lateral de la maqueta. ....	60
Figura 4. 2 Distribución de elementos del sistema de riego. ....	61
Figura 4. 3 Prueba de sistemas de alimentación y alerta. ....	62
Figura 4. 4 Pruebas con sensores y actuadores. ....	63
Figura 4. 5 Pruebas de sensores con actuadores en la maqueta. ....	65
Figura 4. 6 Ventiladores para sistema de enfriamiento.....	66

## **CAPITULO 5**

Figura 5. 1 HMI del sistema de riego.....	70
Figura 5. 2 Sistema de riego de la maqueta en respuesta al sensor FC-28. ....	71
Figura 5. 3 Huerto de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo.....	73

## ÍNDICE DE TABLAS

### **CAPITULO 2**

Tabla 2. 1 Disponibilidad de agua por diferentes tipos de suelo. ....	31
Tabla 2. 2 Requisitos de espacio para lechuga.....	35

### **CAPITULO 3**

Tabla 3. 1 Costo total del sistema de riego para la maqueta propuesta. ....	59
---	----

### **CAPITULO 5**

Tabla 5. 1 Materiales y costos del sistema propuesto para un huerto de la FETD. ...	76
---	----

## **RESUMEN**

Los sistemas de riego agrícolas tienen métodos anticuados que pueden mejorar con la ayuda del control y automatización, para que de este modo el desperdicio de agua no continúe y el impacto ambiental sea menos grave para la naturaleza. Este proyecto se enfoca en el uso de microcontroladores que tendrán como objetivo principal, encargarse de medir las variables para que se pueda cumplir con el riego intensivo necesario para este cultivo, por medio de sensores y actuadores de fácil acceso. Como parte del proceso de implementación, se diseñó y construyó una maqueta a escala para poder simular dos huertos que actuarán de forma autónoma, las cuales tendrán como dato de entrada la humedad y la temperatura, y este a su vez de acuerdo con la programación dispuesta en el sistema, tendrá como respuesta la activación del sistema de riego y un sistema de enfriamiento. El propósito de este proyecto es demostrar que el uso de microcontroladores y otros componentes electrónicos ayudan a estos procesos agrícolas a optimizar el uso de un recurso natural con vías de riesgo, y de este modo disminuir el impacto ambiental de este tipo de procesos en la industria.

**Palabras claves:** MICROCONTROLADORES, SENSORES, ACTUADORES, HUERTOS, SISTEMA DE RIEGO, IMPACTO AMBIENTAL.

## **ABSTRACT**

Agricultural irrigation systems have outdated methods that can be improved with the help of control and automation procedures, so that the water in the environment won't continue, and the environmental impact of the sea is less serious for nature. This project is focused on the use of microcontrollers whose main objective is to take charge of measuring the variables so that they could meet the intensive requirements for the proper use of water for crops, using accessible sensors and actuators. As part of the implementation process, a scale model was designed and built to simulate the two orchards that act autonomously, and they will provide two variables to the system which are humidity and temperature, and as a result the automated irrigation system will provide the right response according to these variables. This irrigation system has two stages. The first stage is to provide the crop with the right amount of water to the plant, and the second stage is to provide the crop with the required temperature. The purpose of this project is to demonstrate that the use of microcontrollers and other electronic elements, to favor these agricultural processes and to optimize the use of this natural resource in risk, and in this way the environmental impact of this type of processes in the industry will reduce significantly.

**Keywords:** MICROCONTROLLERS, SENSORS, ACTUATORS, ORCHARDS, IRRIGATION SYSTEM, ENVIRONMENTAL SYSTEMS.



## INTRODUCCIÓN

La agricultura es el conocimiento que el ser humano ha desarrollado a través de actividades que tienen como fin obtener una variedad de productos alimenticios provenientes del suelo que son de vital importancia para la subsistencia del ser humano. Este tipo de actividad ha estado presente en la humanidad desde mucho tiempo atrás, formando parte principal de supervivencia hasta la actualidad. Además, es conocido que las actividades de agricultura, además de reducir la mortalidad del hombre, se acuña como una de las actividades de mayor importancia en los ámbitos sociales, económicos y ambientales para el ser humano, logrando de esta manera ser parte del sector primario en la economía de un país o junto a la ganadería, siendo base imprescindible para el crecimiento económico del mismo. (Pereira, de Juan Valero, Picornell, & Tarjuelo, 2010)

La importancia que tiene la agricultura en la vida del hombre sobrepasa la barrera del tiempo y sus características hacen que esta actividad también sea un punto de partida para evoluciones tecnológicas, lo cual es un tema de mejora continua y por ello se aplican diferentes tecnologías para su desarrollo de manera adecuada a favor de una actividad sostenible. Las tecnologías antes mencionadas se enumeran dentro de un amplio abanico de aplicaciones para el desarrollo, que va desde transgénicos pasando por pesticidas hasta el mejor sistema de riego para las plantas. (Pereira, de Juan Valero, Picornell, & Tarjuelo, 2010)

Los sistemas de riego, o también denominada perímetro de riego, es una técnica especializada en estructurar un área de suelo determinada. Para que ésta pueda ser cultivada a partir de las necesidades hídricas de la planta en cuestión. Los diferentes tipos de sistemas de riego dependen de una serie de componentes que afectarán en su construcción y en el tipo de riego que se debe de implementar, que pueden ser: superficial, goteo o de aspersión.

Alrededor del 40% del agua que se usa en métodos tradicionales no es aprovechado (SENAGUA, 2011). Con ello, nace la responsabilidad del uso de agua. En vista de los cambios climáticos en los que el mundo se ve envuelto y la demanda hídrica creciente,

es imperante encontrar métodos más efectivos y eficientes para maximizar el uso de los recursos.

La ingeniería electrónica en control y automatización busca la forma de aplicar, mejorar y automatizar procesos con control automático, maximizando los niveles de productividad y haciendo uso de criterios de programación para desarrollar los procesos automatizados.

La Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, tomó la decisión de generar el siguiente trabajo de carácter investigativo y de implementación, con el objetivo principal de desarrollar un sistema de riego automatizado potenciado por microcontroladores, para el cultivo de legumbres en un huerto ubicado en el campus de la universidad.

En el presente trabajo se encuentra el proceso detallado que se siguió para la implementación del sistema de riego automatizado para un huerto a escala, el cual permite nutrir a las plantas, que para este proyecto se utilizará la lechuga. Se busca que, de manera automática, sin la necesidad de la presencia de mano de obra humana más que el de control de los sistemas y del estado de los microcontroladores, se logre tener el mismo fin con menos cantidad de hora de trabajo forzoso por parte humana.

## **CAPÍTULO 1: ASPECTOS GENERALES**

En este capítulo se presenta los datos generales que dieron lugar a la selección del tema de este trabajo. En primera instancia, se define el problema con las respectivas limitaciones, aportando significativamente a las diferentes etapas de la solución, verificando desde las necesidades hídricas de la lechuga, planta que estará expuesta a este modelo de riego automatizado. La mejor implementación del sistema de riego, y la aplicación de los microcontroladores en la automatización del riego y sus beneficios interpolando los datos para cultivos de mayor tamaño.

### **1.1. Planteamiento del problema**

En la actualidad, el mundo tiene la necesidad hídrica cada vez mayor, por el crecimiento exponencial de los sistemas de riego en huertos urbanos y el uso del agua en las diferentes actividades de ganaderías y agricultura. En esta última, se conoce que hay grandes pérdidas de este líquido vital debido a numerosos factores, tales como: infiltración de agua, crecimiento de malezas, enfermedades, podredumbre de las raíces, entre otros. Por ello, la agricultura siempre está en continuo desarrollo. Ha llegado a dar grandes pasos en diferentes áreas existentes, que se encargan de incrementar los problemas que se tienen en esta actividad, cómo los problemas anteriormente mencionados La infiltración de riego de agua y la pérdida de esta, es una de las problemáticas más alarmantes que existen y que buscan nuevas innovaciones. Con esta, se suma otras dificultades que requieren atención, como el mantenimiento de operaciones y el trabajo forzoso que se ven envuelto en ellos.

En la literatura se encuentran diversas formas de riego y de cómo controlarlos, abriendo paso al sistema de riego automatizado, el cual tiene una respuesta favorable y viable que enfrenta las dificultades del riego y mejorar la cosecha del tipo de planta escogida. A su vez aparece la automatización, el cuál es un conjunto de tecnologías con su respectiva programación. Esto da lugar a un sistema integrado que sea una alternativa para las personas inmersas en el tema de los cultivos y agricultura.

En el presente proyecto se buscó implementar un sistema integrado que automatice el riego en la fase de germinación y crecimiento de lechuga y la recolección de variables para obtener los datos necesarios para una mejora continua del sistema, para lo cual se

ha tomado para la experimentación, el cultivo de lechuga que dispone la Facultad Técnica de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

### **1.2. Justificación**

La automatización a nivel mundial se está volviendo imprescindible, ya que los sistemas y los procesos crecen continuamente. A nivel global, las industrias utilizan todo tipos de equipamientos especializados, reguladores, microcontroladores, sensores, entre otros. Lo cual indica un aumento en la rentabilidad, dado que dar una solución más simple a un problema es la más adecuada.

En este caso de estudio, la agricultura tiene un proceso repetitivo que, si bien no es complejo en su ejecución, es una tarea que puede tener resultados más productivos.

Este proyecto busca implementar el diseño de un sistema automatizado que controle el riego de huerto de lechuga, que permita la adquisición de datos y toma de muestras, que se requiere en las diferentes materias que ofrece la malla curricular de la carrera de Ingeniería Electrónica en Control y Automatización, dentro de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil.

### **1.3. Delimitación**

La electrónica y automatización para dar solución a los problemas en la agricultura, por riegos, será el tipo de riego y la implementación de este el tema central de titulación. En este trabajo se realizará un huerto de lechuga, que dispone la Facultad Técnica de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil, se toma en consideración las condiciones climáticas de la ciudad que varían entre 22.8°C y 34.1°C, Guayaquil, Ecuador.

Este trabajo de investigación también busca que se generen resultados y datos sólidos los cuales se puedan generar una base de datos para llevar a cabo una interpolación para un sembrío de mayor tamaño o de otro tipo de cultivos que se dan en la región Costa de Ecuador

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo General**

Desarrollar un sistema de riego usando microcontroladores que permita el control del proceso de riego y optimizar el uso del agua utilizado en esta actividad, para un huerto de lechuga a escala, a través del uso de sensores y actuadores adaptables a sistemas de riego automáticos.

### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- Diseñar un sistema de tarjeta de control basada en microcontroladores, que permita la automatización, la adquisición de datos y la interfaz con el usuario de un sistema de riego en un cultivo de lechuga.
- Implementar los circuitos de control y fuerza del sistema automatizado de riego elaborado en una maqueta para la producción de lechuga.
- Validar un sistema automatización en una maqueta elaborada a escala para la producción de lechuga.

## **1.5. Hipótesis.**

A través de un sistema de riego automatizado, se estima realizar un mejor aprovechamiento del agua para un cultivo de lechuga, lo cual será posible a través de la programación adecuada de todos los elementos que conforman el sistema de automatización.

## **1.6. Metodología de Investigación.**

La aplicación de técnicas innovadoras para el cultivo de vegetales está tomando a nivel mundial mayor importancia en los últimos años, debido a los procesos en los que se ve inmerso este campo profesional, hace del tema de automatización un tema importante para trabajos de titulación, en este proyecto de titulación se usa una investigación correlacional de enfoque cuantitativo, el cual implica una medición numérica y análisis de los datos obtenidos, que ayudarán con los ajustes respectivos al sistema, según la necesidad hídrica y el área de riego de cada planta.

Para poder conseguir los fundamentos teóricos y entender el funcionamiento de los dispositivos que se usan en el sistema automatizado, se utilizaron las metodologías bibliográficas y experimentales.

La metodología bibliográfica es una pieza elemental para el inicio de esta investigación, por la que se adquiere información sobre procesos similares que hayan tenido las mismas características y de este modo podamos determinar los posibles problemas de nuestro trabajo. Nos ayuda a tener un mejor entendimiento también de cómo podemos desarrollar una hipótesis mucho más certera ya que la evaluación de materiales afines a este trabajo hace que la presentación de las ideas sea mucho más clara. (Hernández Sampieri, Baptista Lucio, & Fernández Collado, 2000)

La metodología experimental ayuda a este trabajo a evaluar las variables con las que se trabaja a lo largo de todo el proyecto, y además nos ayuda a contemplar las diferentes situaciones que se producen. (Explorable, 2008)

En el desarrollo del proyecto se ha seguido los siguientes pasos. Primero, como uno de los primeros procesos que se realizará se ha considerado que el primer paso debería ser el diagnóstico del problema en el cual se enfocará la investigación y búsqueda de las posibles soluciones. De este modo el proceso de investigación de información relacionada al tema del proyecto, tanto en libros, revistas científicas, páginas de internet lo plantearíamos como algo complementario a este primer paso.

Segundo, una vez terminado la lluvia de ideas sobre los posibles problemas que presente este proyecto, se determina las funciones y características de las variables a controlar dentro de los procesos que tienen los sistemas de riego por goteo en cultivos de vegetales.

Solamente hecho este paso podríamos definir el proceso de automatización a través de diagramas de bloques, lo cual se puede considerar como el tercer paso de este proceso.

Como cuarto paso, seguido al proceso anterior se tiene en cuenta que es primordial la selección y prueba de los sensores y actuadores que serán parte del sistema automatizado, ya sea esta como parte final del proceso, o hacer pruebas parciales.

El quinto paso se enfoca en el diseño del sistema de control que permitirá la elaboración del sistema automatizado es una parte fundamental para saber los pasos que tendrá la planta una vez terminado el bosquejo y la implementación de la misma.

El sexto paso, tiene como parte fundamental el desarrollo de la programación para el microcontrolador se trabajaría en paralelo con las pruebas de sensores y actuadores. Una vez terminada la parte de la programación, se identifica como parte importante dentro de la terminación del proyecto las pruebas técnicas en laboratorio del sistema diseñado y las pruebas de funcionamiento del sistema implementado, que se debería tomar en cuenta cómo funciona paso a paso.

Como parte complementaria a los calcular los gastos realizados dentro del trabajo de titulación, en ambas situaciones; ya sea con el gasto correspondiente a la maqueta como la propuesta que se hará para el huerto ubicado en la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo. Finalmente, planteado los gastos y los desafíos encontrados en la implementación del diseño, se hará un análisis y discusión los resultados obtenidos en la investigación.

## CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

Los fundamentos teóricos son parte importante en cualquier trabajo investigativo, pues son la base para poder armar un modelo científico, en función a teorías relacionadas con el tema de investigación. En el este capítulo se recopilan todos los trabajos realizados a partir de sistemas domóticos, así como el alcance de la automatización realizada y también ciertas definiciones que abarcara el sistema de control para las variables dentro de los sistemas domóticos.

### 2.1. Sistemas Domóticos

En los últimos años, se han producido cambios muy significativos, sobre todo aplicados a los lugares en los que residimos y trabajamos. Estos cambios han causado un impacto positivo en lo referente a la comodidad y seguridad además de que permite mantener comunicación, automatización y control de múltiples dispositivos y ahorro energético al volver más eficiente el uso de diferentes dispositivos.

(Dirección General de Industria, Energía y Minas, 2007)

#### 2.1.1 Definición

Según la Real Academia Española, el término “domótica” (del latín domus, casa, e informática) se define como “un conjunto de sistemas que automatizan las diferentes instalaciones de una vivienda” (Real Academia Española, 2017). Como se puede visualizar en la figura 2.1, podemos observar comunicación de sistemas de vigilancia en una vivienda.



Figura 2. 1 Sistema de enlace domótico.  
Fuente: (Domótica, 2017)

#### 2.1.2 Aplicaciones de Sistemas Domóticos en Agricultura

Actualmente, se han desarrollado diferentes dispositivos (transmisores y sensores), especialmente diseñados para la transmisión de datos referentes al terreno donde son



implementados, obteniendo de esta manera, toda la información del suelo que se requiera, tales como humedad, temperatura, composición en cuanto a nutrientes, etc. (González, 2008). Con la ayuda de la automatización, es más cómodo para el agricultor trabajar desde su zona de confort, sin dejar de tener conocimiento y monitorear el comportamiento de su terreno en cuanto a todas las variables que necesitan las plantas para su desarrollo y producción, además de realizar los controles pertinentes en este campo.

## **2.2. Sistemas de Riego**

Existen diferentes tipos de riego que se aplican tanto en jardinería como en agricultura, a saber, de ellos tenemos: riego con aspersores, riego con difusores, riego por goteo, riego subterráneo, riego con cintas de exudación, riego con microaspersores, riego con manguera, riego con regadera, maceras de autorriego, riego por surcos, riego a manta. (Infojardín, 2017)

### **2.2.1 Riego con Aspersores**

Este sistema tiene un alcance superior a 6m, según la presión que manejen además del tipo de boquilla. Se clasifican en emergentes y móviles.

### **2.2.2. Riego con Difusores**

Se diferencian de los aspersores en su tamaño, su alcance se ubica entre 2 y 5 metros, según la presión que maneje y la boquilla que se utilice. Este método se usa en zonas en superficies pequeñas, o zonas estrechas. Son del tipo emergente, es decir, se levantan del suelo cuando se abre el riego, y cuando se detiene, entonces se retraen.

### **2.2.3. Riego Subterráneo**

Es un método moderno, se usa para césped reemplazando los aspersores y difusores en pequeñas superficies, enterrando tuberías perforadas a cierta profundidad según su planta objetivo y según su tipo de suelo.

### **2.2.4. Riego por Cintas de Exudación**

Las cintas de exudación son tuberías porosas por las que distribuyen el agua, lo que forma una franja continua de humedad, ideales para tipos de cultivos en línea. Es muy eficiente en suelos arenosos y puede usarse en riego de árboles.

### **2.2.5. Riego por Microaspersores**

Para suelos arenosos se prefieren los microaspersores debido a que cubre más superficie que los goteros tradicionales, como, por ejemplo, riego de frutas y flores.

### **2.2.6. Riego con Manguera**

El menos utilizado en agricultura, debido a que éste método es del tipo manual además de que no se consigue uniformidad en el riego. Este trabajo se enfoca en el tipo de Riego por Goteo.

## **2.3. Sistema de Riego por Goteo**

Conocido también por el nombre “riego gota a gota” o “riego localizado” es uno de los métodos de irrigación que se usa en zonas áridas permitiendo la utilización óptima de agua y abonos, como se ve en la figura 2.2.

El agua aplicada por este método se infiltra directamente a las raíces de las plantas, irrigando la zona de influencia de las raíces mediante un sistema de tuberías y emisores. Esta técnica es la innovación más importante en la agricultura desde la invención de los aspersores en 1930. (Parra, Diseño de un Sistema de Riego por Goteo, 2012).



Figura 2. 2 Riego por goteo.  
Fuente: (Agriculturers, 2016)

Este sistema contiene ciertas características para una diferenciación con los ya existentes en el mercado:

- Utiliza caudales con baja presión
- Localización del agua en la proximidad de las plantas mediante puntos de emisión (emisores o goteros)

- Reduce el volumen de suelo mojado, y por consiguiente su capacidad de almacenamiento, se opera con una alta frecuencia de aplicación a caudales pequeños.

## 2.4. Conceptos Generales de Hidráulica

Los siguientes conceptos generales de hidráulica se los presenta con el propósito de demostrar los primeros trabajos de investigación que se obtuvieron con respecto a los sistemas de riego, con respecto a la cantidad de agua que le corresponde cubrir a un área determinada. Además, esta información complementa de manera eficaz los estudios previos y las ecuaciones matemáticas necesarias para apoyar la investigación.

### 2.4.1 Caudal

El caudal es el volumen del fluido por unidad de tiempo que pasa a través de una sección transversal a la corriente (King & Brater, 1992). Por ejemplo, los litros por hora que pasan a través de un área transversal en una tubería de agua. La expresión de las dimensiones del caudal, está definida como:

$$Q = Av$$

Donde:

Q = caudal

V = velocidad promedio

A = área

Y cuyas unidades están definidas como:

$$[Q] = [L]^3 [T]^{-1}$$

$$1Q = 1 \frac{m^3}{s} (SI)$$

Cuando la velocidad V es paralela a la superficie A vertical o inclinada paralela a la superficie, el caudal que pasa es nulo. Cuando la velocidad V tiene cualquier otra dirección, descomponiendo V en tres ejes, dos de ellos paralelos a la superficie y el tercer normal  $V_n$ , entonces produce caudal.

La dirección de la velocidad puede variar de un punto a otro de una superficie, cuando la superficie a través de la cual se calcula el caudal es finita. Sea  $\partial A$  un elemento

infinitesimal de área y siendo  $V_n$  la componente de la velocidad normal a ese elemento, entonces se tiene:

$$\partial Q = V_n \partial A$$
$$Q = \int V_n \partial A$$

Si  $V$  es la velocidad normal, o perpendicular a la sección  $A$ , entonces de la ecuación anterior se deduce que el caudal:

$$Q = vA$$

#### **2.4.2 Presión de Fluido**

Este tipo de presión se transmite con igualdad de intensidad hacia todas las direcciones y actúan normalmente a cualquier superficie plana. En un plano horizontal, el valor de la presión en un líquido es igual en cualquier punto. Las medidas de presión, se realizan con manómetros, que pueden ser de diferentes formas y tipos. Las presiones manométricas representan el valor de la presión en relación a la presión atmosférica. (Riley & Sturges, 1992).

#### **2.4.3 Velocidad**

La velocidad indica que la rapidez promedio de las partículas de un fluido cuando pasa por un punto determinado, o la distancia promedio a la que viajan estas partículas por unidad de tiempo. Su unidad es (ft/s) pies sobre segundos, o (m/s) metros sobre segundos. (Saldarriaga, 1998)

#### **2.4.4 Número de Reynolds**

De acuerdo con Saldarriaga, el número de Reynolds es el parámetro adimensional de semejanza en aquellos problemas donde predomina la viscosidad. También el número de Reynolds, que se resume como el cociente de una fuerza de inercia por fuerza de viscosidad mide el influjo relativo de la viscosidad como tal, por lo que un número de Reynolds grande implica un influjo de la viscosidad pequeño y viceversa. Así, tiene un rol decisivo en los fenómenos de resistencia, donde la corriente será turbulenta o laminar. (Saldarriaga, 1998) Además, corrientes laminares corresponden a números de Reynolds pequeños, y las corrientes grandes son correspondidas con números de

Reynolds grandes. Reynolds (1842-1912), llevó a cabo una serie de experimentos con un tubo de cristal, que tenía su boca abocinada terminada en una válvula. En el tubo, entra agua desde un recipiente en reposo a una velocidad controlada por la válvula. El depósito contiene un colorante fuerte, como anilina, que se inyecta a la entrada del tubo de vidrio por un tubo más pequeño terminado en una boquilla, como se puede observar en la figura 2.3. El número de Reynolds en la corriente del tubo de vidrio se define como:

$$Re = \frac{\text{Fuerzas Inerciales}}{\text{Fuerzas Viscosas}} = \frac{vD}{V}$$

Donde:

$D$  = diámetro de la tubería

$v$  = velocidad del fluido

$V$  = viscosidad cinemática del fluido

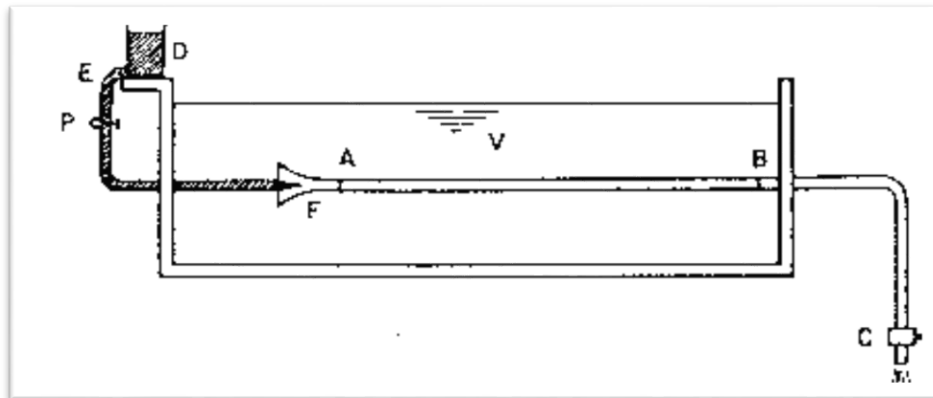


Figura 2. 3 Dibujo del experimento de Reynolds.  
Fuente: (Olano, 2017)

- De acuerdo a esta expresión, el número de Reynolds aumenta de manera continua cuando la válvula se abre, esto sucede porque aumenta la velocidad del fluido que es directamente proporcional al número de Reynolds. De acuerdo al experimento, al abrir poco a poco la válvula se observa lo siguiente:
- Al principio de hilo de corriente visible por el colorante es casi una línea recta: corriente laminar.

- Con la válvula suficientemente abierta se forman remolinos de agua debajo de la válvula, mezclándose el colorante con el agua: comienzo de turbulencia.
- Por último, los remolinos se propagan por todo el tubo, intensificándose la mezcla del colorante y dejando todo el tubo coloreado: corriente.

Además, se observó que:

- Cuando  $Re > 12000$ , la corriente es turbulenta. 12000 sería el número crítico de Reynolds superior; tomando precauciones delicadas de laboratorio. Se ha conseguido corriente laminar con  $Re = 40000$ , sin embargo, no es posible probar la imposibilidad de conseguir corriente laminar con  $Re$  aún más elevados. Esto quiere decir, que el número de Reynolds superior es indeterminado.
- Cuando  $Re \leq 2000$ , la corriente es laminar. Esto es, si se produce perturbación inicial, entonces queda enseguida amortiguada por la viscosidad y no se desarrolla nunca un flujo turbulento.  $Re = 2000$  es el número crítico inferior de Reynolds. En la práctica siempre existen perturbaciones que hacen que por encima de este número la corriente difícilmente es totalmente laminar.

El experimento es replicable para otros fluidos como aceite o alcohol, y con diversos tipos de tuberías, tomando en cuenta las características intrínsecas de cada material. Reynolds experimentó con tuberías de varios diámetros para esta demostración. Lo que condiciona el tránsito de régimen laminar a turbulento es la relación del número de Reynolds.

Para un determinado diámetro de tubería, la velocidad que hace crítico el número de Reynolds se llama velocidad crítica. En los conductos de agua industriales, la velocidad media es mayor que la velocidad crítica y el régimen de corriente suele ser siempre turbulento. Un ejemplo de este régimen laminar, se produce en las tuberías de engrase a presión.

En la capa límite turbulenta se forma una subcapa laminar porque la velocidad del fluido en contacto con el entorno es 0 y por tanto en número de Reynolds crece desde 0 formando la subcapa laminar, en el lugar donde Re es todavía muy pequeño.

## **2.5. Sistema de Tuberías**

El sistema de tuberías y su profundo estudio sobre la capacidad de riego de ciertos elementos que conforman estos procesos, serán mencionadas en esta sección, con el propósito de tener un entendimiento matemático de las primeras instancias y pruebas que se realizaron con respecto a este fenómeno. También se quiere ayudar con esto, los respectivos fundamentos teóricos y matemáticos que se deben tomar para hacer mejores cálculos de estos procedimientos.

### **2.5.1 Ecuación de Bernoulli**

Según Saldarriaga, 1998, en un fluido real, la viscosidad origina un rozamiento del fluido con el contorno, y de las partículas de fluido entre sí, de tal modo que se siga cumpliendo el principio de la conservación de la energía.

Además de las tres clases de energía, también se tiene la energía de fricción, aunque de acuerdo con la termodinámica, no es una energía distinta. (Parra, Diseño de un Sistema de Riego por Goteo, 2012). La fricción provoca una variación del estado térmico del fluido. En un fluido real, el caudal, la velocidad del fluido, y la viscosidad cinética del fluido son diferentes de cero, suponiendo que el fluido se comporta como incompresible, con el aumento de la temperatura del fluido y/o del medio exterior. La fricción en la mecánica de fluidos incompresibles no es aprovechable y solo para este caso, se llamará energía perdida, expresada en función de la altura, sería  $H_{r1-2}$ .

La energía en un punto 1 (suma de todas las energías: potencial, presión, y cinética en este punto), la energía perdida en el punto 1 y 2 por rozamiento (energía en el punto 2, suma de todas las energías: potencial, presión y cinética en este punto), se resume en la ecuación de Bernoulli con pérdidas. Para fluido real, viscoso y compresible, y la podemos definir de la siguiente manera:

$$\frac{p_1}{\rho g} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} - H_{r1-2} = \frac{p_2}{\rho g} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

Donde:

$p_1/pg, p_2/pg$  = alturas de presión

$Z_1, Z_2$  = alturas geodésicas

$H_{r1-2}$  = altura perdida entre los puntos 1 y 2.

$gH_{r1-2} = Y_{r1-2}$  es la energía perdida entre las secciones 1 y 2

$\frac{V_1^2}{2g}, \frac{V_2^2}{2g}$  = alturas de velocidad

Si la corriente atraviesa una o varias máquinas que suministran de energía (bombas) experimenta un incremento de energía que, expresado en función de la altura, llamaremos  $\sum H_b$ . Del mismo modo, si la corriente atraviesa una o varias máquinas a las que cede energía (turbinas), experimenta un decremento de energía, expresada en función de la altura es  $-\sum H_t$ .

Entonces, la energía del fluido en el punto 1 (energía perdida en los puntos 1 y 2 y la energía suministrada al fluido por las bombas existentes en los puntos 1 y 2. La energía cedida por el fluido en las turbinas existentes en los puntos 1 y 2) es igual a la energía en el punto 2. En hidráulica, es conveniente expresar todas las energías en función de su altura equivalente. Por lo tanto, lo mencionado anteriormente se resume en la siguiente expresión:

$$\frac{p_1}{pg} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} - \sum H_{r1-2} + \sum H_b - \sum H_t = \frac{p_2}{pg} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

Donde:

$p_1/pg, p_2/pg$  = alturas de presión

$Z_1, Z_2$  = alturas geodésicas

$\frac{V_1^2}{2g}, \frac{V_2^2}{2g}$  = alturas de velocidad

$\sum H_{r1-2}$  = suma de todas las pérdidas hidráulicas entre 1 y 2

$\sum H_b$  = suma de los incrementos de altura proporcionados por las bombas existentes entre 1 y 2.

$\sum H_t$  = suma de los incrementos absorbidos de altura absorbida por las turbinas existentes entre 1 y 2.



Además:

$$\frac{p_1}{\rho g} + Z_1 = h_1: \text{altura piezométrico en el punto 1.}$$

$$\frac{p_1}{\rho g} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} = h: \text{altura total en el punto 1.}$$

Si no hay pérdidas entonces se dice que es un fluido ideal, la altura total de la corriente permanece constante.

### 2.5.2 Ecuación de Darcy-Weisbach

De acuerdo con Saldarriaga, 1998, a lo largo del tiempo se ha tratado de definir las leyes que rigen el flujo o circulación de los fluidos dentro de las tuberías. Una de las primitivas expresiones de pérdidas de energía fue desarrollada por Chézy en 1775 (García J. , 2006).

Muchas otras fórmulas empíricas para las pérdidas de energía se han desarrollado y la mayoría parte de la hipótesis de que la pérdida de energía solo depende de la velocidad, dimensiones del conducto y la rugosidad de la pared. Además de estas ecuaciones, también se tiene en cuenta los diferentes aspectos físicos para determinar de manera eficaz todos los parámetros necesarios para obtener una mejor distribución con respecto a los elementos que conforman un sistema de riego.

Hagen (1839), Poiseuille (1840) y Reynolds (1883) demostraron que la densidad y la viscosidad del fluido influyen en la pérdida de energía y más tarde, principalmente como deducción del trabajo de Nikuradse (1933), se reconoció generalmente que el efecto de la rugosidad no depende del valor absoluta de ésta, si no de su relación al diámetro del tubo. De todas las expresiones utilizadas para determinar las pérdidas de energía en las tuberías, la fórmula propuesta por Darcy – Weisbach, permite la evaluación apropiada del efecto de cada uno de los factores que afectan la pérdida. Teniendo en cuenta que el coeficiente de fricción  $f$ , debería estar en función del número de Reynolds., y teniendo en cuenta los diferentes parámetros para considerar su definición, podemos expresar esta pérdida como:

$$hf = \frac{fLV^2}{2dg}$$

Donde:

$h_f$  = pérdida de carga debido a la fricción.

$f$  = factor de fricción

$l$  = longitud de tubería

$d$  = diámetro de tubería

$v$  = velocidad media del fluido

$g$  = aceleración de la gravedad

### 2.5.3 Pérdidas

Esta sección tiene como propósito una de las partes fundamentales para poder obtener sistemas de riego eficientes, aliviando ciertos aspectos propios del sistema, refiriéndose a los accesorios, válvulas, ensanchamientos o estrechamientos, que bien se los puede determinar mediante los siguientes métodos:

- Aplicación de Tablas de Longitud Equivalente

El accesorio, es equivalente en su valor de  $h_f$  en un tramo de tubería. Las tablas de longitud equivalente nos indican la pérdida en pies o en metros de columna de agua del accesorio.

- Uso del factor K y de la carga de velocidad

Las pérdidas por fricción para accesorios en un sistema de tuberías, también puede determinarse usando el factor “K” que multiplicado directamente con  $(v^2/2g)$  resulta la pérdida por rozamiento o fricción. El factor se obtiene de nomogramas donde solo se necesita el valor del diámetro del accesorio e interceptar la línea de “K”.

### 2.5.4 Carga dinámica

Según Saldarriaga, 1998, la carga dinámica total, la cual se denominará CDT, es la energía total contra las cuales trabaja la bomba para circular el fluido. Y se define de la siguiente manera:

$$CDT = H_{est} + H_{ed} + H_{f1-2} + \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

$H_{est}$ : Carga estática de succión

$H_{ed}$ : Carga estática de descarga

$H_{f1-2}$ : Pérdidas por fricción total en el sistema

$\frac{v^2}{2g}$ : Carga de velocidad

Sus unidades son: m.c.a (metros de columnas de agua) y p.c.a (pies de columna de agua).

## 2.6. Sistema Agua – Planta

Según García, Ligeró, Romero y Sánchez, 1979, la circulación del agua en las plantas es necesaria para la función de transporte de nutrientes y otras sustancias de un modo peculiar y diferente de lo que sucede en los animales.

El agua circula a través de las plantas, desde los pelos de la raíz hasta las hojas por los vasos lenosos. Se absorbe a través de los pelos radiculares, provocando la nutrición de las plantas y haciendo que su degradación fisiológica se demore más en el tiempo mientras que no la tenga. El agua se transporta en el interior de la planta siguiendo las diferencias de potencial hídrico, el cual consta de los siguientes componentes:

- Potencial hídrico = Potencial asmótico + potencial de presión + potencial matricial + potencial gravitacional
- Potencial osmótico: Está relacionado con la osmolaridad de la disolución acuosa. Depende de los osmolitos disueltos en el agua.
- Potencial de presión: es aquel relacionado con la presión de las paredes celulares contra la célula. Este valor es máximo cuando alcanza la máxima turgencia y mínimo cuando alcanza el valor de plasmólisis incipiente.
- Potencial matricial: Está relacionado con la absorción por capilaridad del agua.
- Potencial gravitacional: Está relacionado con la fuerza de gravedad.

Así, el agua viaja desde las zonas con mayor potencial hídrico a las zonas con menores potenciales. Una planta en un suelo óptimo, es aquella en la cual el potencial hídrico es cercano a cero kpa, y absorbería agua por los pelos de sus raíces, viajaría por la xilema, hasta las hojas donde se evaporaría y pasaría a la atmósfera, la cual tiene un potencial hídrico realmente bajo, decenas de kpa negativo. Este proceso se conoce como transpiración. De este modo, la mayoría del agua que absorben las plantas se evapora en las hojas. Estas fuerzas de evaporación crean una tensión negativa que es la que tira del agua, hacia las ramas superiores debido a que el proceso de capilaridad

no es suficiente para transportar el agua a varios metros de altura. Por último, existe una fuerza que logra subir el agua por la xilema de la planta, es una presión positiva ejercida por la raíz que absorbe agua activamente.

### **2.6.1. Potencial hídrico**

Taiz y Zeiger, 2002, dicen que el agua en estado líquido es un fluido cuyas moléculas están en constante movimiento. La capacidad de las moléculas de agua para moverse en un sistema particular depende de su energía libre. La magnitud más empleada para expresar y medir el estado de energía libre del agua es el potencial hídrico, denotado por el símbolo  $\Psi$ . El potencial hídrico puede expresarse en unidades de energía por unidades de masa o volumen, la unidad de uso más común es el megapascal (MPa = 10 bares) aunque en el pasado reciente también se han utilizado la atmósfera y el bar (1 bar = 0.987 atm).

El movimiento del agua en el suelo y en las plantas es espontánea a lo largo de gradientes de energía libre, desde las regiones donde el agua es abundante, y, por ende, posee alta energía libre por unidad de volumen (mayor  $\Psi$ ), a zonas donde la energía libre del agua es baja (menor  $\Psi$ ). El agua pura o destilada tiene una energía libre muy alta debido a que todas las moléculas se mueven libremente, este es el estado de referencia del potencial hídrico.

Si se tiene una masa de agua pura, libre, sin interacciones con otros cuerpos y a presión normal, entonces le corresponde un  $\Psi$  igual a 0. El  $\Psi$  está fundamentalmente determinado por el efecto osmótico, asociado con la presencia de solutos, por las fuerzas que adsorben o retienen agua en matrices sólidas o coloidales, por efecto de la altura y por presiones positivas o negativas o tensiones presentes en los recipientes o conductos donde se encuentra.

La sumatoria de estos factores tiene un efecto aditivo que disminuye el potencial hídrico del suelo o planta con respecto al potencial del agua pura. Así, en un sistema particular, el potencial hídrico total es la suma algebraica de cuatro componentes, que se los puede definir de la siguiente manera:

$$\Psi_h = \Psi_0 + \Psi_m + \Psi_g + \Psi_p$$

Donde:

$\Psi_h$  = potencial hídrico

$\Psi_0$  = potencial osmótico

$\Psi_m$  = potencial mátrico

$\Psi_g$  = potencial gravitatorio

$\Psi_p$  = potencial de presión

El  $\Psi_0$  representa el componente relacionado con la presencia de sólidos disueltos, disminuye la energía libre del agua y puede ser cero o asumir valores negativos. A medida que la concentración de sólidos disueltos aumenta,  $\Psi_0$  se vuelve un valor más negativo.

Cuando no hay presencia de los factores que afecten el potencial hídrico, las moléculas de agua de las disoluciones se moverán desde lugares con poca concentración de sólidos a lugares con mayor concentración de sólidos. El  $\Psi_0$  es cero para el agua pura.

El  $\Psi_m$  por otro lado, representa el grado de retención del agua, debido a las interacciones con matrices sólidas o coloidales. Tales matrices están constituidas por el material coloidal del suelo y las paredes de la célula. Puede asumir valores nulos o negativos.

El  $\Psi_g$  representa la influencia del campo gravitatorio y es un valor positivo, aunque depende del sistema de referencia que se elija.

$\Psi_p$  representa la presión hidrostática y puede asumir valores tanto positivos como negativos, según el estado del agua, esto es, si está sometida a presión o tensión. Por ejemplo, el potencial de presión  $\Psi_p$  en las células es positivo y representa la presión ejercida por el protoplasto contra la pared celular, mientras que en el xilema es negativo debido a la tensión desarrollada por diferencias en el potencial hídrico originadas en la transpiración.

En el sistema SUELO – PLANTA – ATMÓSFERA, el potencial hídrico puede ser medido en varios puntos de la vía del movimiento del agua desde el suelo a través de la

planta hasta la atmósfera. A lo largo de ese trayecto, pueden variar las contribuciones de los diferentes componentes en la determinación del componente hídrico.

### **2.7. Control automático de riego**

Para un óptimo funcionamiento del sistema hidráulico, este último debe contar con un sistema de control, preferentemente automático con la finalidad de reducir tiempos y evitar la escasez de agua en los tinacos, alertar al usuario mediante alarmas sonoras y luminosas para el caso de cualquier contingencia que pueda presentarse. Básicamente, todas las contribuciones tecnológicas en este campo son para poder tener un mejor uso de los recursos naturales para que el impacto ambiental sea mucho menos importante.

### **2.8. Diseño de un Sistema de Riego por Goteo**

Según García y Briones, 1997, un sistema de riego por goteo es aquel donde se aplica agua, o agua mezclada por alguna solución con nutrientes, dentro o sobre el suelo, directamente a cada planta en forma individual, los emisores, en este caso los goteros, que son adjuntados a la línea lateral suministran, de acuerdo a la necesidad, agua a cada planta.

Con un sistema de riego por goteo, el agua puede ser suministrada a la planta a baja tensión y alta frecuencia, con la cual se crea un ambiente óptimo de humedad necesaria en el suelo. El riego por goteo se puede dar de dos diferentes maneras. El primero, con goteros y bolsas negras y el otro con cintilla.

Debido a la frecuencia de los riegos en un cultivo, se puede obtener eficiencias muy altas. La eficiencia en el uso del agua, se define como el rendimiento del cultivo por unidad de agua aplicada. Las investigaciones hechas por Hiler y Howell, 1972, anuncian que la eficiencia en el uso del agua podría aumentar en más de un 50% usando riego por goteo en lugar de riego por superficie.

Debido a que solo la zona radial a la planta se supe con agua, bajo un apropiado manejo en relación a las cantidades que la planta necesita, se pierde solo una baja cantidad de agua por percolación profunda, consumo por plantas no beneficiosas, o evaporación desde la superficie del suelo. Usando este proceso, la actividad del riego se vuelve muy beneficiosa y optimiza varios procesos tales como:

- Ahorro de agua: existe un alto control en la cantidad del agua a suministrar al cultivo en este sistema de riego, de manera que pueda ser aplicada muy eficientemente. Solo aquella porción del suelo con actividad radicular necesita ser irrigada y las pérdidas por evaporación pueden ser reducidas al mínimo. La baja tasa de aplicación de agua, frecuentemente mayor a la tasa de evapotranspiración, reduce las pérdidas por percolación profunda.
- Ahorro de mano de obra: los sistemas de riego por goteo son de alta durabilidad, de modo que la mano de obra, es casi imprescindible. Estos sistemas pueden ser automatizados para lograr una reducción adicional en productos destinados al cuidado del cultivo como los fertilizantes.
- Respuesta del cultivo: Con este sistema, un alto promedio en niveles de humedad junto con una adecuada aireación del suelo. Esto resulta en una respuesta favorable de los cultivos, aumentando su rendimiento y la calidad de sus frutos.
- Crecimiento de Plantas: dado que solo una fracción de la superficie del suelo es humedecida por medio de este sistema, se reduce el área disponible para el crecimiento de hierbas y plantas no benéficas. De este modo, el control necesario para las hierbas es mucho menor que para otros sistemas.
- Ahorros en pesticidas y control en ciertas enfermedades: las partes de las plantas en la superficie del suelo se encuentran completamente secas para el sistema de riego por goteo. Reduciendo la incidencia de hongos y otras plagas que dependen de un ambiente húmedo.
- Posible uso de agua salina: debido al mantenimiento de una presión osmótica baja que produce el esfuerzo de la planta para obtener agua bajo condiciones salinas que podría resultar en altas presiones osmóticas.
- Rápida maduración del cultivo: expertos en tomates, uvas, remolacha azucarera, lechugas, etc., han demostrado maduración temprana en comparación a otros tipos de sistemas de riego.
- Minimiza la formación de costras en la superficie del suelo: en algunos suelos, se suele formar una superficie costrosa dura, que puede terminar evitando la emergencia del cultivo, aunque éste haya germinado apropiadamente. Al mantenerse alta la humedad de manera constante, la formación de costras se elimina.

- Mejora la penetración de las raíces en el suelo: así mismo, el alto promedio de humedad que se mantiene con un riego por goteo puede aliviar el problema que padecen ciertos tipos de suelo, donde la penetración de las raíces es mínima, o de baja proporción por la escasez de humedad.
- Eficiencia en suelos con baja tasa de infiltración: el agua en sistemas de riego puede ser aplicada con una dosis muy pequeña, hasta 0.025cm/h, con el correspondiente decrecimiento de las posibilidades de escurrimiento de agua en los suelos.

## **2.9 Descripción de elementos utilizados en el riego**

### **2.9.1 Emisores**

Los emisores son elementos insertados en las tuberías laterales que controlan las salidas de algunas de estas tuberías de acuerdo a su forma y velocidad adecuada según las condiciones de diseño. (Ramírez, 2001).

#### **2.9.1.1 Tipos de emisores**

Existen varios tipos de emisores, las cuales se pueden dividir en emisores de caudal inferior a 16l/h, lo cual incluye a los goteros, y emisores de alto caudal superior a 16l/h lo que incluye a microaspersores y difusores.

#### **2.9.1.2 Goteros**

De acuerdo a Ramírez, los goteros son emisores que suministran agua en forma de gotas a una sola velocidad cuyo caudal no sobrepasa los 16l/h, también, del mismo modo se pueden establecer distintas clasificaciones de los goteros: dependiendo del punto de inserción entre los que se encuentran los goteros pinchados, interlinea o integrados; en función de sensibilidad a las variaciones de presión, por la forma en que se produce la pérdida de carga debido a la sensibilidad a las obturaciones. Los tipos de goteros más comunes son:

- Microtubos: son tubos de plástico, generalmente polietileno, muy fino y flexible, pinchado en el lateral y abierto en un extremo por donde sale el agua. Donde el diámetro inferior es muy pequeño, se produce pérdidas de carga por rozamiento, por lo que, en el medio de la tubería, circula el agua y en régimen la minar a bajas



velocidades es donde hay menos libertad de movimiento. Los microtubos son baratos, sin embargo, presentan los inconvenientes típicos del régimen laminar, es decir, la sensibilidad a la temperatura y a la presión.

- Helicoidales: básicamente consiste en una condición en espiral, lo que supone un gotero mucho más compacto que los micro tubos
- Netafin o de laberinto: consiste en un tortuoso recorrido, con constantes cambios de dirección, donde se obliga a pasar por agua, provocando la pérdida del agua. Son más evolucionados dentro de los goteros que pertenecen a los de largo recorrido en los que también se incluye los helicoidales y los microtubos debido a que pueden trabajar en un régimen turbulento y por tanto son menos sensibles a la temperatura a la presión y las obturaciones. La mayoría suelen ser de este tipo.
- De orificio: son goteros muy sencillos, en los que la perdida de la carga se produce al atravesar el agua, por el paso estrecho de done sales. Económicos, pero sensibles a las obturaciones y por tanto menos durabilidad.
- Autompensantes: regula el caudal, manteniéndolo constantemente a las variaciones de la presión, mediante un elastómero de tal manera que contraiga el peso y a través de éste aumenta la presión y lo abre para disminuir la misma.
- Auto limpiante: limpian las obturaciones que se pueden llegar a producir, lo que aumenta el tiempo de vida útil al mismo tiempo que aumenta su valor. La limpieza se produce por elementos flexibles, o por medio de una limpieza continua en una cámara con distintos orificios y condiciones.
- Filtros de anillos: tienen la misma aplicación que los filtros de malla, esto es, separarlos en pequeños sólidos en suspensión. Consta de un cilindro hueco que en su interior contiene un conjunto concéntrico de anillos que al unirse forman canales de filtrado. Su limpieza es sencilla, consiste en abrir el cilindro para separar los anillos y limpiarlos con agua.

### **2.9.2 Condiciones para efectuar el riego por goteo**

De acuerdo con García y Briones, 1977, las condiciones para poder tener un sistema de riego eficaz son:

- Aplicación del agua a la zona radicular de la planta con cierto porcentaje de humedad para una continua saturación, para mantener su capacidad de campo

- El riego se realiza en el día, mientras se pueda aprovechar la influencia de la luz.
- Los riegos ocurren de manera frecuente, cada dos o tres días como máximo, dependerá del cultivo y del perfil del tipo de suelo.
- Mediante el sistema del riego por goteo se aprovecha la fertilización controlada, o la aplicación de fertilizantes solubles.
- La cantidad de agua a utilizar corresponde al uso real del suelo, además de ser totalmente libre de impurezas o sedimentos.

### **2.9.3 Características del riego por goteo**

Entre las características más importantes que se deben tener para poder realizar un sistema de riego por goteo eficaz, tenemos:

- El agua se aplica al suelo desde una fuente puntual de manera que se infiltra en el terreno y se mueve en sentido vertical y horizontal.
- No se moja todo el suelo, solo parte del mismo, una pequeña zona radial a la planta.
- Utiliza pequeños caudales, todos ellos a baja presión.
- La aplicación del agua se realiza a partir de un número variable de emisores que se encuentren próximos a la planta.
- Al existir zonas secas no exploradas por raíces y zonas húmedas, se considera un número en franjas.
- Se mantiene el nivel óptimo de humedad en el suelo.
- Requiere de un abonado frecuente
- Es un riego de alta frecuencia

### **2.10 Evapotranspiración**

Se conoce como evapotranspiración, al proceso en el cual, el agua se transfiere desde la superficie terrestre hacia la atmósfera. Esto incluye a la evaporación de agua líquida o sólida desde el suelo, o desde las superficies vegetales vivas o muertas, como pérdidas de agua producidas a través de las superficies vegetales, particularmente las hojas. (Sánchez Toribio, 1992)

Los factores que intervienen en el proceso de evapotranspiración son diversos además de ser variables en el tiempo y se pueden agrupar en aquellos de orden climático, los relativos a la planta y los asociados al suelo. Esta diversidad de factores, ha dado lugar a distintas orientaciones al abordar el complejo fenómeno y diferentes respuestas ante su estimación.

Por otro lado, el desarrollo de una serie de conceptos tendientes a lograr una mayor precisión de ideas al referirse al fenómeno y entonces surgen como un intento de considerar las distintas condiciones de clima, suelo y cultivo prevalecientes en el momento en que el fenómeno ocurre. Estos conceptos entre otros, son “uso consuntivo, evapotranspiración potencial, evapotranspiración de referencia o del cultivo de referencia, evapotranspiración real y cultivo de referencia.”

### **2.10.1 Uso consuntivo o evapotranspiración**

La utilización consuntiva, es un concepto utilizado desde los primeros estudios del riego de suelos, definida como la cantidad de agua expresada en metros cúbicos por hectárea regada. En 1941, la División de Riegos del Ministerio de Agricultura de los Estados Unidos y la Oficina Planificadora de Recursos Nacionales, definieron este concepto como “la suma de los volúmenes de agua utilizada para el crecimiento vegetativo de las plantas en una superficie determinada, tanto en transpiración como en la formación de tejidos vegetales y de la evaporada por el terreno adyacente, sea este proveniente de la nieve, o de precipitaciones caídas en cierto tiempo” (Salgado Seguel, 1966).

Este tipo de concepto, aunque es de muy poca relevancia para el concepto del proyecto de titulación, podemos definir estos métodos para cuando se quiera llevar el proyecto a una instancia macro. Por lo general, cuando nos referimos a un sistema de riego, se define muy bien si este se requiere de forma doméstica o industrial para un mejor uso de esta metodología. Hay una gran diferencia entre el uso y el consumo, que es esencialmente lo que este tipo de analogías pretende analizar, y es por que cabe mencionar que la evapotranspiración junto con el uso consuntivo va de la mano en diferentes aspectos de los sistemas de riego existentes. Estos sistemas se ayudan de estos conceptos para analizar nuevas medidas y nuevas formas para poder optimizar de cualquier forma posible el uso del agua, y un impacto ambiental mucho menor.

De acuerdo con la Secretaría Nacional del Agua, en 2011, en las demandas sectoriales del uso consuntivo del agua, el predominante es el agrícola, con un 80%, del caudal utilizado, seguido por el uso doméstico en un 13% y la industria 7%, como se puede apreciar en el siguiente gráfico. (Comisión para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2012), como se muestra en la figura 2.4.

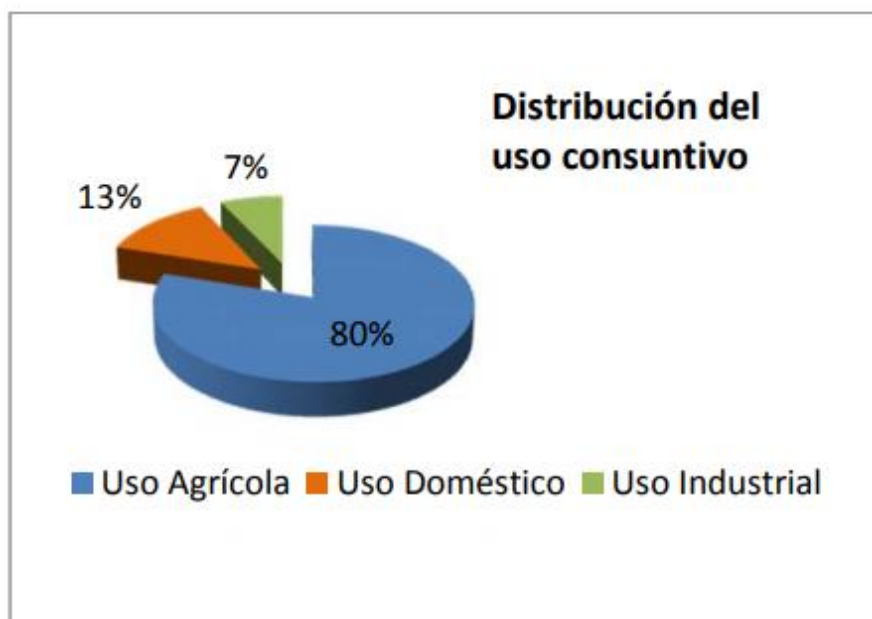


Figura 2. 4 Distribución por sectores del uso consuntivo del agua en Ecuador.  
Fuente: (Senagua, 2011)

### 2.10.2 Evapotranspiración Potencial y Real

Thornthwaite, 1948, denominó a la Evapotranspiración Potencial (*ETP*), como aquella que se produce si la humedad del suelo y la cobertura vegetal estuvieran en condiciones óptimas. (Sánchez, 1948) Por otro lado, la Evapotranspiración Real (*ETR*) es la que se produce realmente en las condiciones existentes para cada caso.

Estas dos formas de evapotranspiración son de gran ayuda para los sistemas de riego actuales, como forma de ayuda en caso de un déficit, ya que puede existir en cualquier instancia del proceso. Además, es gran importancia saber la diferencia de forma conceptual para que la forma aplicativa de la misma sea usada de manera correcta. De esta forma, el *ETR* siempre será menor igual a la *ETP*. Por ejemplo, en un lugar desértico, la *ETP* puede llegar a 6mm/día y la *ETR* puede ser cero, debido a que no hay agua para evapotranspirar. Estas dos medidas, serán iguales siempre que la

humedad del suelo sea óptima y que exista un buen desarrollo vegetal, como sucedería en un campo de cultivo bien regado o en un área donde existan fuertes precipitaciones.

### **2.10.3. Evapotranspiración de Referencia**

La noción de  $ET_0$  ha sido establecida para reducir las ambigüedades de interpretación que da lugar al amplio concepto de evapotranspiración y también para relacionarla de forma más directa con los requerimientos de agua de los cultivos.

Este tipo de evapotranspiración es similar al de  $ETP$ , pues también depende solo de las condiciones climáticas, incluso en algunos estudios como McKeeney y Rosenberg, 1993, son considerados equivalentes. La diferencia entre las dos formas de evapotranspiración, es que la evapotranspiración de referencia, se aplica a un cultivo específico, o de referencia, como la alfalfa que tiene de ocho a quince cm de altura uniforme, crecimiento activo, y no se ve sometido a déficit hídrico, por lo que en los últimos años es el método más utilizado.

## **2.11 Sistema Agronómico**

El diseño agronómico se utiliza para aplicar el agua superficial a los cultivos, con el objetivo de completar la acción de las lluvias y que ésta pueda ser utilizada en su máxima frecuencia. Esta es una de los sistemas fundamentales que también se toma en cuenta en este trabajo de titulación. Como parte principal de la resolución del problema partimos del hecho de que se trabajará en superficies similares, ya sea este en un área real determinada, y un área a escala.

La evapotranspiración del cultivo depende del estado de desarrollo de la planta, una manera de determinar las demandas de agua es mediante la bandeja de evaporación clase A, instrumento encontrado en la mayoría de las estaciones meteorológicas y donde se puede solicitar información sobre la evaporación de la bandeja. (Singh & Chauman, 1996).

El diseño agronómico del sistema de riego, es una parte fundamental del mismo, pues determina el régimen del riego del cultivo, por sus características edáficas, meteorológicas y del funcionamiento del sistema de riego. En este diseño se llega a determinar la frecuencia, lámina y tiempo de riego. (Matheus, 2011).

## 2.12 Demanda de Agua del Cultivo

Como parte principal de este trabajo, se quiere demostrar que, mediante el uso de un sistema de riego automatizado, en comparación del tradicional, se puede tener un ahorro importante de agua. Muchas de las ideas presentadas en este trabajo se les esquematiza pensando en la importancia de este recurso y de la precaución que se debe tener con respecto a su uso.

### 2.12.1 Aprovechamiento del agua presente en el Suelo

Las plantas aprovechan la humedad existente en el suelo de cultivo, a través de sus raíces. (Gobierno Regional de Coquimbo, 2000) Cada sistema de raíz, presenta diferentes profundidades según el tipo de cultivo.

La cantidad de agua, que el suelo le puede brindar a la planta, va a depender del tipo de suelo en el que se encuentra el cultivo. Existen tres tipos de suelo para cultivos: arcilloso, arenas, y el intermedio denominado “franco”. La lechuga, objetivo de este trabajo necesita un suelo que absorba cuantos nutrientes abarque, además de un tipo de suelo que sea del tipo filtro. El agua que está disponible en el suelo, de acuerdo al tipo de suelo, como se muestra a continuación en la tabla 2.1, y de esta manera se puede tener una idea generalizada de cómo utilizar el agua de una mejor forma.

Tabla 2. 1 Disponibilidad de agua por diferentes tipos de suelo.

<b>Tipo de Suelo</b>	<b>Agua que utiliza el cultivo (mm/m de suelo)</b>	<b>Agua fácilmente utilizable por el cultivo (mm/m de suelo)</b>
<b>Arenas</b>	80	40
<b>Franco Arenoso</b>	120	60
<b>Franco</b>	170	85
<b>Franco Arcilloso</b>	190	95
<b>Arcillas</b>	230	115

Fuente: (Estudio FAO Riego y Drenaje 56, 2018)

De acuerdo con la Comisión Nacional de Riego, las Hortalizas en general tienen una profundidad efectiva de las raíces para diversos cultivos que estén en fase de maduración, para suelos profundos y homogéneos es de 30 a 60 cm.

El agua de los diferentes tipos de suelo para cultivo, está disponible de veinticuatro a 48 horas después de hacer un riego, o por efecto de lluvias potente. El suelo tiene agua en reserva, que entonces está disponible para un riego posterior que hará que la planta tenga la cantidad que necesita para crecer y madurar en óptimas condiciones.

### 2.12.2 Coeficiente de Cultivo $K_c$

El coeficiente de cultivo, denotado como  $K_c$  es un coeficiente con la que se puede calcular la  $ETR$  a partir de la  $ETP$  o  $ET_0$ .

De acuerdo con el Sistema de Información Agroclimática para el Regado (SiAR) de España, esta relación entre la  $ETR$  de cada cultivo específico y la  $ETP$  es un número entre 0.1 y 1.2 que depende del tipo de cultivo, estado de desarrollo y también de algunas prácticas culturales.

De acuerdo al enfoque del  $K_c$ , la evapotranspiración del cultivo  $ETP$ , se calcula como el producto de la evapotranspiración del cultivo de referencia  $ETR$ , y el coeficiente del cultivo. (SIMARBC, 2017)

$$ETP = K_c \times ETR$$

Donde:

$$ETP = [\text{mm d}^{-1}]$$

$$K_c = [\text{adimensional}]$$

$$ETR = [\text{mm d}^{-1}]$$

Esta característica es de vital importancia, para trabajos afines en las que se tenga que recurrir a espacios cerrados. Los números de  $K_c$  varían por mucho a lo largo del año, desde un valor muy pequeño en las primeras etapas del cultivo, cuando la planta está nacida, a un valor mayor cuando el cultivo ya está desarrollado. Estos cambios se presentan en la figura 2.5.

De acuerdo con SIMARG, el procedimiento de cálculo para la evapotranspiración de cultivo, sería:

- Identificar las etapas de desarrollo del cultivo, determinando la duración de cada etapa y los valores del  $K_c$ .

- Ajustar los valores de  $K_c$  determinados según la frecuencia de riego o las condiciones climáticas para cada etapa.
- Construir la curva del coeficiente del cultivo donde conste el  $K_c$  para cada etapa durante el periodo de desarrollo.
- Determinar los valores de  $ETR$ ,  $ETP$  y  $K_c$ .

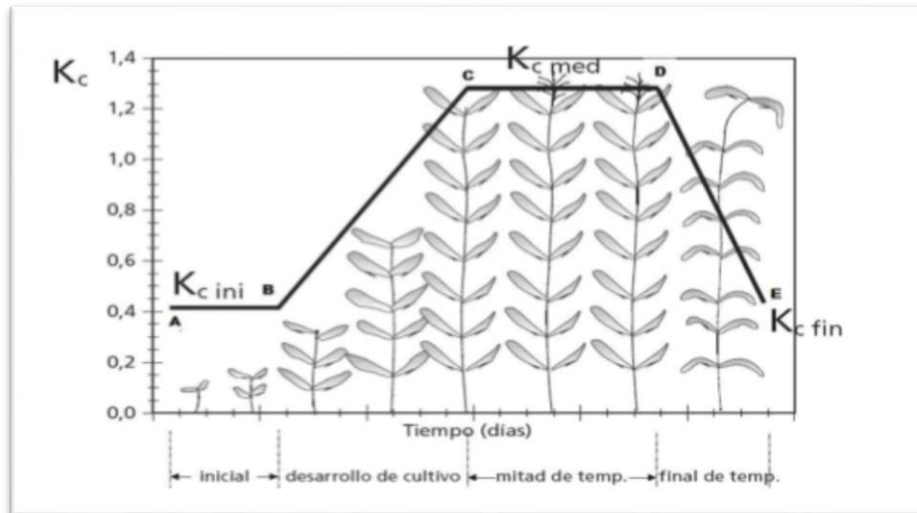


Figura 2. 5 Curva del coeficiente de cultivo  $K_c$ .  
Fuente: (Estudio FAO Riego y Drenaje 56, 2018)

Además, el ciclo de cultivo se divide en cuatro fases:

1. Fase inicial. De siembra al 10% del suelo sombreado o SS
2. Fase de desarrollo. Desde el 70 al 80% de SS
3. Fase de mediados. hasta comenzar la senescencia de las hojas.
4. Fase de finales. Hasta la maduración o recolección del cultivo.

Este tipo de información es necesaria para poder determinar el tiempo de vida útil de los sistemas de riego, según el cultivo que se desee hacer, ya que se depende bastante de los parámetros establecidos por este tipo de detalle. La duración del ciclo de cultivo puede ser determinado, especificando el tipo de cultivo con información local. (Mancha, 2017).

### 2.12.3 Demanda neta del Cultivo

La demanda neta del cultivo, transforma las unidades de mm/día, a litros/planta/día.



Se hace el producto de los mm/día, por el marco de plantación, y por el porcentaje de cubrimiento del follaje en relación a la plantación (Parra, Demanda neta del cultivo, 2012). Así, la demanda neta del cultivo viene dada por la siguiente expresión.

$$DNC = \frac{ETP \times MP \times PC}{100}$$

#### **2.12.4 Demanda bruta del cultivo**

Los métodos de riego no son 100% eficientes, por lo que la demanda real o bruta, de ahora en adelante denotada como DBC, con las unidades de litros/planta/día, será igual a la demanda neta del cultivo multiplicado por la eficiencia. La eficiencia por goteo varía entre el 90 al 95%. La expresión utilizada para la demanda bruta del cultivo es la siguiente:

$$DBC = \frac{DNC}{eficiencia}$$

#### **2.12.5 Riego diario del cultivo**

El tiempo de riego para el cultivo por día, estará dado por la siguiente ecuación:

$$TRD = \frac{\text{demanda bruta del cultivo}}{\text{numero de goteros} \times \text{caudal del gotero}}$$

Las unidades que resultan de esta ecuación están en horas/día.

#### **2.12.6 Condiciones para cultivo de lechuga.**

La temperatura óptima para un cultivo de lechuga oscila entre los 15° y 25° C, en caso de superar los 25°C, se produciría un “*efecto inhibidor muy marcado*” o a espigar. Con la temperatura adecuada la plántula emerge de 2 a 3 días. La humedad de suelo relativa debería ser del 60% a 80%. Además de esto la cantidad de agua para este cultivo, en la primera semana es de 1 a 2 litros/m<sup>2</sup>, a partir de la segunda semana hasta que la lechuga tenga entre 16 y 18 hojas se tendrá una dosis de 4 a 8 litros/m<sup>2</sup>, y hasta el final del cultivo se regará con 8 a 20 litros/m<sup>2</sup> (Serida, 1998)

De acuerdo a un estudio realizado por el Municipio de Santiago, en 2011, (Elorza, 2011), se necesitan ciertos requisitos para su crecimiento con respecto al espacio que deben tener las plantas uno del otro, los cuales se mencionan en la tabla 2.2, en la cual la distancia entre plantas es de gran importancia para la distribución de agua un sector establecido por la persona que diseña este tipo de procesos. Para el cultivo de lechuga, el coeficiente de cultivo  $K_c$  es de 1 como máximo y 0.95 como valor final. (Universidad Politécnica de Madrid, 2007)

Tabla 2. 2 Requisitos de espacio para lechuga.

<b>Consideraciones de Espacio para la Lechuga</b>	
<b>Profundidad mínima de terreno</b>	10 cm
<b>Separación de otras plantas</b>	25 cm
<b>Distancia de líneas en huerto</b>	30 cm

Fuente: (Elorza, 2011)

### **CAPÍTULO 3: DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO**

El riego por goteo se utiliza hoy en día ante otros métodos de riego, debido a las numerosas ventajas que están implícitas, tales como: humedad continua en el terreno, anulación de escorrentía superficial, uso eficiente del agua para riego, impedimento de crecimiento de plantas no deseadas y evitar estrés en la planta de interés. El riego gota a gota también tiene como ventaja la fácil adaptabilidad de sistemas de automatización, teniendo como objetivo principal la optimización del uso del agua y prevenir pérdidas significativas de la misma, ya que este riego se enfoca en la zona radicular de la planta en cuestión, en este caso la lechuga.

Con lo anteriormente expuesto, se decide implementar el sistema de riego con sistema integrado de automatización para una parcela que contendrá tierra de sembrío y con los sensores de humedad relativa que se adherirá podremos verificar que la lechuga esté creciendo en óptimas condiciones, lo que significa una temperatura entre 18-20°C, una humedad relativa que se encuentre en los límite del 60 al 80% y un pH adecuado que se encuentre entre 6.7 y 7.4, donde el sistema actuará de manera efectiva de que las condiciones no sean las apropiadas.

De este modo, se presenta una propuesta de automatización para el huerto que se encuentra en la Facultad Técnica, con los datos obtenidos de la parcela a escala, para interpolar la información y diseñar un sistema óptimo de riego automatizado de cultivo de lechuga.

#### **3.1 Diseño de la maqueta a escala**

El huerto experimental automatizado se presentará en las instalaciones de la Facultad Técnica de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Cuenta con una dimensión de 90cm de largo, 50 cm de ancho y 28cm de altura, dentro de este, se encuentran 5 secciones, de las cuales 2 son cultivos con diferentes tipos de suelo con dimensiones. El diseño realizado en AutoCAD se lo puede ver en la figura 3.1. La sección número 3 con dimensiones se destinó como reservorio de agua que se mantenga lleno de manera constante. Para la elaboración de toda la maqueta, se consideró varios materiales posibles para la construcción. Se hicieron pruebas de materiales precio a la construcción de la maqueta, en la que los materiales variaron desde fibra de vidrio, plástico, vidrio, hasta llega finalmente llegar a la madera.

Las secciones 1 y 2 tienen una dimensión de 60cm de largo, 50cm de ancho por 28cm de altura, a las cuáles contienen tierra de sembrío para favorecer el crecimiento del cultivo. Debido a que existen diferentes tipos de suelo que tienen características distintas de retención de agua, se implementará el uso de un sensor de humedad modelo FC28 y un sensor de temperatura modelo DHT11 para la lectura respectiva de las condiciones adecuadas para la planta, con el objetivo de que el sistema de automatización genere las respuestas inmediatas para mantener a la planta sin el estrés vegetal que no le permite crecer de manera apropiada y logra un mejor resultado.

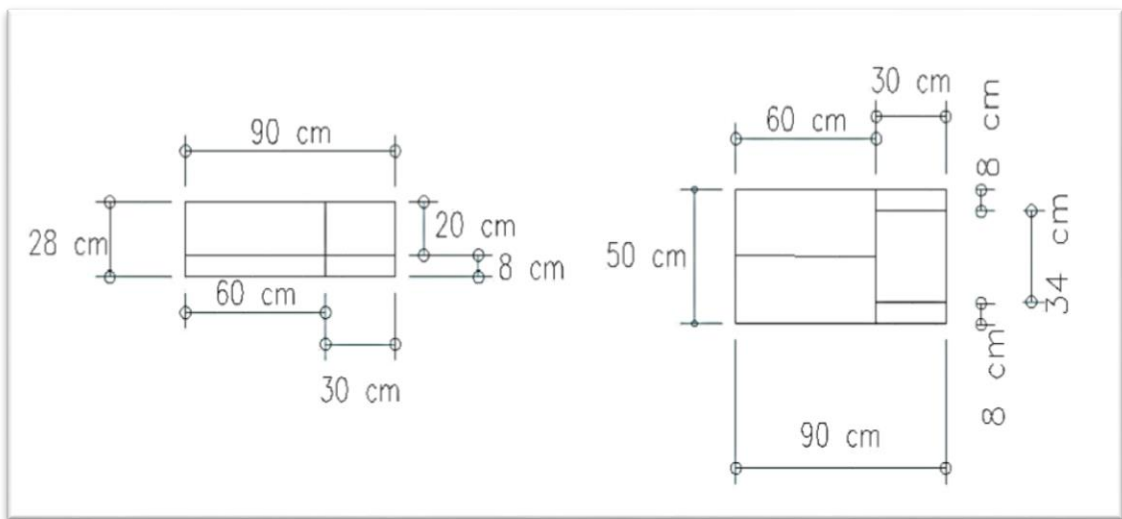


Figura 3. 1 Propuesta de parcela para cultivo hecho en AUTOCAD.  
Elaborado por: Autor.

### 3.2 Diseño general del sistema de riego

Puesto que el requerimiento hídrico de la lechuga es alto y la planta en cuestión no tolera las sequías, se implementó un sensor de ultrasonido de modelo HCSR04 que emitirá una señal al buzzer piezoeléctrico que dará la señal respectiva de una deficiencia de agua en el reservorio de agua, esta señal será enviada cuando el nivel de agua haya bajado una magnitud de 7cm por debajo de la superficie donde se encuentra el sensor.

Dentro de la parcela se tiene dos Arduino UNO, en el cuál el primer microcontrolador se encarga del huerto y del reservorio de agua, en el caso de la maqueta el cual siempre se encontrará lleno.

Se elabora flujogramas para sintetizar y presentar el trabajo que se realizó en este trabajo, en el cual se explica de manera detallada el funcionamiento de cada uno de los

sensores implementados los cuáles tendrán una lectura continua, que estará disponible en las pantallas que está añadidas en el sistema, el cual está dividido en dos partes.

La primera parte del sistema de control para la parcela se conecta con los sensores que, de temperatura, el cual se encarga de mantener la temperatura en el rango de 15°C a 25°C. El sensor se pone en acción una vez que se ponga en funcionamiento el sistema completo en el cultivo, el LCD muestra a lectura de las condiciones que tiene la planta en el momento y en caso de estar fuera del rango impuesto, el sistema de enfriamiento se acciona.

### **3.2.1 Funcionamiento de sensores y actuadores en el sistema de riego.**

La maqueta en general tiene tres tipos de sensores que son la guía para que el sistema de riego tenga éxito. La primera parte del sistema de riego se establece que, el sistema de enfriamiento se basa en el trabajo en conjunto del sensor DHT11 con un ventilador de 12v. Como se puede ver en la figura 3.2, el bucle consiste en la constante interacción del sensor y la lectura que este hace, para que mande la señal correspondiente al microcontrolador y este a su vez, proceda con la activación del actuador por medio del relé.

El sistema de enfriamiento, cuando se encuentre fuera de los parámetros establecidos idóneos para la germinación y crecimiento sin estrés de la lechuga, el cual emite una señal al microcontrolador y éste a su vez abre el relay para encender el sistema, en el caso de que la temperatura este por encima de lo estimado. Por otro lado, se opta por el cierre del relay, desactivando el sistema de enfriamiento, en caso de que la parcela esté por debajo del rango de temperatura programado, como se lo puede ver en la figura 3.2, donde se presenta la secuencia que se pretende para el sistema de riego. Entre las consideraciones que se tuvo presente fue la colocación de cada uno de los sensores. Esto se da de acuerdo al número de plantas con las que se quiere trabajar en la parcela.

Todos los datos obtenidos por nuestros sensores se muestran en pantalla para la validación de datos recopilados, a partir de los datos se analizarán para generar un sistema de riego automatizado para el huerto que se encuentra en la Facultad Técnica de la Universidad.

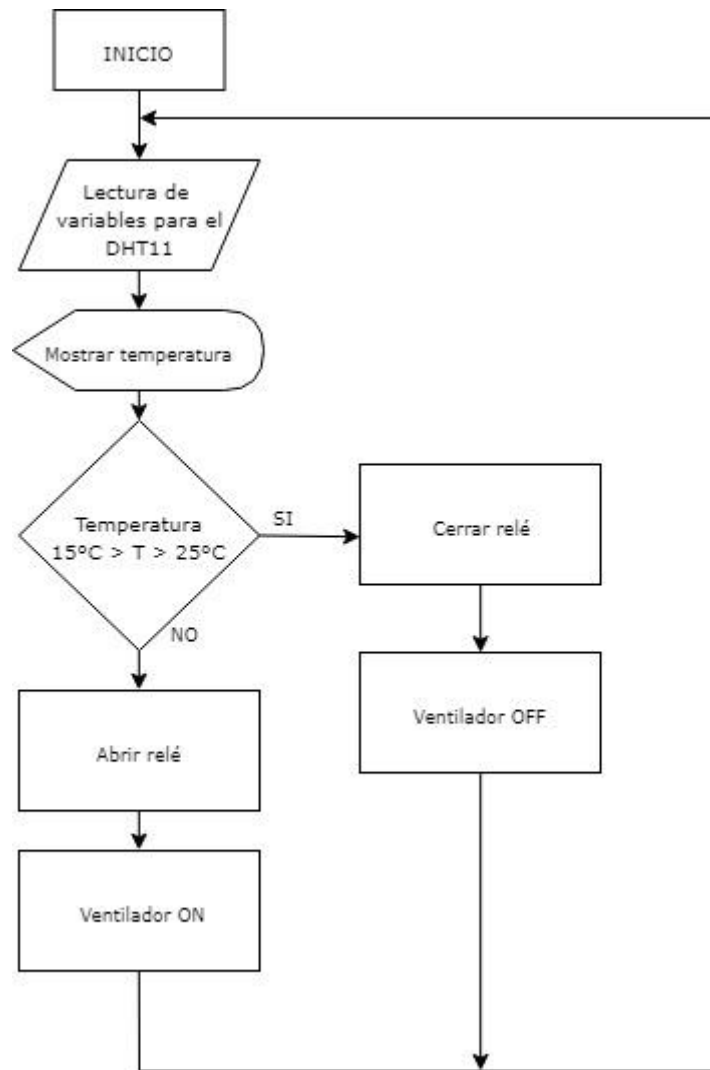


Figura 3. 2 Diagrama de flujo para el funcionamiento del sistema de enfriamiento.  
Elaborado por: Autor

Se utilizará una bomba de agua JOVTOP que trabaja en el rango de 6 a 10 voltios, para transportar el agua necesaria cuando el huerto se encuentre por debajo del 60% de humedad emitiendo una señal que abrirá el relay para el riego de agua por goteo, se hará lectura constante de la humedad con el sensor, y cuando el dato de la humedad alcance el valor de 80% se cierra el relay cerrando el sistema de riego, manteniendo la condición óptima para la lechuga. Como se puede ver en la figura 3.4, donde se muestra el comportamiento general de las bombas de agua.

El proceso de esta medición ocurre en paralelo mientras los otros sensores hacen sus respectivas lecturas de manera simultánea, para que de este modo haya un proceso en general mucho más fluido. Los siguientes parámetros a medirse son los de humedad de suelo.

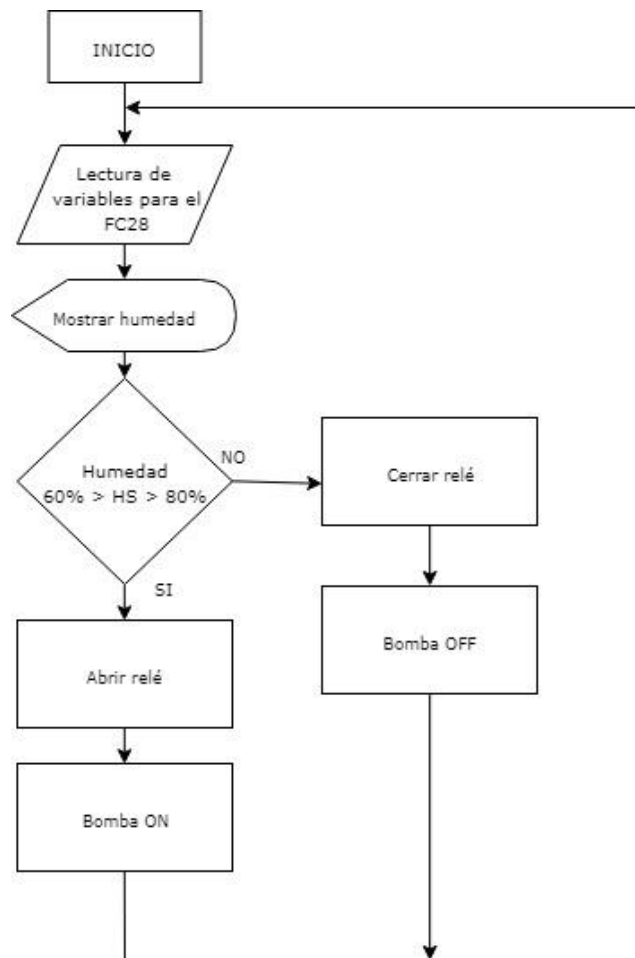


Figura 3. 3 Diagrama de flujo para el sistema de riego.  
Elaborado por: Autor

Los procesos anteriormente descritos, corresponden a los sensores que se utilizarán en la maqueta, pero el sistema también cuenta con un tercer proceso que es el sistema de alerta para el tanque de agua. Este sistema contó inicialmente con un sensor de nivel, pero por los repetidos fallos en las pruebas, se consideró utilizar el sensor ultrasónico HCSR04. Este sensor tendrá la capacidad de manda una señal al microcontrolador cada vez que el nivel de agua sobrepase los 7 centímetros con respecto a la base del tanque, y de esta manera se activa un buzzer para poder indicar al operario que el nivel de agua está por debajo de lo establecido. El proceso de esta lectura está reflejado en el diagrama de la figura 3.4, donde se explica con detalle el proceso mencionado.

Un dato para tener en consideración es el proceso de llenado del tanque. Para esta maqueta no consideramos la activación de una bomba para proceder con el proceso de llenado porque partimos del hecho de que siempre va a estar lleno, sin embargo, para tener un proceso aún más fluido podemos agregar una bomba en reemplazo del buzzer.



Figura 3. 4 Diagrama de flujo del sistema de alerta.  
Elaborado por: Autor

### 3.3 Diseño del circuito de control y de fuerza

El circuito de control y fuerza estará compuesto básicamente de los elementos necesarios para poder hacer funcionar todo el sistema de riego, incluyendo elementos esenciales como las fuentes de 12v – 5Amp y otra fuente de 6v – 2Amp. Para el propósito de este trabajo es importante mencionar que el circuito comprende también del relé de 5v que estará colocada en la parte inferior de la maqueta y que dará paso al voltaje necesario para que se pueda proceder con los diferentes procesos de este sistema. Para la visualización del circuito de potencia de la maqueta véase la figura 3.5, donde se indica el proceso de activación del sistema, con un switch de encendido y apagado con el que se dará al inicio de lectura de variables. Este circuito es igual para ambas bombas. Para el propósito de diseño, se establece que los sistemas de alimentación para los microcontroladores, sensores y actuadores, deben llevarse por separados, aunque este proceso se lo puede reducir con una fuente de mayor capacidad.



Además, de estos elementos importantes para completar el sistema de riego en general, también se incluye al diseño un potenciómetro para controlar el voltaje suministrado a las bombas de agua con las que cuenta el sistema de riego. Esto se lo incluye para que el flujo de agua que se quiere establecer en el sistema, esté acorde a los requerimientos del operario y del cultivo, haciendo todo el proyecto más dinámico y no limitarlo al cultivo de lechugas.

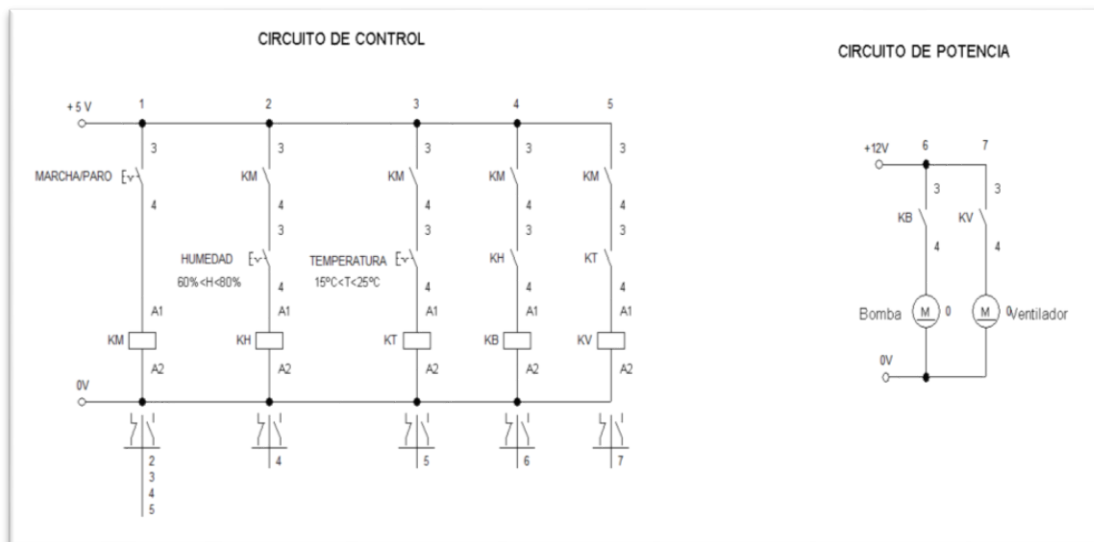


Figura 3. 5 Diseño del circuito de potencia y de control.  
Elaborado por: Autor

### 3.4 Diseño del circuito electrónico

Para empezar la descripción del circuito electrónico debemos tener en cuenta, que la maqueta cuenta con dos espacios, que simularan dos huertos. Estos dos huertos actuaran de forma autónoma con respecto al tanque, ya que cada huerto tiene su propio sistema de riego, por consecuencia, su propia bomba de agua. Se aclara esto porque se presentará el circuito electrónico de la maqueta en dos partes, ya que la maqueta uno dispone del sistema de alerta del tanque de agua y el huerto 2 no.

El huerto número 1, el microcontrolador tiene conectado los sensores de temperatura y de humedad de suelo, en las entradas digitales PIN2 & PIN3, ya que cada uno de los sensores tiene integrado un circuito encargado de convertir las medidas analógicas en digitales. Los pines 2&3 están representados en el sensor de temperatura y humedad DHT11, por lo que se encuentra un solo sensor ubicado. Las entradas digitales PIN4 & PIN5 están conectadas junto con los relés de 5v, que darán marcha a los actuadores establecidos para este proyecto los cuales son la bomba de agua y el ventilador de 12v.

De la misma manera, también se establece la lectura del sensor ultrasónico HCSR04 en las entradas digitales PIN9 & PIN10, correspondientes al TRIGGER y al ECHO establecidos en la estructura electrónica del sensor. Este actuará de acuerdo a la distancia que se establezca por medio de la programación, que se puede visualizar en el ANEXO 1. Cada vez que la distancia que sea superior a la de 7 centímetros, se activará el buzzer piezoeléctrico conectada al PIN13 del microcontrolador. Finalmente, el LCD 16x2, está conectada al I2C que se encargará de reducir el número de pines del microcontrolador de 12 a 2 pines solamente, cuyas entradas son PINA4 y PINA5. Este LCD es el que indicará el estado de la humedad y temperatura del huerto, así como también la necesidad de llenado del tanque, como se lo puede observar en la figura 3.6, donde se muestra la forma de conexión de todos los componentes electrónicos del huerto 1.

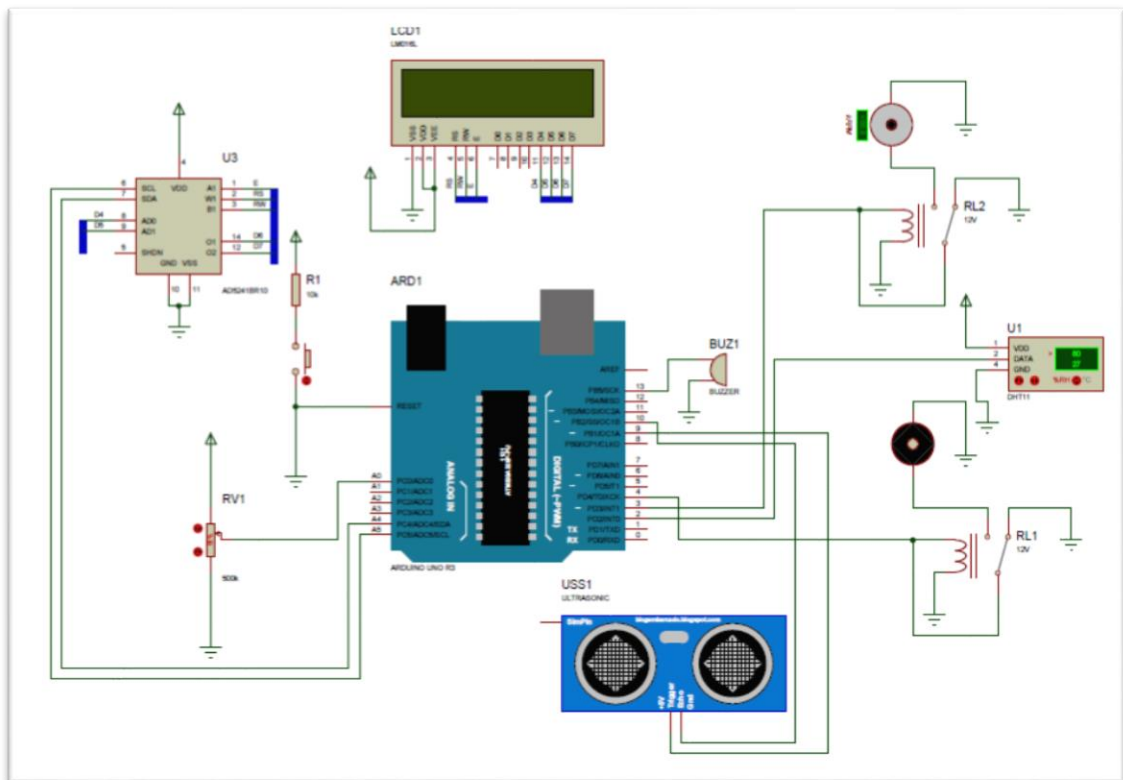


Figura 3. 6 Conexión de elementos electrónicos para el huerto 1.  
Elaborado por: Autor

Para el huerto 2, vamos a disponer de las mismas características de conexión del huerto 1, con la excepción del sensor de ultrasónico HCSR04 el cual no está presente porque se parte de la idea de que es un solo tanque el indicado para poder cubrir el abastecimiento de agua requerido para el sistema de riego automatizado descrito en este proyecto. Sin embargo, la disponibilidad de los pines sobrantes nos indica que es

posible tomar más elementos de alerta para cualquier otro tipo de percance que pueda presentar el riego con respecto con la calidad de agua, o la suficiencia de agua en este caso. Como se puede ver en la figura 3.7, no se encuentra el sensor correspondiente a la medición del nivel de agua, ya que este es un agente externo a las necesidades del huerto porque se parte del hecho de que la necesidad de agua, le compete a un agente externo.

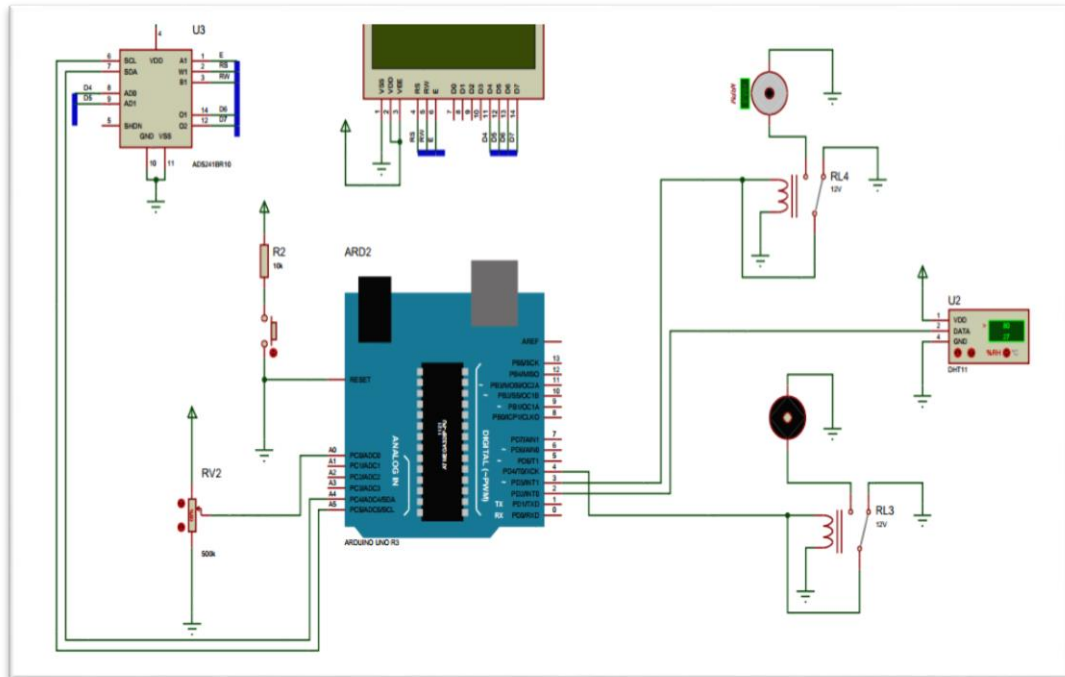


Figura 3. 7 Conexión de los elementos electrónicos para el huerto 2.  
Elaborado por: Autor

### 3.5 Diseño de programación en la plataforma ARDUINO

Tomando en cuenta el diseño general del sistema de riego, definimos que hay dos huertos automatizados en nuestra maqueta, por lo tanto, debemos tener dos configuraciones diferentes por microcontrolador. La una diferencia se engloba en la inclusión de tres sensores y tres actuadores para el sistema de riego del huerto 1, y dos sensores con dos actuadores para el sistema de riego propuesto para el huerto 2. A partir, de esta idea, se parte con la programación dispuesta para el desarrollo del sistema de riego para la maqueta.

Para ambos huertos, definimos primero las librerías que se utilizarán a lo largo de la programación y pruebas de los sensores y actuadores. Las librerías con la que

contamos para este proyecto se mencionarán a continuación. Para una visualización de la programación en general, ANEXO A y ANEXO B muestra el código fuente por cada huerto.

### **3.5.1 Librería Wire.h**

Esta librería nos permite la comunicación de nuestro módulo I2C, para poder adaptar nuestro LCD 16x2 con cualquier dispositivo de característica TWI (Two-Wire-Interface o Interfaces De Dos Líneas). La ventaja que trae esta librería es la comunicación con dos conexiones al microcontrolador y nos proporcionará más espacio para el cableado que requiere el proyecto. Esta librería utiliza direcciones de 7 bits para cualquier dispositivo que se quiera conectar. Como medida de precaución, cuando se utilice este tipo de librerías, cualquier dispositivo que este conectados a los pines que trabajan con datos (SDA) o que trabajen con el reloj interno (SCL) del microcontrolador, se recomienda que se utilice resistores pull-up. El microcontrolador ARDUINO UNO, utilizado en este proyecto tiene como referencia un cuadro de referencia en la cual se puede localizar los pines TWI. Cada uno de los pines nombrados también tienen una referencia en las hojas de datos del fabricante.

### **3.5.2 Librería LiquidCrystal.h**

Esta librería nos permite que nuestro microcontrolador, pueda tener acceso a las disposiciones de nuestro LCD 6x12, el cual tiene una estructura compuesta a partir de un Hitachi HD44780, o cualquier dispositivo compatible con este tipo modelo. Esta librería trabaja con un arreglo de bits ya sea de 4 o de 8. Como se puede verificar en el ANEXO A y B.

### **3.5.3 Librería DHT.h**

Esta librería es la que se utiliza para la comunicación del sensor DHT11 con el microcontrolador, el cual puede también extenderse para el sensor de temperatura DHT22. Con esta librería se define los pines encargados para la lectura del sensor, el mismo que está compuesto por sensores resistivos, y el alcance de lectura está dentro de un rango establecido entre los 0°C y los 50°C. Este sensor cuenta con un protocolo de comunicación de 1 hilo (protocolo 1-wire), que hace que la capacidad de comunicación sea rápida, como se puede ver en el ANEXO A y ANEXO B.

### 3.5.4 Librería NewPing.h

Esta librería nos permite trabajar con el sensor HCSR04, la misma que permite al microcontrolador medir las distancias que se soliciten, mediante la naturaleza de su composición. Esta librería nos permite trabajar con diferentes tipos de sensores relacionados con la capacidad de medición. La capacidad de respuesta, a diferencia de la librería Ultrasonic.h, permite que este sea menos de un segundo si el pin ECHO se configura como el receptor del haz de luz. Posee dos características importantes al momento de programar. El primero se caracteriza por tener un filtro para el cálculo de señales digitales, mediante el comando `ping_median()`, que además permite correcciones de errores mucho más rápido, como se puede comprobar en el ANEXO A. Para la programación de los sensores se dispone primero a la declaración de todas las librerías antes mencionadas, para tener un mejor arreglo y mejor diseño del esquema de cada uno de los sensores.

Para la programación del LCD, se define las filas por las columnas con las que se va a trabajar. En este caso, se dispondrá de un 16 x 2, para el arreglo de los mensajes que anuncie el sistema. Este mismo, se configura en conjunto con el adaptador I2C, también declarado inicialmente en la programación. Este receptorá los mensajes que la lectura de los sensores, los cuales se verán reflejados de acuerdo a lo expuesto en el ANEXO A y en el ANEXO B

Cada vez que nosotros tengamos una lectura del sensor por de humedad de suelo, en este el FC-28, tendremos un mensaje definido, como se puede ver en el ANEXO A y el ANEXO B, la cual por medio del comando `LCD.PRINT` tendremos el mensaje: *suelo necesita agua*, y en el caso contrario: *suelo húmedo, no regar*. Las lecturas están establecidas para que sean cada segundo. Para la programación de los sensores, una vez definidas las librerías por cada sensor, el DHT11 tiene la capacidad de medir temperatura con una precisión de  $\pm 2$  °C, por lo que en la programación de la temperatura para el huerto 1 y 2, y este a su vez tarde en leer hasta 2 segundos, dependiendo de las condiciones en que este el sensor.

Como podemos verificar en el ANEXO A, la programación, aparte de la condición IF para poder definir la temperatura adecuada que queremos en nuestro sistema, también

disponemos del control del ventilador definido por la variable FAN, que por defecto puede estar en dos condiciones ya sea en FAN\_ON (HIGH), o tambien puede estar en FAN\_OFF (LOW). Como tambien podemos ver en la figura 3.10, nosotros tenemos como temperatura maxima 27 °C, partiendo del hecho de que en el área donde vamos a tener el huerto, no descenderá de 15°C, ya que estamos ubicados en la costa con un clima promedio de 25°C. En este caso no definimos un mínimo de temperatura, aunque si se tiene la maqueta en un clima mucho mas frío, se recomienda cambiar la variable.

Para la programación del sensor de humedad de suelo o higrómetro, no necesitamos una librería definida. La lectura de valores de este sensor se lo estima mediante la características técnicas que provee. Como podemos ver en el ANEXO B, la lectura de este sensor es de carácter analogo, es decir, que parte del proceso que lleva esta lectura contribuye a la utilizacion de convertidores analogos a digitales.

Las entradas análogas estan establecidas en 8 bits que deben ser convertidas a una variable digital. La resolución de este dispositivo está definida de esta forma para que el valor discreto que se desea plantear, esté dentro del rango de lectura del microcontrolador que debe ser de 0v a 5v, para que se pueda dividir los 1024 (partiendo de la ecuación  $2^N = 2^8 = 1024$ ), dentro de la lectura maxima de 5v. Tenemos que entender que las lecturas se dan por los voltajes que da el sensor en ese rango, entonces basicamente lo que estamos haciendo es que el microcontrolador tenga lecturas de acuerdo a la humedad con respecto a la humedad de suelo con cambios en voltaje de aproximadamente unos 5mV. Como el valor de lectura esta en porcentajes, entonces tambien se define en la programacion, que el rango de lectura de 1024 a 0, sea equivalente a lecturas de 0% a 100%, teniendo entonces el parametro distintivo para este tipo de cultivo de 60% a 80%. Como medida de precaución se configura un modulo RTC para que cada vez que se presente un problema con la lectura del sensor de humedad, el modulo encienda las bombas de agua, cada 48 horas.

### **3.6 Selección de materiales**

En esta sección, se detallará el monto utilizado para la realización de la parcela a escala. Se utilizó inicialmente dos microcontroladores ARDUINO UNO, ya que lo que se quiere trabajar de manera independiente la autonomía de los huertos con sus respectivos actuadores y sensores. Se trabajó finalmente con los sensores de humedad,

temperatura y ultrasónico. Estos sensores trabajan directamente con los actuadores. Los actuadores definitivos son las bombas y los ventiladores. También se agregará un potenciómetro para poder regular las revoluciones de la bomba y tener un control extra sobre el flujo de agua que se va a disponer dentro de la maqueta. Todo el sistema se considerará que esta encendido, por lo que se agregará un switch de encendido y apagado, para darle arranque a la maqueta. Entre los elementos que se mencionan a continuación, también consideramos importante el costo de la maqueta y las fuentes de alimentación de todo el sistema, ya que son elementos esenciales para el diseño. Finalmente, se adaptó un potenciómetro con el que controlaremos el caudal de agua que sale a través de la bomba. Estos últimos elementos tendrán la capacidad de optimizar aún más el uso de la maqueta ya que se puede establecer más variables para el sistema de riego, y además de hacer el proyecto mucho más dinámico y poder incursionar en otros parámetros para sistemas de riego de otro tipo, con cultivos mucho más complicados de controlar.

### **3.6.1 ARDUINO UNO**

El Arduino es una plataforma física open-source basada en una simple tarjeta I/O y un entorno de desarrollo que implementa el lenguaje Processing/Wiring. El Arduino UNO puede ser utilizado para desarrollar objetos interactivos o puede ser conectado directamente a la computadora a través de su software. Su IDE se encuentra gratuito en la web. (Thayer, 2018). Un microcontrolador, es una pequeña computadora, la cual contiene en su interior básicamente un procesador, soporte, memoria y puertos para entrada y salida, todo esto dentro de un chip pequeño, el cual puede ser programado fácilmente. (Velasco, 2005). Este dispositivo se lo presenta en la figura 3.8. En este proyecto juega un rol importante, por el control autónomo que requiere los sistemas de riego, para así poder llegar con los objetivos establecidos en este trabajo. Con este dispositivo se puede llegar a controlar varias variables, las cuales se pueden sumar a un control y automatización de características más complejas. Entre las características principales podemos nombrar las siguientes:

- Microcontrolador ATmega328
- Voltaje de entrada 7-12V
- 14 pines digitales de I/O (6 salidas PWM)

- 32k de memoria Flash
- Reloj de 16MhZ de velocidad

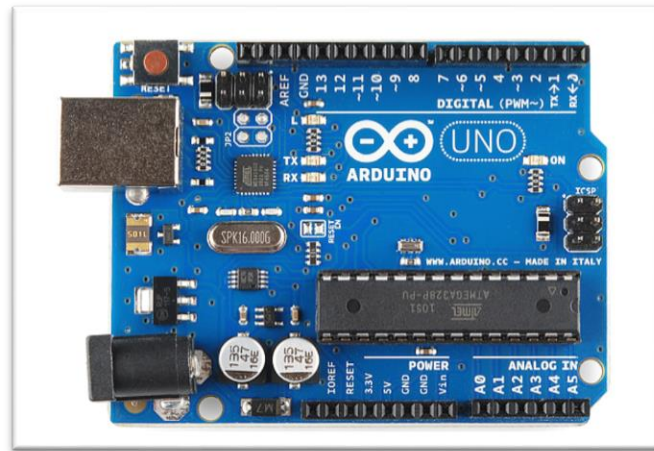


Figura 3. 8 Arduino UNO.  
Fuente: (Thayer, 2018)

### 3.6.2 Pantalla LCD 16 x 2

Las pantallas de cristal líquido LCD son dispositivos que muestra mensajes de tipo alfanumérico, que permite presentar la información que produce una herramienta electrónica de manera sencilla y económica. Una de las facilidades que nos brindará este dispositivo será el de marcar los estados del sistema en sus diferentes configuraciones. Por motivos de diseño también utilizaremos un módulo I2C, para facilitar la parte de cableado dentro del huerto y del resto de dispositivos que comprende todo el sistema, misma descripción que se la facilitará más adelante. Este mecanismo es dirigido por un microcontrolador que está incorporado a la pantalla, el cual es un Hitachi 44780 el más utilizado en el mercado. Este dispositivo se lo presenta en la figura 3.9.

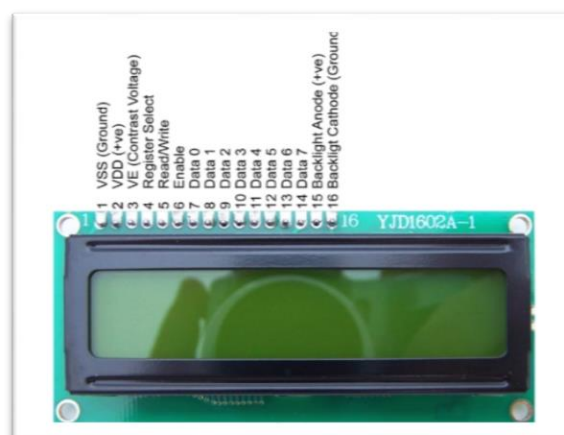


Figura 3. 9 Pantalla LCD 16c2.  
Fuente: (MCUHQ, 2016)



### 3.6.3 Adaptador de pantalla I2C PCF8574

Inter-Integrated Circuit es un dispositivo que integra de modo dinámico protocolos como por el ejemplo el SPI y el UART. En el caso particular de este trabajo se lo utilizará para la utilización de las pantallas LCD, la cual se las controlará únicamente con dos pines de comunicación. Este dispositivo se lo presenta en la figura 3.10. Se escoge este adaptador de pantallas con la finalidad de tener menos trabajo en el momento de hacer las conexiones dentro de la maqueta, ya que este dispositivo nos reduce a 2, el número de cables utilizados. Además, este elemento es importante ya que también nos permite dinamizar la programación requerida para cada uno de los elementos, teniendo más opciones para futuros proyectos. El costo de este dispositivo no representa una desventaja, ya que por el mismo motivo que reduce la cantidad de cables que emplearemos, hay un equilibrio de gastos.

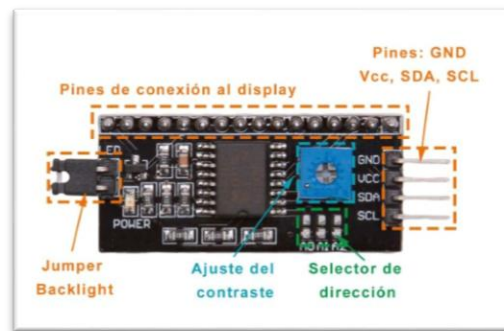


Figura 3. 10 Adaptador de pantalla I2C.  
Fuente: (MCUHQ, 2016)

### 3.6.4 Sensor ultrasónico HCSR04

Este elemento tiene como objetivo indicar distancias por medio de señales ultrasónicas. Este elemento está compuesto por dos partes: una parte que emite ondas ultrasónicas y otra parte que recibe la onda que retorna desde la distancia u objeto a medir. Posee cuatro pines de comunicación para cualquier microcontrolador, y su uso en diferentes tipos de proyectos en los que se tenga que determinar variables de distancia es sumamente conveniente y barato. En este proyecto se lo utilizará para poder determinar el nivel del agua del tanque, para que de este modo en el caso de que no haya la cantidad de agua necesaria para el riego, entonces, este nos ayudará a crear un sistema de alerta. Este dispositivo se lo presenta en la figura 3.11, y se selecciona este sensor por encima del sensor de nivel CS-C0058, ya que este sensor produce

muchas perturbaciones en el momento de la lectura. El costo también se concluye que es un factor importante para optar por el sensor ultrasónico.



Figura 3. 11 Sensor ultrasónico HCSR04.  
Fuente: (ARDUINO, 2018)

### 3.6.5 Sensor de temperatura DHT11

Hoy en día, existen novedosas formas de medir temperatura con todo tipo de sensores de diversas naturalezas. Estos dispositivos, además, ayudan a controlar cambios de temperatura en procesos de desarrollo en la agricultura, facilitando al agricultor el proceso del cuidado en los cultivos. (Bausa, y otros, 2003). Este dispositivo se lo presenta en la figura 3.12, y se escoge este sensor ya que su costo es relativamente barato para este proyecto. Además de tener características de

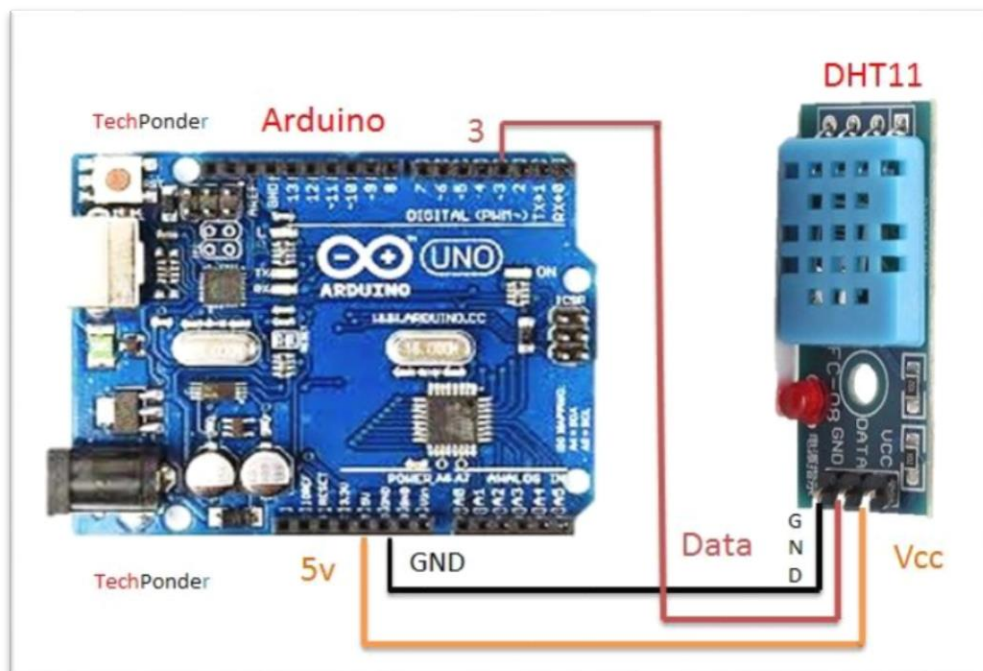


Figura 3. 12 Sensor de temperatura DHT11.  
Fuente: (TechPonder, 2015)

lectura para temperatura, también posee la facultad de hacer lecturas de humedad del ambiente, parámetro que no es influyente en el sistema de riego, pero que se puede considerar factor importante en trabajos a futuro.

### 3.6.6 Sensor de humedad FC28

El higrómetro es un instrumento muy común para medir la humedad atmosférica, para tener conocimientos de la cantidad de agua presente en la atmósfera. (Higrometría, 2018). Este dispositivo se lo presenta en la figura 3.13, y se escoge este elemento para poder medir las variables de humedad en el suelo por medio de una variación en la conductividad que posee su estructura en forma de U, siendo este el que esta con mayor disponibilidad en el mercado, y su precio es relativamente barato con respecto a otros materiales de medición de humedad. Aparte de estas características, su compatibilidad de lectura con el microcontrolador ARDUINO lo hace una pieza importante para este proyecto. De acuerdo a los pines que se utilice, la medición puede ser de carácter digital o analógico. En el mercado se lo puede conseguir con su respectivo convertidor analógico – digital.

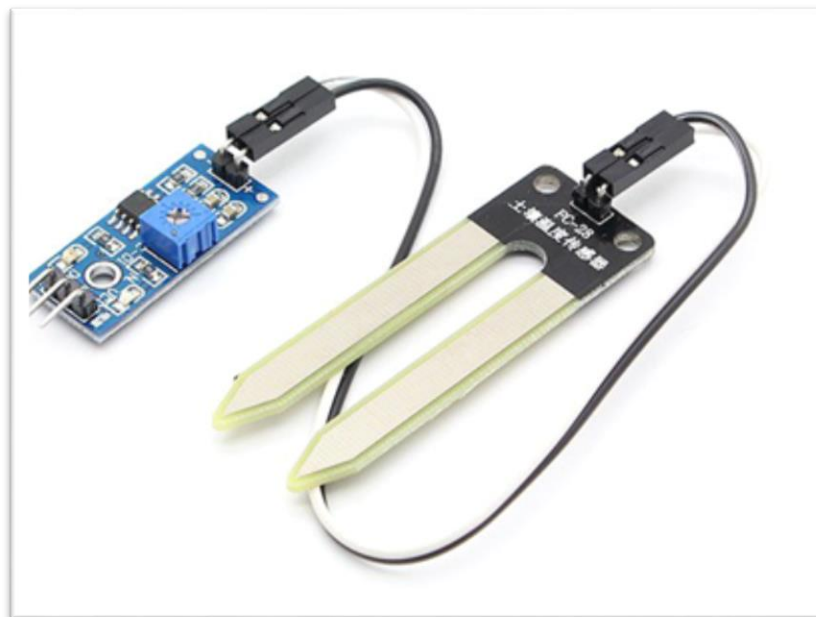


Figura 3. 13 Sensor de humedad o higrómetro.  
Fuente: (Llamas, 2016)

### 3.6.7 Bomba de agua JOVTOP JT-160

Una bomba de agua se utiliza para subir agua, o transportarla de un lugar a otro, desde una fuente hídrica. De acuerdo con Soriano, 2011, se reserva el nombre de bomba hidráulica para aquella que eleva agua. (Soriano, 2011). Este dispositivo se lo presenta

en la figura 3.14. Este actuador es uno de los más importantes para este sistema, ya que el uso de las bombas y el control que se quiere dar por medio de un potenciómetro, se tratará de dar la cantidad de agua necesaria para que la planta pueda crecer en óptimas condiciones, sin sufrir riesgo de no tener la suficiente cantidad de agua, ni tampoco el de contar con mucha agua, el cual puede perjudicar el cultivo de manera importante.

Se escoge esta bomba por su disponibilidad en el mercado, el cual es relativamente mayor que otras bombas. La diferencia primordial entre esta bomba y otras marcas, es que esta funciona con un voltaje variable de 6v a 1v, lo cual lo hace importante ya que se quiere regular el flujo de agua con un potenciómetro, entonces esta bomba es la idea para el proyecto. Otro aspecto importante de esta bomba es el tamaño, ya que el uso frecuente de estas bombas es para bombear agua de peceras, entonces en nuestro proyecto se trabajará con tanque de agua pequeña entonces necesitamos elementos con potencia y de tamaño amigable. El precio representa una desventaja, ya que estos elementos tienen un costo aproximado de \$25 cada uno en Ecuador. Una pequeña desventaja que se puede mencionar en esta sección, es que la estructura de la bomba, hace un poco difícil encontrar las mangueras de conducción de caudal un poco difícil, sin embargo, no es un factor influyente para optar por otra marca.



Figura 3. 14 Bomba de agua JOVTOP.  
Fuente: (JOVTOP, 2011)

### 3.6.8 Ventilador

Dispositivo de enfriamiento que trabaja a 12v – 0.13 Amp. Su cuerpo básicamente es compuesto de plástico. El rodamiento característico de este elemento es por fricción. Actúa a unos 300 RPM. Este dispositivo se lo presenta en la figura 3.15, y se lo escoge debido a su costo en el mercado, el cual es barato. Otra característica importante es que trabaja 12v lo cual es una característica importante porque nos reduce la carga con la que debemos contar para el proyecto. Finalmente, su composición y tamaño también es importante, ya que lo hace más manejable en estructuras pequeñas, como lo es nuestra maqueta.

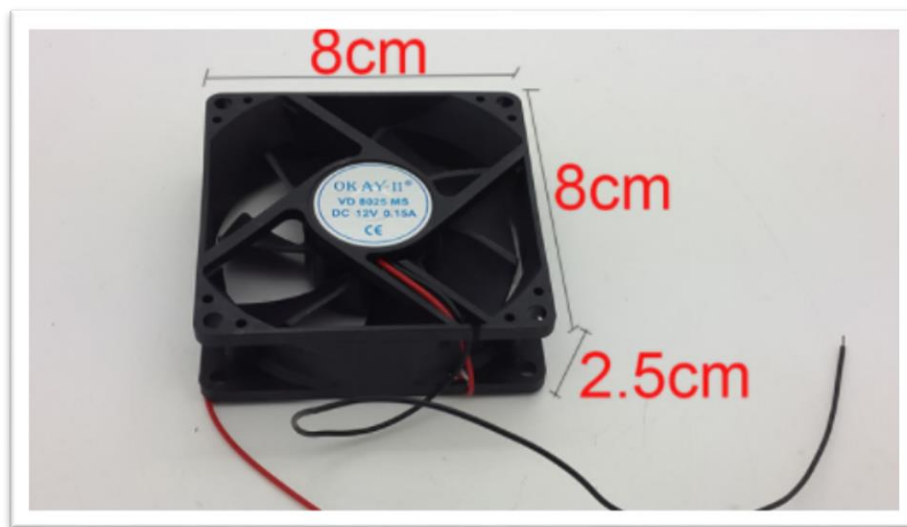


Figura 3. 15 Ventilador de 12v.  
Fuente: (Tokopedia, 2014)

### 3.6.9 Relé

El relé es un dispositivo electrónico que funciona como un interruptor accionado por un electroimán. El relé más sencillo está formado por un electroimán y un interruptor de contactos. (Gobierno de España, 2018). Este dispositivo se lo presenta en la figura 3.16, con la diferencia que se adquiere en el mercado en módulos de 4 relés, lo cual simplifica parte del trabajo que correspondería con la conexión de estos elementos con sus respectivas borneras, y también se encuentran dentro de una tarjeta lo facilita el trabajo y mejora la parte visual.

Para este trabajo se requiere el módulo de relé de 5v, para Arduino como se ve en la figura, por la conveniencia en el momento del uso, así como también por la facilidad de conexión con los diferentes dispositivos que tiene el proyecto en general.

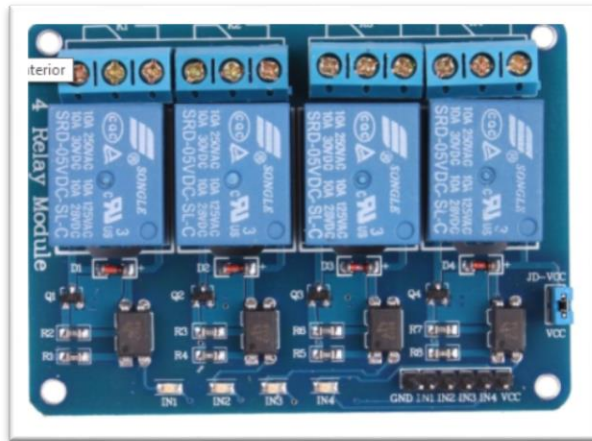


Figura 3. 16 Modulo de relés.  
Fuente: (CDTechnologia, 2010)

### 3.6.10 Buzzer piezoeléctrico

El buzzer piezoeléctrico es un dispositivo que consta de dos elementos. Un electroimán, conocido como disco piezoeléctrico además de una lámina metálica de acero. Este dispositivo se lo presenta en la figura 3.17, y es parte importante del sistema de alerta que se encuentra ubicado en el tanque de agua, ya que este nos indica cada vez que el tanque de agua necesite del agua. Este dispositivo es barato, y tiene disponibilidad en el mercado. Su conexión es sencilla, ya que solo posee dos tipos de vías para la conexión.

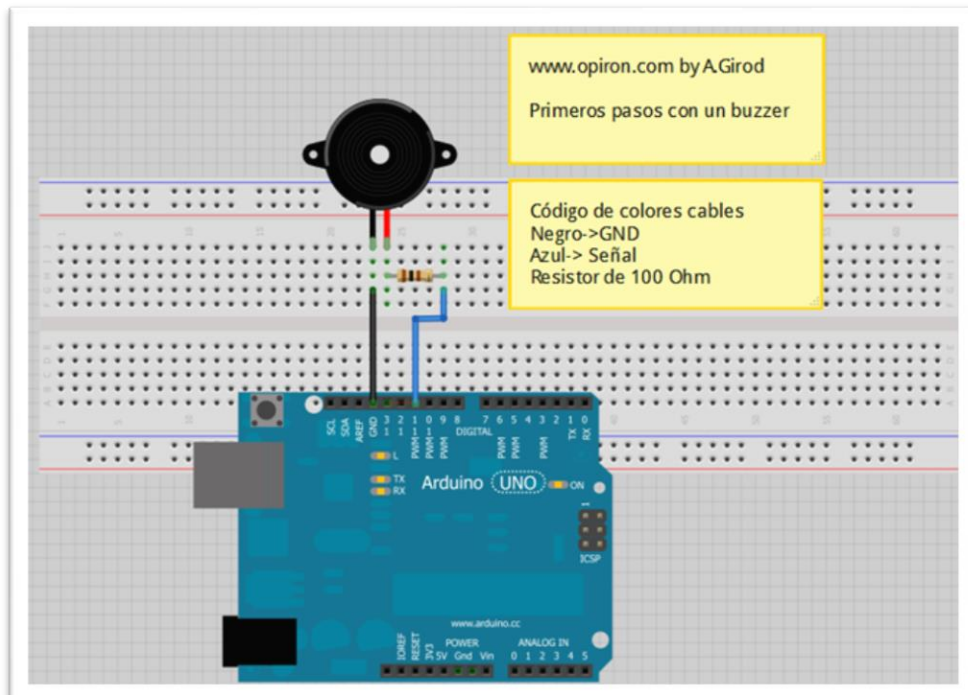


Figura 3. 17 Zumbador o Buzzer piezoeléctrico.  
Fuente: (Girod, 2013)



El buzzer piezoeléctrico es un dispositivo común en la industria electrónica, por lo cual también no ha evolucionado en su composición. Este generador de sonido, tiene un rango de frecuencia estrecho.

### 3.6.11 Potenciómetro

Este dispositivo nos ayuda a modificar valores a nuestra conveniencia para que estén sujetos a los cambios que requiera el proyecto. Como se puede ver en la figura 3.18, este elemento que tiene como característica limitar el paso de la corriente, para que de este modo en el modelo de maqueta que estamos realizando, se pueda corregir el flujo de agua que bota la bomba.



Figura 3. 18 Potenciometro500K.  
Fuente: (MADINTER, 2018)

### 3.6.12 Diodo 1N4148

El diodo 1N4148 es un elemento electrónico discreto que tiene como propósito procesar y detectar señales de manera muy eficaz, y tiene un encapsulamiento de vidrio de tipo DO-35. Este elemento es de gran importancia para el proyecto que se presentará en este trabajo para que se pueda hacer el control de una bomba de agua para el sistema de riego propuesto, elemento que se lo puede ver en la figura 3.19.

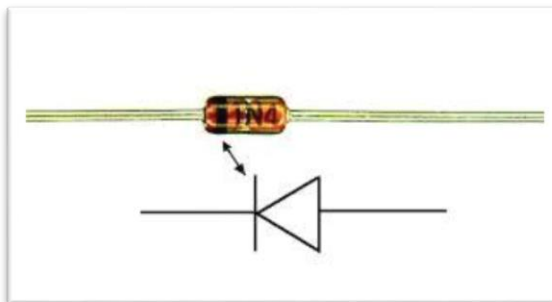


Figura 3. 19 Diodo 1N4148.  
Fuente: (VISHAY, 2018)

### 3.6.13 Circuito Integrado 555

Este componente electrónico se lo conoce como circuito integrado o temporizador IC 555, que se los utiliza básicamente para obtener retardos de respuestas con respecto a pulsos y oscilaciones, como se ve en la figura 3.20. En este tipo de proyecto nos ayudará a manejar los tiempos de respuesta en los cambios de voltaje de la bomba de agua. Su valor y disponibilidad en el mercado es relativamente fácil de adquirir.

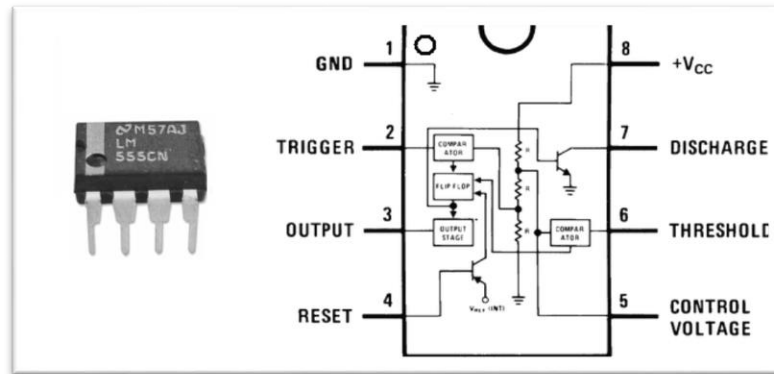


Figura 3. 20 Temporizador IC555.  
Fuente: (Foros de electrónica, 2018).

### 3.6.14 Capacitores

Este componente electrónico, como se lo ve en la figura 3.21, tiene la capacidad de utilizar su naturaleza de composición para tener una propiedad dieléctrica. Este componente también es parte fundamental para la construcción de la maqueta, el cual se desempeñará para que el trabajo junto con el potenciómetro sea de manera óptima. Su valor en el mercado y disponibilidad, contribuye a la facilidad que se necesita con respecto a la urgencia de la adquisición de todos los materiales para la maqueta.

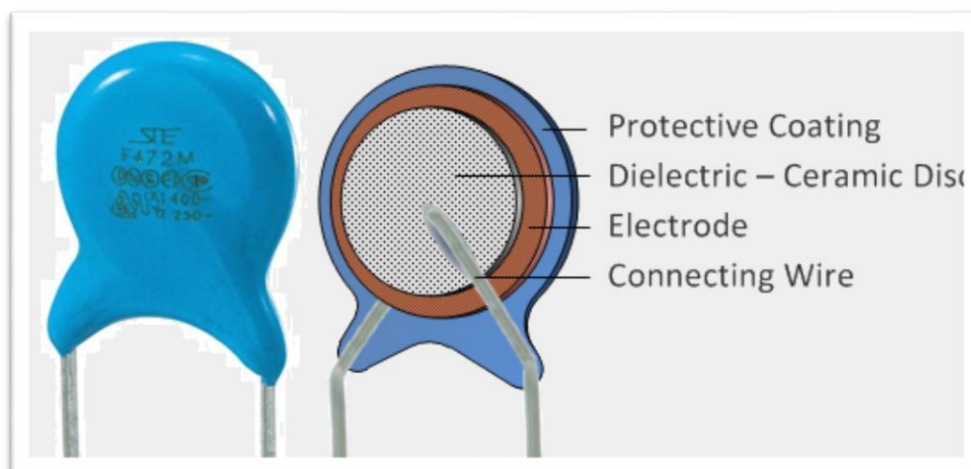


Figura 3. 21 Capacitor cerámico.  
Fuente: (Baterías de condensadores, 2015).



### 3.6.15 Módulo de reloj DS1307

Este módulo nos ayudará a complementar el funcionamiento de la maqueta, para convertirla en un sistema mucho más autónomo. En el caso de que los sensores de humedad de suelo no funcionen, se va a optar por incluir al sistema un módulo de reloj DS1307, el cual activará la bomba de agua en el caso de que el sistema de riego no tenga ningún tipo de respuesta en un lapso de 48 horas. Su disponibilidad en el mercado y su precio lo hace un elemento fácil de adquirir, y no tiene ningún impacto importante con respecto al gasto del sistema completo. Véase figura 3.22.

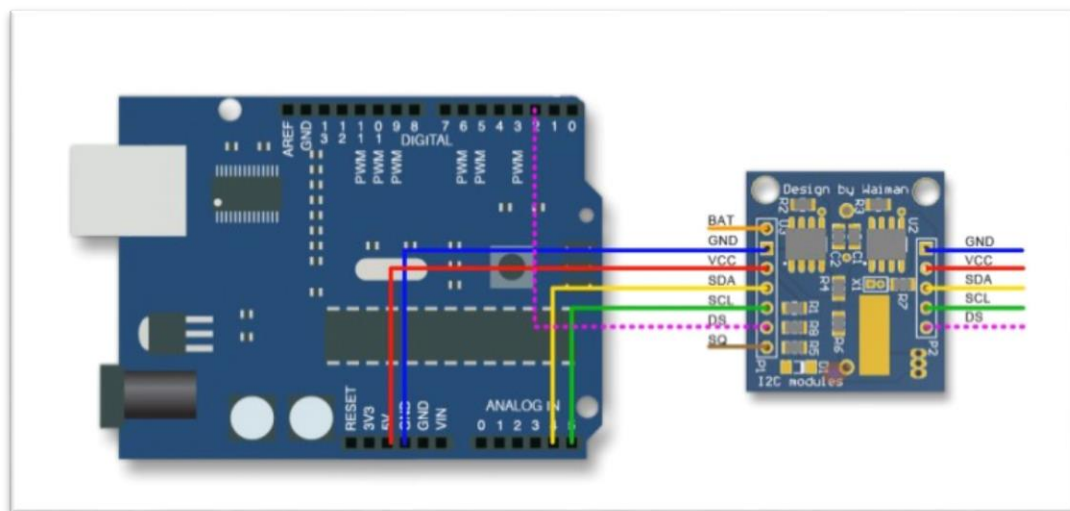


Figura 3. 22 Modulo RTC para ARDUINO.  
Fuente: (Robotpark, 2017).

### 3.6.16 Presupuesto del proyecto

En esta sección, se detallará el monto utilizado para la realización de la parcela a escala. Véase tabla 3.1. Se utilizó inicialmente dos microcontroladores ARDUINO UNO, ya que lo que se quiere trabajar de manera independiente la autonomía de los huertos con sus respectivos actuadores y sensores. Se trabajó finalmente con los sensores de humedad, temperatura y ultrasónico. Los actuadores definitivos son las bombas y los ventiladores. También se agregará un potenciómetro para poder regular las revoluciones de la bomba y tener un control extra sobre el flujo de agua que se va a disponer dentro de la maqueta. Todo el sistema se considerará que esta encendido, por lo que se agregará un switch de encendido y apagado, para darle arranque a la maqueta. Entre los elementos que se mencionan a continuación, también consideramos importante el costo de la maqueta y las fuentes de alimentación de todo el sistema, ya que son elementos esenciales para el diseño.

Tabla 3. 1 Costo total del sistema de riego para la maqueta propuesta.

<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Total</b>
2	Arduino Uno	23.64	47.28
1	Sensor ultrasónico HCSR04	3.00	3.00
2	Sensor de temperatura DHT11	4.00	8.00
2	Sensor de humedad FC-28	4.68	9.36
2	Bombas sumergibles JOVTOP	25.00	50.00
1	Buzzer piezoeléctrico	35.00	35.00
2	Ventilador de 12V	15.00	30.00
2	Pantalla LCD	5.00	10.00
1	Fuente de alimentación regulable 1v – 12v a 2Amp	3.00	3.00
2	Modulo RTC	1.50	3.00
1	Fuente de 12V a 5 A	12.00	12.00
4	Relé 5v	3.00	12.00
2	Potenciómetros 500K	2.50	5.00
2	Potenciómetros 1M	2.95	5.90
2	Diodos 1n4148	1.50	3.00
2	Integrado 555	2.35	4.70
2	Capacitor 10nF	1.15	2.30
2	Resistencia 1K	0.50	1.00
1	Caja de madera	20.00	20.00
1	Semillas de lechuga	2.00	2.00
2	Manguera de poliuretano/m	1.40	2.80
1	Switch 110v	5.00	5.00
2	Potenciómetros 500K	2.50	5.00
2	Potenciómetros 1M	3.50	7.00
4	Paquete de tierra de cultivo	2.50	10.00
	<b>Total</b>		<b>296.34</b>

Elaborado por: Autor

## CAPITULO 4: PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

En este capítulo se presenta las diferentes pruebas que se realizaron al sistema de riego, así como el desempeño de cada uno de los actuadores y sensores que se utilizaron durante la implementación de este sistema de riego a escala automatizado, teniendo en cuenta que, en contraste con el sistema de riego propuesto para el huerto ubicado en la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo, tendrá resultados similares o mejores con respecto a la utilización del agua.

### 4.1 Pruebas mecánicas del sistema

Las pruebas mecánicas del sistema comprenden la parte de la construcción de la maqueta con las piezas de roble que fueron previamente diseñadas en AutoCAD. La parte interna de la maqueta se la cubrió con plástico de color negro para que no haya fuga de agua una vez que se empiece con la activación de las bombas y el sistema de riego en general. Como se puede ver en la figura 4.1, se tiene una vista frontal y lateral del sistema sin algunos de los elementos que comprenden la parte mecánica.

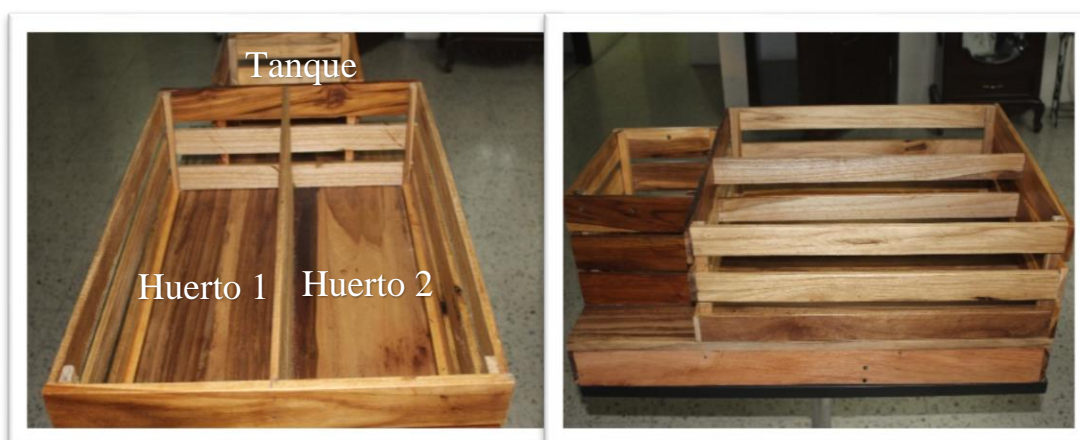


Figura 4. 1 Vista frontal y lateral de la maqueta.  
Elaborado por: Autor

La maqueta tiene como propósito trabajar con dos huertos y un espacio para el reservorio de agua. Luego de tener la maqueta se procede a colocar todo lo que corresponde al sistema de detección de humedad, nivel de agua y temperatura, junto con los actuadores que serían: las bombas, ventiladores, buzzer y las pantallas LCD.

Los microcontroladores se las coloca debajo de la estructura correspondiente el huerto 1 y el huerto 2 para que la parte visual de la maqueta no se vea comprometida. Además,

toda la parte que corresponde al cableado, también se la realiza por debajo de la estructura. La distribución de las mangueras a lo largo de la maqueta, no tuvo ninguna novedad. Al principio se tuvo que hacer arreglo con las mangueras de  $\frac{1}{4}$  de pulgada o 6 milímetros, para que no haya fuga con la entrada y salida de las bombas de agua. Se colocó un tanque de agua de aproximadamente 3 litros, el cual después de las pruebas, dependiendo del estado del suelo, este dura aproximadamente 2 días, aunque esta variable depende también del clima que se presente. La presión del agua no tuvo no injerencia dentro del flujo del caudal entero. Las mangueras no tienen retorno al tanque de agua, por lo que se optó la colocación de dos capsulas al final del corte de cada manguera.

#### 4.2 Pruebas del sistema de alimentación



Figura 4. 2 Distribución de elementos del sistema de riego.  
Elaborado por: Autor

Muchos de los componentes eléctricos se mantienen debajo de la maqueta, por la que parte del diseño es tener un cajón invertido en la parte inferior de los huertos y la parte del tanque, esto también ayudó a que el aspecto visual de la maqueta no se vea comprometida por el cableado que conlleva la construcción de este diseño.

Para las pruebas que se realizaron, se considera como parte principal que el tanque de agua que corresponde al sistema de riego, va a pasar siempre llena. Como se puede ver en la figura 4.3, se hace el cálculo para que el sistema de alerta, en este caso el actuador que se designó para este trabajo es el buzzer piezoeléctrico. Entonces, teniendo en cuenta esto, cada vez que el nivel del agua se encuentra por menos de 5 centímetros con respecto al sensor de nivel, se tiene una respuesta del sistema indicando que falta agua para realizar el sistema de riego.

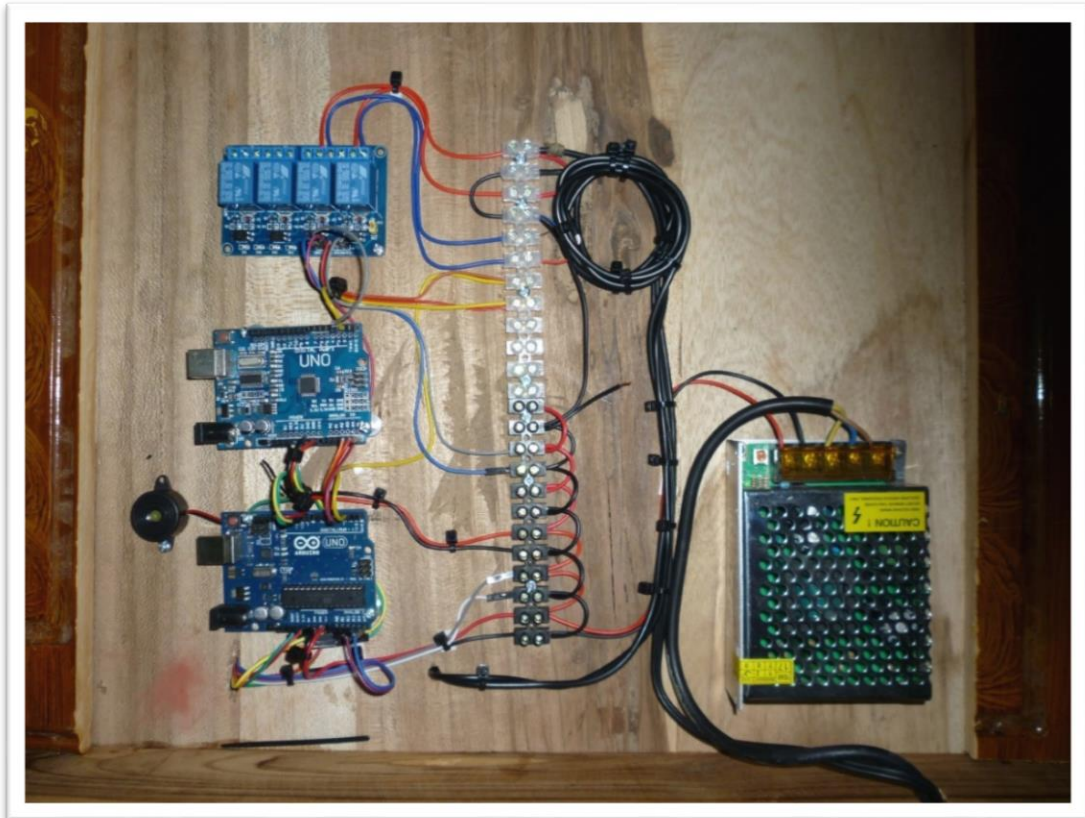


Figura 4. 3 Prueba de sistemas de alimentación y alerta.  
Elaborado por: Autor.

Las pruebas que se realizan para el sistema de alimentación son una de las más importantes porque con esta, se puede establecer si las fuentes abastecen para que todos los elementos que componen la maqueta funcionen correctamente, sin sobrecargar las fuentes para evitar así un fallo mucho más grande. En este caso como se puede ver en la figura 4.3, una de las fuentes de alimentación es el de forma rectangular, que trabajara en conjunto con los ventiladores que simularan el sistema de enfriamiento y las bombas del sistema de riego. Hay una fuente de alimentación extra que servirá para alimentar los microcontroladores y las pantallas LCD. Por ser este un sistema a escala, no se considera en el sistema de riego para el huerto ubicado



en la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo las fuentes necesarias para la alimentación de las bombas y los diferentes actuadores que obviamente variarían por ser de mayor consumo. Los relés que se pueden ver en conjunto con los microcontroladores, son los que trabajan en conjunto con los sensores para dar paso a los actuadores en sus diversas fases dentro del sistema.

### 4.3 Pruebas con sensores

La primera parte de las pruebas se las realiza con todos los sensores. El primer sensor con el que se hizo la prueba de funcionamiento fue con el sensor de temperatura DHT11, el cual una vez conectada a la computadora y al microcontrolador ARDUINO, se comprueba que el sensor se desempeña correctamente, mostrando los valores indicados con respecto a lo esperado. Todas estas lecturas se las realiza por medio de la plataforma ARDUINO.

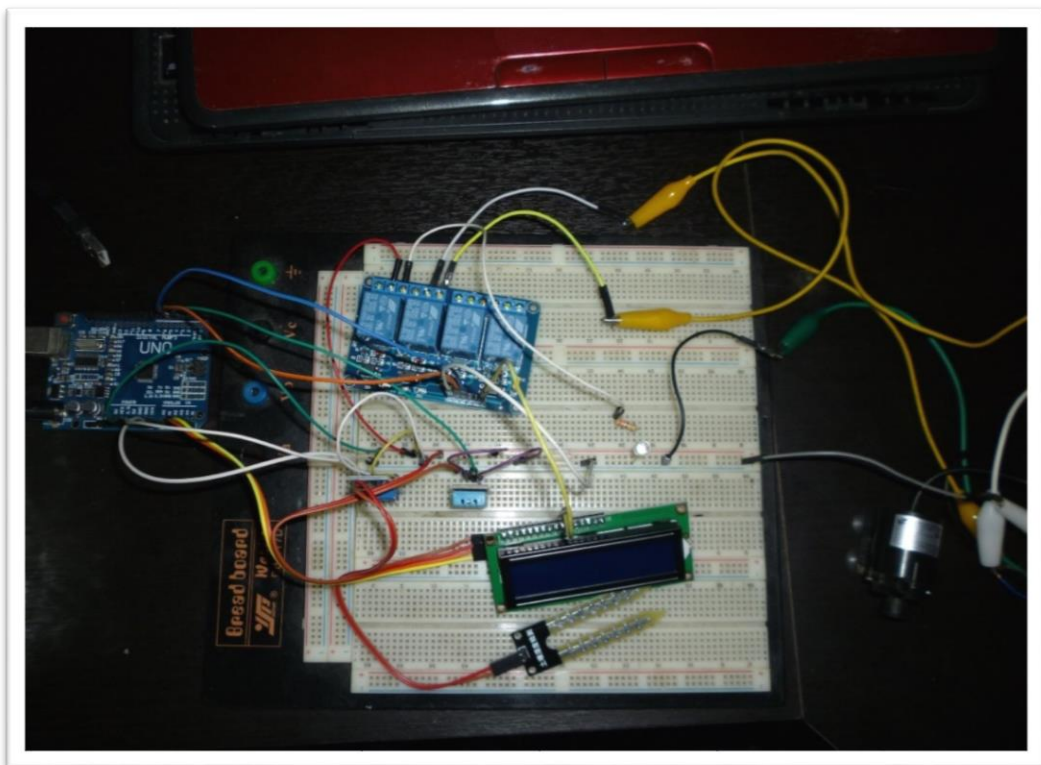


Figura 4. 4 Pruebas con sensores y actuadores.  
Elaborado por: Autor.

Como parte del proceso de esta sección del sistema, se utilizó inicialmente el sensor de nivel CS-C0058. Cuando se realizaron las pruebas se determina que el problema que se sostuvo era los diferentes problemas que presentaba el sensor, y como consecuencia se optó como solución a este problema el uso de un sensor ultrasónico. Este sensor estará ubicado en la parte superior del tanque de agua, y con esto se realizó

el resto de las pruebas pendientes para el sistema de riego. El cambio que se hizo de un sensor de nivel a un sensor ultrasónico se la realiza por las irregularidades que presentaba la alarma. Este elemento traía muchas perturbaciones al sistema y a los actuadores, y por esto el sistema de alerta que debe funcionar cuando no haya agua dentro del tanque, en muchas ocasiones fallaron.

El sensor de humedad de suelo FC-28, también estuvo sujeto a pruebas, y en primera instancia, respondía de manera correcta y rápida a la presencia de agua en el huerto. Se realizó la prueba de detección de agua, y la respuesta del convertidor analógico-digital también fue satisfactorio. Estas pruebas fueron similares a las que se realizó con el sensor DHT11.

Del mismo modo, el módulo RTC DS1307, no presentó ningún tipo de problema y respondió a las diferentes pruebas con respecto al tiempo y los cambios de estado de los relés. Inicialmente, se mantuvo unas fallas en la programación, que se resolvieron posteriormente. Ya que este dispositivo tiene la capacidad de almacenar y llevar cuenta de horas y fechas, se intentó integrar estos parámetros para tener una idea de la última vez que los huertos tuvieron un riego.

Los sensores de temperatura están colocados a una distancia propicia de donde crecerá la lechuga, a aproximadamente unos 15 centímetros. Los sensores de humedad se colocarán en el centro del huerto para que este pueda hacer las respectivas mediciones del suelo y así poder controlar el actuador de manera efectiva. Como se muestra en la figura 4.5, todos los sensores también están conectados con ambos microcontroladores en la parte inferior de la maqueta. El sensor ultrasónico que se utilizó para este modelo a escala se lo coloca en la boca del tanque, y de donde partirá la distribución del agua.

Como parte final de estas pruebas, se considera que los sensores y actuadores funcionen de manera correcta junto con la programación dispuesta para este proyecto en la cual también se puede hacer pruebas parciales y pruebas en general, lo cual es precisamente lo que hace de esta sección muy importante para el avance de los siguientes procedimientos para la culminación del proceso de riego automatizado.

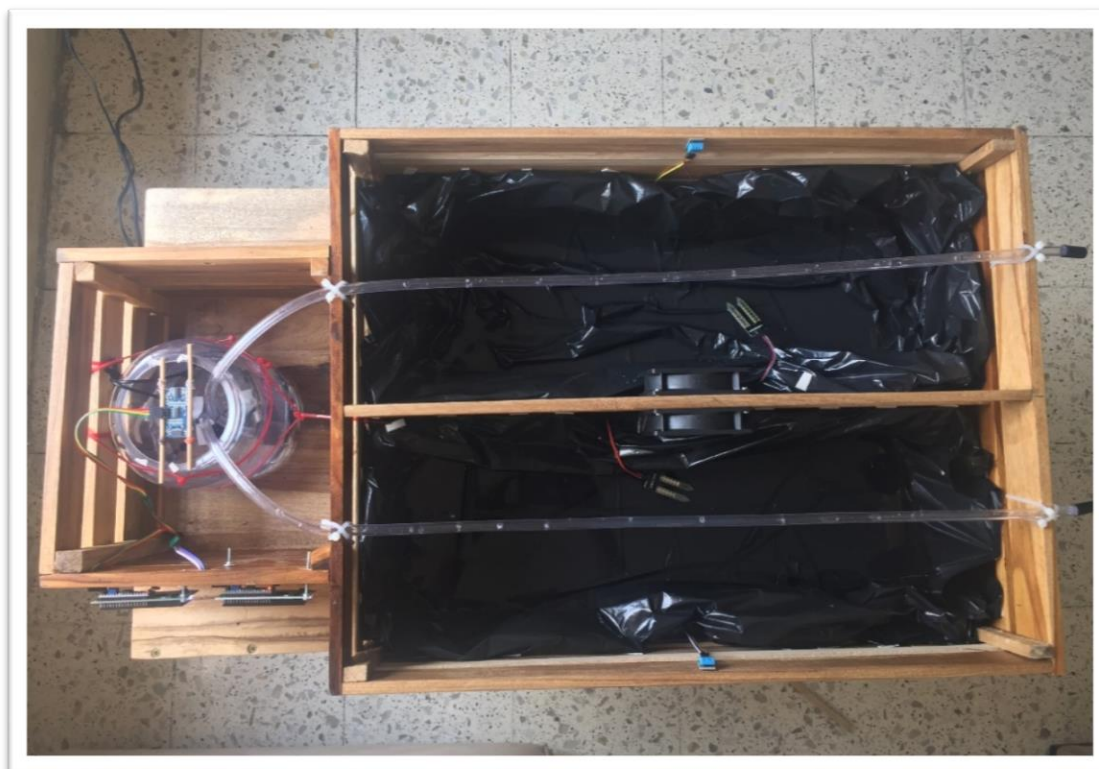


Figura 4. 5 Pruebas de sensores con actuadores en la maqueta.  
Elaborado por: Autor

#### **4.4 Pruebas con actuadores**

El sistema de riego tiene como objetivo principal, ser un riego intensivo y no extensivo. La propuesta que se ha implementado en este trabajo tiene como objetivo mostrar un riego por goteo, las cuales estarán simuladas por las bombas JOVTOP. Las bombas JOVTOP son de tipo sumergibles, y funcionan con un voltaje de 6v – 12v. Además, que estos tanques tienen como características el permitir el flujo de 280 galones por hora. Cabe recalcar que este tipo de bombas sumergibles se las utiliza normalmente para la oxigenación

Una de los inconvenientes que se tuvo es mantener las bombas fijas en el centro del tanque de agua ya que estas son un poco inestables y no ofrecen una salida fácil. Como se ve en la figura 4.5, aparte de los tanques también se tuvo que lidiar con la parte de la conexión de las mangueras de poliuretano y extenderla a lo largo de los huertos. Los huertos tienen sistema de riego independiente, es decir, que solo el huerto que necesite del agua, se activará por medio de lo dispuesto en la programación del ARDUINO UNO. Véase Anexo 1 para los detalles de la programación. En la figura 4.6, se puede observar ver los ventiladores que simulan el sistema de enfriamiento están colocadas



frente a los sensores de temperatura, los cuales se activaran cuando los parámetros de temperatura establecidos también en la programación no se cumplan. Las condiciones de los actuadores también se ven vulneradas por ser un sistema a escala y contribuye bastante la colocación de la maqueta. Por este motivo se propone un sistema de riego para esta región, ya que dentro de los parámetros que se establecieron, fijamos que la temperatura propicia para el crecimiento óptimo de la lechuga estaría dentro de los rangos de 15°C y °25C aproximadamente.



Figura 4. 6 Ventiladores para sistema de enfriamiento.  
Elaborado por: Autor

Finalmente, el sistema de alerta está compuesto por el buzzer piezoeléctrico más las pantallas LCD. El primer elemento está colocado en la parte inferior de la maqueta, y como se ha explicado anteriormente este sería el sistema utilizado para indicar la falta de agua en el tanque. Para las pantallas LCD 6x12, habrá uno para cada huerto, indicando en qué estado se encuentra la humedad del suelo, y también indicando la fecha y hora en la que se realizó el ultimo riego.

#### **4.5 Pruebas de programación**

Las pruebas de la programación se las hizo en diferentes instancias. La primera parte de las pruebas que se realizaron fue la inclusión de las librerías para cada uno de los componentes que se utilizan en la maqueta. Todas las librerías funcionaron de una manera eficaz, a excepción de la librería Ultrasonic.h. La repuesta que se requería de esta librería no era la indicada, por lo que se utiliza después la librería NewPing.h por los diferentes cambios que hay con respecto al anterior. Cabe recalcar que se utiliza esta librería para la calibración del sensor ultrasónico, y no solo permite el uso del HCSR04, sino que ofrece una cantidad importante de sensores con las que se puede trabajar.

Otras de las pruebas que se realiza, es el de calibración de los sensores de humedad y temperatura. Se realiza la prueba en conjunto con los actuadores, y trabajan de manera de rápida. Las lecturas las hacen permanente menta, y solo posee retraso de máximo 1 segundo, lo cual no es un impacto importante al sistema de riego.

Para el módulo RTC DS1307, se realiza dos pruebas importantes. La primera es sin la inclusión de la librería para el uso de este dispositivo. La librería que se utiliza para este dispositivo, es la misma que se utiliza para el módulo I2C, empleada para la comunicación con el LCD 16x2. Para realizar pruebas con este módulo se utiliza la función SETUP para que de este modo se ingrese las variables necesarias para el registro de la información de fecha y hora, el cual el resultado después de un sketch, y después de obtener la lectura adecuada con el microcontrolador, fueron adecuadas. También se realiza la prueba con la librería DS1307RTC y la librería TimeLib, para este elemento. Después de las pruebas, se obtiene las mismas respuestas.

#### **4.6 Prueba del sistema completo**

De manera general, el sistema no presentó fallos en la parte inicial del proceso. Los sensores hicieron la lectura en un tiempo promedio de 5 a 10 segundos antes de emitir un mensaje, teniendo en cuenta que la tierra de sembrío inicialmente estuvo seca. La parte mecánica de la maqueta colaboró eficazmente, a excepción de un problema que se tuvo con el escape de agua, el cual no dio mayor problema, porque se realizó un método de escape para que no se acumule el agua. Probamos el sistema en dos etapas importantes.

Primero con la maqueta en un espacio abierto, teniendo en cuenta la temperatura promedio de la ciudad de Guayaquil, el cual oscilaba entre los 26°C y 28°C. El sistema respondió acorde a lo necesitado y se accionó los relés para encender ambos ventiladores.

En primera instancia los dos sensores de humedad al iniciar el proceso, se consideró que la tierra estaba seca, entonces la respuesta fue inmediata. La tierra una vez que se humedeció, los relés se cerraron para que las bombas dejen de funcionar. Todo esto bajo la ayuda de los LCD para mantener informado al operador del proceso que se está realizando. La última parte del sistema, pero la más importante, funcionó de manera idónea. El sensor ultrasónico al notar un breve descenso en el nivel de agua, no se produjo ningún tipo de cambio. Cuando se llegó a los 5 centímetros de distancia con el que se había configurado el sistema, la alarma se encendió para que se pueda arreglar el problema que presenta el sistema con respecto al agua.

## **CAPITULO 5: RESULTADOS EL SISTEMA DE RIEGO**

Esta sección se encargará de mostrar los resultados del sistema de riego en tres secciones diferentes. Este sistema de riego tiene como propósito optimizar el recurso hídrico que provee la naturaleza, cuando se lleve ese proyecto a larga escala, por lo que es necesario implementar vías de control de riego para que se pueda tener éxito en este tipo de proyecto.

### **5.1 Resultados de los elementos mecánicos**

Los elementos mecánicos del sistema a lo largo del proceso de experimentación no presentaron ningún tipo de anomalía. Todos los elementos, incluyendo el sistema de alimentación, no presentó ningún tipo de problema. Se esperaba tener un sobre calentamiento, pasado las tres horas de funcionamiento, pero todo el proceso concluyó en orden.

### **5.2 Resultados de los actuadores**

Los actuadores del sistema funcionaron de manera correcta durante todo el proceso. Las bombas se activaron de forma correcta y de acuerdo al parámetro establecido con respecto a la humedad del suelo. Del mismo modo, el ventilador trabajó de manera correcta a lo largo del proceso de enfriamiento. Aunque en el proceso normal se ve poco del proceso que engloba un sistema de riego, después de las pruebas que se realizaron, todo funcionó de manera correcta. Los relés, los cuales eran una de las principales preocupaciones dentro de configuración de todo el sistema, se comportaron también de manera satisfactoria. Decimos que se tuvo una duda del funcionamiento de estos relés, debido a que los actuadores funcionan con diferentes voltajes. Las pantallas LCD y el buzzer se comportaron de acuerdo a lo establecido en la programación inicial del sistema, como se puede ver en la figura 5.1.

La incorporación del potenciómetro al sistema de riego, le da una dinámica diferente a todo el proceso, ya que se puede optar por tener dos tipos de cultivo diferentes, en el proceso de germinación y llevarlo a una escala mucho más grande para el proceso de cultivo a larga escala, con un sistema de riego intensivo.



Figura 5. 1 HMI del sistema de riego.  
Elaborado por: Autor.

### 5.3 Resultado de los sensores

Los sensores de temperatura trabajaron de forma eficaz durante todo el proceso. Una de las principales tareas para este proyecto es el de mantener un proceso de riego intensivo, y por lo tanto la lectura de los sensores debe estar configurada de tal forma de que la tierra este siempre húmeda, y que la temperatura promedio cumpla los parámetros dispuestos para el sistema de riego. El sensor de nivel trabajó de manera eficaz permitiendo que el operario pueda saber cuándo hacer el proceso de llenado del tanque. El tiempo de respuesta de todos los dispositivos fueron satisfactorias para el proceso de riego permitiendo un trabajo autónomo conveniente para las disposiciones principales del proyecto. En la imagen 4.8 podemos ver que los sensores cumplen la función que se pretende al accionar la bomba de agua para proceder a activar las bombas de riego y con esto se procede a dar paso al flujo de agua para el riego correspondiente.



Figura 5. 2 Sistema de riego de la maqueta en respuesta al sensor FC-28.  
Elaborado por: Autor

#### **5.4 Metodología aplicada**

Los objetivos que se plantean en este trabajo fueron conseguidos gracias a los métodos de investigación que se emplearon para realizar todo el proceso y todo el estudio pertinente con respecto al problema planteado. La metodología bibliográfica es una de las técnicas más importantes para este trabajo ya que por medio de este método, se llegó a encontrar varias posibilidades y perspectivas para proponer diferentes combinaciones para mejorar el aprovechamiento del agua en los sistemas de riego actuales. También se realiza este trabajo por medio de la metodología bibliográfica ya que también se pudo determinar muchos de las especificaciones técnicas que se pudo sustraer a partir de las hojas de descripción de cada uno de los elementos que conforman el sistema de riego propuesta.

Mediante la metodología experimental, se pudo realizar todas las pruebas correspondientes al uso de sensores y actuadores para el sistema. La constante calibración de estos elementos fue de gran importancia para que los tiempos de

respuesta de los actuadores sean eficaces, y con esto no tener ningún problema con el cultivo establecido para este proyecto. La construcción del huerto y la adquisición de datos es de vital importancia, así como el sistema de alerta para el sensor de agua ubicado en el tanque. Junto con una programación ordenada y coherente se llega al cumplimiento de cada uno de los objetivos planteados para la maqueta, con el propósito que ningún producto dentro del cultivo se vea comprometido

### **5.5 Solución del problema**

El problema inicial que se quiere solucionar en este trabajo engloba básicamente el usar adecuadamente el agua. Mediante este proyecto de titulación, se pretende tener un mejor control de las variables que presenta el cultivo, y de este modo tener un mejor entendimiento de cómo podemos trabajar con estos parámetros para poder establecer una solución concreta. Después de realizar las respectivas investigaciones relacionadas al proceso de cultivo de la lechuga, se obtiene que el control de riego por medio de los sensores establecidos para este proceso, tienen una lectura correcta. Como consecuencia de este proceso se refleja el mejor uso de este recurso, observando que el cultivo no presente ningún problema de crecimiento.

### **5.6 Propuesta de sistema de riego para la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo a partir de los resultados obtenidos.**

Con lo establecido en la maqueta, y con el trabajo que se realizó con las condiciones y necesidades de la lechuga, se presenta el diseño de un riego automatizado para el huerto ubicado en la facultad técnica de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil, como el que se presenta en la figura 5.3, el cual muestra las opciones en la que se puede implementar este tipo de riego. Las dimensiones del huerto de lechuga mencionado, es de 5m de largo por 1m de ancho, lo que indica que vamos a trabajar con tres hileras que estarán separadas entre ellas 30cm una de otra, y las ubicadas en los extremos se encontrarán con 20cm de distancia con respecto al borde. En cada hilera se tendrá 19 lechugas que estarán separadas entre ellas por una distancia de 25cm, asimismo, como se separarán a 25cm de los bordes, según Elorsa, 2011.

De acuerdo con Serida, 1998, se menciona que la lechuga necesita mantenerse con su área húmeda en un rango de 60% y 80%, y además de ello, se debe hacer un riego a su



directa a su raíz. De esta manera, se mantiene sano el cultivo evitando la deshidratación de la lechuga y un crecimiento sin estrés para la planta en cuestión.

Con estas condiciones del huerto y de la planta, se genera los requerimientos mínimos del cultivo, tales como: demanda neta del cultivo, demanda bruta del cultivo, riego diario y con ello, procede a calcular la potencia que se necesita para la bomba que abastecerá a todo el huerto. Además de haber hecho un sistema de riego automatizado, se puede también agregar el sistema otros parámetros importantes con respecto a las señales de alerta con respecto al cultivo, menciones que se harán en la sección de recomendaciones.



Figura 5. 3 Huerto de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo.  
Elaborado por: Autor

### 5.6.1 Cálculos importantes para el sistema de riego propuesto

EL riego diario del cultivo se basa en el dato para el ETR que será de  $2.74 \text{ mm día}^{-1}$  a partir de los resultados de (Cun, Duarte, & Montero, 2015).

$$ETP = Kc \times ETR$$

$$ETP = 0.95 \times 2.74 = 2.603 \text{ mm día}^{-1}$$

$$o. DNC = \frac{ETP \times MP \times PC}{100}$$



$$DNC = \frac{2.601 \times 30 \times 0.9}{100} = 0.7 \text{ litros/día}$$

$$DBC = \frac{DNC}{\text{eficiencia}}$$

$$DBC = \frac{0.7}{0.9} = 0.78 \text{ litros/día}$$

$$TRD = \frac{0.78}{1 \times 1.28 \text{ l/h}} = 0.6 \text{ horas al día por planta}$$

Con el cálculo realizado, se tiene un resultado de que cada planta de lechuga necesitaría 36 minutos al día de riego, tomando en cuenta de que cada gotero tendrá un caudal de 1.28 litros/h, que satisface la demanda de cultivo de 2 litros por m<sup>2</sup> al inicio del cultivo.

A partir de la segunda semana, el tiempo de riego debe aumentar y por tanto la demanda neta del cultivo, para satisfacer la demanda de cultivo de 4 litros por m<sup>2</sup>. Entonces:

$$ETP = Kc \times ETR$$

$$ETP = 0.95 \times 3.5 = 3.32 \text{ mm día}^{-1}$$

$$DNC = \frac{ETP \times MP \times PC}{100}$$

$$DNC = \frac{3.32 \times 30 \times 0.9}{100} = 0.89 \text{ litros/día}$$

$$DBC = \frac{DNC}{\text{eficiencia}}$$

$$DBC = \frac{0.94}{0.9} = 0.98 \text{ litros/día}$$

$$TRD = \frac{0.98}{1 \times 1.28 \text{ l/h}} = 0.76 \text{ horas al día por plant}$$

Lo que equivale a 46 minutos de riego por planta al día.

Del mismo modo, después de dos semanas, la dosis de riego aumenta a 8 litros/m<sup>2</sup> mínimo para el cultivo. Entonces:

$$ETP = K_c \times ETR$$

$$ETP = 0.95 \times 4 = 3.8 \text{ mm día}^{-1}$$

$$DNC = \frac{ETP \times MP \times PC}{100}$$

$$DNC = \frac{3.8 \times 30 \times 0.9}{100} = 1.02 \text{ litros/día}$$

$$DBC = \frac{DNC}{\text{eficiencia}}$$

$$DBC = \frac{0.94}{0.9} = 1.13 \text{ litros/día}$$

$$TRD = \frac{0.98}{1 \times 1.28 \text{ l/h}} = 0.88 \text{ horas al día por planta}$$

Esto, finalmente equivale a 53 minutos de riego al día para satisfacer la demanda del cultivo. Potencia de una bomba hidráulica:

$$P = \rho \times g \times Q \times h$$

$$P = 1 \times 9.81 \times 1.28 \times 10^{-3} \times 1 = 0.0125 \text{ Vatios}$$

### 5.6.2 Materiales y presupuesto

Entre los actuadores que se propone en el sistema de riego para el huerto que se encuentra ubicado en la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo, podemos contar con los mismos elementos que se disponen en la maqueta a escala, pero con la gran diferencia que, por ser un sistema a una escala real, el cálculo de carga que requiere este sistema de riego automatizado, será mayor. También es conveniente mencionar, que los elementos se multiplicarán porque tendrían que cubrir un espectro muchas más amplio que el propuesto en la maqueta.

A continuación, se detalla el presupuesto que se realizó a partir de los datos de la parcela hecha a escala y de las interpolaciones de estas para el diseño del sistema integrado, teniendo en cuenta que es para 1 solo huerto de los 5 disponibles en la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo. Véase tabla 3.2, para que se pueda apreciar cada uno de los componentes que integrarían el sistema de riego en el huerto de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Por la naturaleza, del huerto los componentes cumplen las mismas características del huerto a escala, descrita con anterioridad, pero a su vez, la diferencia más importante que se puede encontrar es precisamente el tema de costo y el tema de estudio de carga para todo el sistema, ya que, por ser de mayores dimensiones, por lógica se aplicaría instrumentos que requieran de una carga de voltaje más elevada que la presentada.

Tabla 5. 1 Materiales y costos del sistema propuesto para un huerto de la FETD.

<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Total</b>
<b>1</b>	Arduino MEGA	23.64	45.70
<b>10</b>	Sensor de humedad FC-28	4.68	46.80
<b>1</b>	Pantalla LCD	5.00	5.00
<b>5</b>	Sensores DHT11	4.00	20.00
<b>1</b>	Buzzer piezoeléctrico	35.00	35.00
<b>2</b>	Relé 110v	10.00	20.00
<b>1</b>	Manguera 30 mts.	90.00	90
<b>1</b>	Caja de madera	20.00	20.00
<b>1</b>	Boya para nivel de agua	15.90	15.90
<b>1</b>	Paquete de semillas de lechuga	2.00	2.00
<b>1</b>	Electroválvula	15.00	15.00
<b>4</b>	Paquete de tierra de cultivo	2.50	10.00
<b>1</b>	Fuente de 12V a 5 A	12.00	12.00
<b>1</b>	Bombas de agua 110v	125.00	125.00
	<b>Total</b>		<b>462.40</b>

Elaborado por: Autor

## **CAPITULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **6.1 Conclusiones**

La parte fundamental de este trabajo se enfoca bastante en la utilización de agua para este tipo de huerto, y el aprovechamiento de este recurso con elementos inteligentes que ayuden a procesar datos importantes dentro de proceso agrícolas. En el caso de este sistema de riego por goteo automatizado, se especifica que la lechuga es una legumbre de ciclo corto que necesita un tipo de riego intensivo. La construcción de la maqueta ayuda a entender que el sistema de riego automatizado para lechugas es posible, gracias al uso de microcontroladores, sensores y actuadores eficaces.

Se implementa un sistema de riego automatizado con dos microcontroladores, en la que se crea un equilibrio entre la lectura de los sensores con respecto a las condiciones de crecimiento óptimo de la lechuga, y este a su vez tiene una respuesta apropiada del sistema para que se cumplan las condiciones indicadas en la programación y supla de manera efectiva el agua que necesita las plantas del huerto. Además, de dinamizar el proceso de riego con un potenciómetro, variante importante que permite que el flujo del agua también este acorde a lo que el operario requiera.

El sistema de riego cumple con el diseño de fuerza y de control que establece un parte del sistema correspondiente al encendido y apagado, y a su vez el control necesario de los relés para que los actuadores cumplan con su función determinada para que el riego de la planta no sufra ningún tipo de estrés.

Al observar el funcionamiento del sistema automatizado de riego de la maqueta propuesta, se puede constatar que los sensores tienen una lectura de variables adecuada lo que genera que los actuadores funcionen de manera adecuada, e indica que la lógica de programación que se implementó conduzcan de manera efectiva la correcta activación y desactivación del sistema en sus diferentes instancias.

### **6.2 Recomendaciones**

Las recomendaciones que se pueden dar a este sistema de riego de acuerdo a lo observado durante la construcción de la maqueta, el trabajo de investigación con respecto a los sistemas de riego y los parámetros que debe respetar la programación

para poder facilitar un tipo de proceso eficiente, podemos definir las siguientes recomendaciones:

- Se puede optar por una cubierta plástica para el huerto para hacer uso de la evapotranspiración, y ahorrar aún más agua, el cual puede funcionar con lo que nos mida los sensores de temperatura.
- Se puede agregar un control para el pH del suelo, ya que es una limitación de este proyecto, y tener una relación mucho más completa del sistema de riego y el cultivo de lechuga.
- Mantenimiento preventivo a cada uno de los actuadores y sensores para que los cultivos no corran el riesgo de algún tipo de plaga provocada por el exceso de agua.

### **6.3 Futuros proyectos relacionados a sistemas de riego**

Después de haber realizado este proyecto, y ver el alcance del control y la automatización en el área agroindustrial, los trabajos que pueden desencadenarse a partir de este proyecto pueden variar, desde el cultivo de flores, hasta sistemas de riego para huertos verticales, que es una de las propuestas en auge en Europa. En lo que corresponde el sistema de riego para el huerto de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo, podemos hacer la implementación de un sistema de red de sensores para hacer controles simultáneos, en los cinco huertos. Además de los actuadores que tuvimos en el proyecto presentado en este trabajo, podemos incluir diferentes etapas del cultivo y hacerlas por separado, ya que la lechuga, por ejemplo, primero necesita una etapa de germinación para después ponerlo en sistema de riego intensivo. La inclusión de paneles solares como sistema de alimentación de todo el sistema también es posible después de un cálculo de carga total del sistema y tener un proceso independiente de riego.

## BILIOGRAFÍA

- Abellán, L. (2008). Sensor de Nivel. En *Sensores de nivel utilizados en la automatización industrial* (págs. 7-8). Costa Rica: Universidad de Costa Rica.
- Agriculturers. (2016). Recuperado el 12 de enero de 2018 de <http://agriculturers.com/como-optimizar-el-fertirriego-bajo-un-sistema-de-riego-por-goteo/>
- ARDUINO. (2018). *ARDUINO*. Recuperado el 12 de enero de 2018 de <https://www.arduino.cc/en/Reference/Wire>
- Baterías de condensadores . (2015). *Baterías de condensadores*. Recuperado el 12 de enero de 2018 de <http://www.bateriasdecondensadores.com/capacitor-ceramico-capacitores-ceramicos/>
- Bausa, J., García, C., Zaragoz, B., Gil, A., Moreno, D., y Galiana, A. (2003). *Sensores de Temperatura*. Valencia: Universitat Politècnica de Valencia.
- CDTechnologia. (2010). *Modulo Rele 4 canales para arduino*. Recuperado el 12 de enero de 2018 de <http://cdtechnologia.net/sensores/68-modulo-rele-para-arduino.html>
- Comision para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2012). *Diagnóstico de las Estadísticas del Agua en Ecuador*. Guayaquil.
- Cun, R., Duarte, C., y Montero, L. (2015). Evapotranspiración y coeficiente de cultivo de la lechuga (BSS-13) en condiciones de organopónico. *Revista Ingeniería Agrícola*, 10-15.
- Dirección General de Industria, Energía y Minas. (2007). *La domótica como solución del futuro*. Madrid.
- Domótica. (2017). Recuperado el 12 de enero de 2018 de <https://sites.google.com/a/unitecnica.net/domotic/-que-aporta-la-domotica>

- Elorza, M. I. (2011). *Munistgo*. Recuperado el 12 de enero de 2018 de <http://www.munistgo.info/medioambiente/wp-content/uploads/2016/10/Cultivo-de-un-huerto.pdf>
- Estudio FAO Riego y Drenaje 56. (2018). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura*. Recuperado el 12 de enero de 2018 de <http://www.fao.org/3/a-x0490s.pdf>
- Explorable. (2008). *Explorable*. Recuperado el 12 de enero de 2018 de <https://explorable.com/es/investigacion-experimental>
- Foros de electrónica. (2018). *Foros de electrónica*. Recuperado el 12 de enero de 2018 de <http://www.forosdeelectronica.com/tutoriales/555.htm>
- García del Moral, L., F. L., Romero, L., y I., S. (1979). *Prácticas de Fisiología Vegetal*. Granada: Universidad de Granada.
- García, I., y Briones, G. (1997). *Sistemas de Riego por Aspersión y Goteo*. México: Trillas Editorial, S. A.
- García, J. (2006). *Flujo Permanente Gradualmente Variado*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia, Cede Manizales.
- Girod, A. (2013). *Opirom Electronics: Primeros pasos con un buzzer*. Recuperado el 12 de enero de 2018 de <http://opironelectronics.blogspot.com/2013/02/primeros-pasos-con-un-buzzer.html>
- Gobierno de España. (2018). Recuperado el 12 de enero de 2018 de <http://platea.pntic.mec.es/~pcastela/tecno/documentos/apuntes/rele.pdf>
- Gobierno Regional de Coquimbo. (2000). Aporte de Agua. En I. d. Agropecuarias, *Estimación de la Demanda de Agua en los Cultivos* (págs. 1-5). Coquimbo: Ministerio de Agricultura.

- González, J. (2008). *Fieras de la Ingeniería*. Recuperado el 12 de enero de 2018 de <https://www.fierasdelaingenieria.com/sensores-inalambricos-en-la-mejora-de-la-agricultura/>
- Hernández Sampieri, R., Baptista Lucio, P., y Fernández Collado, C. (2000). *Metodología de la investigación*. México: McGraw-Hill.
- Higrometría. (2018). Recuperado el 12 de enero de 2018 de [http://meteo.fisica.edu.uy/Materias/PBMA/PBMA\\_teotico/Bolilla4.pdf](http://meteo.fisica.edu.uy/Materias/PBMA/PBMA_teotico/Bolilla4.pdf)
- Infojardín. (2017). Recuperado el 12 de enero de 2018 de <http://articulos.infojardin.com/articulos/sistemas-riego-jardin.htm>
- JOVTOP. (2011). *Alibaba Manufacturer Directory - Suppliers, Manufacturers, Exporters & Importers*. Recuperado el 12 de enero de 2018 de [https://jovtop.en.alibaba.com/productshowimg/60533160827-805473270/DC\\_5\\_12V\\_Small\\_Brushless\\_Submersible\\_solar\\_fountain\\_Pump\\_for\\_Notebook\\_Aquarium.html?spm=a2700.8304367.prge37c812.2.26ea3a14SlaU0N](https://jovtop.en.alibaba.com/productshowimg/60533160827-805473270/DC_5_12V_Small_Brushless_Submersible_solar_fountain_Pump_for_Notebook_Aquarium.html?spm=a2700.8304367.prge37c812.2.26ea3a14SlaU0N)
- King, H., y Brater, E. (1992). *Manual de Hidráulica*. Mexico: UTEHA.
- Llamas, L. (2016). *Ingeniería, informática y diseño*. Recuperado el 12 de enero de 2018 de <https://www.luisllamas.es/arduino-humedad-suelo-fc-28/>
- MADINTER. (2018). *Potenciómetro logaritmico 500K*. Recuperado el 12 de enero de 2018 de <http://www.madinter.com/potenciometro-500k-logaritmico.html>
- Mancha, U. C. (2017). Necesidades de Riego de los Cultivos. En P. Alcobendas, & M. Marta. España.
- Matheus, F. (2011). Diseño Agronómico. En *DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN PARA EL CULTIVO DE PAPA, EN UN SECTOR DE LA FINCA "ESTAPAPE", SECTOR ESTAPAPE, PARROQUIA LA QUEBRADA, MUNICIPIO URDANETA, ESTADO TRUJILLO* (pág. 49). Trujillo: Universidad de los Andes.



- McKenney, M. S., y Rosenberg, N. J. (1993). Sensitivity of some potencial evapotranpiration estimation methods to climate change. *Agricultural and Forest Meteorology*, 81-110.
- MCUHQ. (2016). *Microchip*. Recuperado el 12 de enero de 2018 de <http://mcuhq.com/18/how-to-interface-16x2-lcd-with-pic16f877-microcontroller>
- Olano, E. (2017). *Escuela de Ingeniería de Antioquía*. Recuperado el 12 de enero de 2018 de fluidos y recursos hidráulicos: <http://fluidos.eia.edu.co>
- Parra, H. (2012). Demanda neta del cultivo. En *Diseño de un sistema de riego por goteo automatizado* (pág. 40). Obregón: Instituto Tecnológico de Sonora.
- Parra, H. (2012). *Diseño de un Sistema de Riego por Goteo*. Obregón: Instituto Tecnológico de Sonora. Recuperado el 12 de enero de 2018 de [http://biblioteca.itson.mx/dac\\_new/tesis/360\\_parra\\_hector.pdf](http://biblioteca.itson.mx/dac_new/tesis/360_parra_hector.pdf)
- Pereira, L. S., de Juan Valero, J. A., Picornell, M. R., y Tarjuelo, J. M. (2010). *Centro Regional de Estudios del Agua*. Recuperado el 12 de enero de 2018 de [http://crea.uclm.es/crea/descargas/\\_files/El\\_Riego\\_y\\_sus\\_Tecnologias.pdf](http://crea.uclm.es/crea/descargas/_files/El_Riego_y_sus_Tecnologias.pdf)
- Ramírez, A. (2001). *Riego por goteo simplificado*. México: Instituto Politécnico Nacional.
- Real Academia Española. (2017). Recuperado el 12 de enero de 2018 de <http://dle.rae.es/?id=E7W0v9b>
- Riley, W., y Sturges, L. (1992). *Ingeniería Mecánica. Estática*. Barcelona : Reverté S.A.
- Robotpark. (2017). *Robotic Technology Center*. Recuperado el 12 de enero de 2018 de <http://www.robotpark.com/DS1307-I2C-Real-Time-Clock-Module>
- Saldarriaga, J. (1998). *Hidráulica de Tubería: Abastecimiento de Agua, Redes y Riegos*. Bogotá : Marcombo.

- Salgado Seguel, L. (1966). En *Métodos para determinar evapotranspiración actual y potencial*. Chillán: Universidad de Concepción, Chile.
- Sánchez Toribio, M. I. (1992). *Métodos para el estudio de la evaporación y evapotranspiración*. Zaragoza: Geofoma Ediciones.
- Sánchez, J. (1948). En C. W. Thornthwaite, *An aproach toward a Rationa Classification of Climate* (págs. 55-64). American Geographical Society.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. (1977). *2do Seminario Latinoamericano Sobre Riego por Goteo*. México: Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas.
- SENAGUA. (2011). (C. p. Caribe, Ed.) Recuperado el 12 de enero de 2018 de <http://aplicaciones.senagua.gob.ec/servicios/descargas/archivos/download/Diagnostico%20de%20las%20Estadisticas%20del%20Agua%20Producto%20IIc%202012-2.pdf>
- Serida. (1998). *Producción de lechuga*. Recuperado el 12 de enero de 2018 de <http://www.serida.org/pdfs/271.pdf>
- SiAR. (2018). *Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente*. Recuperado el 12 de enero de 2018 de [http://www.mapama.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/gestion-sostenible-regadios/Coeficientes\\_de\\_cultivo\\_tcm7-188677.pdf](http://www.mapama.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/gestion-sostenible-regadios/Coeficientes_de_cultivo_tcm7-188677.pdf)
- SIMARBC. (2017). *Sistema de Información para el Manejo de Agua de Riego en Baja California*. Recuperado el 12 de enero de 2018 de [http://www.simarbc.gob.mx/Coeficiente%20del%20cultivo%20\(Kc\).pdf](http://www.simarbc.gob.mx/Coeficiente%20del%20cultivo%20(Kc).pdf)
- Singh, R., y Chauman, H. (1996). *Irrigation Scheduling in wheat under shallow water table conditions*. San Antonio, Texas.
- Soriano, J. (2011). Recuperado el 12 de enero de 2018 de <http://www.uco.es/termodinamica/ppt/pdf/fluidos%2012.pdf>
- Taiz, L., y Zeiger, E. (2002). *Plant Physiology*. Sinauer Associates.

- Thayer, L. (2018) *ARDUINO*. Recuperado el 14 de enero de 2018 de <http://www.arduino.cl/arduino-uno>
- TechPonder. (2015). *How to Interface Humidity and Temperature (DHT11) Sensor to Arduino and Including DHT11 Library*. Recuperado el 12 de enero de 2018 de <http://www.instructables.com/id/How-to-interface-Humidity-and-Temperature-DTH11-Se/>
- Tigse, A., y Chacón, J. P. (2017). Microcontroladores. En *Automatización de los procesos de un huerto hidropónico para el control de variables, utilizando sistemas basados en microcontroladores* (págs. 42-43). Guayaquil: Universidad Católica Santiago de Guayaquil.
- Tokopedia. (2014). *Jual Mini Box Fan Kipas Kotak DC 12V 8 X 8 cm 1,5W - German Shop*. Recuperado el 12 de enero de 2018 de <https://www.tokopedia.com/germany/mini-box-fan-kipas-kotak-dc-12v-8-x-8-cm-15w>
- Universidad Politécnica de Madrid. (2007). *OperCourseWare*. Recuperado el 14 de enero de 2018 de <http://ocw.upm.es/ingenieria-agroforestal/climatologia-aplicada-a-la-ingenieria-y-medioambiente/contenidos/tema-8/COEFICIENTE-DE-CULTIVO.pdf>
- Velasco, N. (2005). *Microcontroladores*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- VISHAY. (2018). *VISHAY Semiconductors*. Recuperado el 12 de enero de 2018 de <https://www.vishay.com/docs/81857/1n4148.pdf>

## ANEXOS

### ANEXO A – CODIGO FUENTE PARA HUERTO 1

```
#include <Wire>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
// Set the LCD address to 0x27 for a 16 chars and 2 line display
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

int waterPump = 4;
#define waterPump_ON 0
#define waterPump_OFF 1

int fan = 3;
#define fan_ON 0
#define fan_OFF 1

#include "DHT.h"
#define DHTPIN 2
#define DHTTYPE DHT11
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
//librerias del DHT 11
int Temp=27;

void setup() {
  // initialize the LCD
  lcd.begin();
  pinMode(waterPump, OUTPUT);
  // Turn on the backlight and print a message.
  lcd.backlight();
  //lcd.print("SHD");

  dht.begin();
  pinMode(fan, OUTPUT);
}

void loop() {
  int humidityRaw = analogRead(A0); // 1023 to 0 ==> 0 to 100%
  int humidityReal = map(humidityRaw, 1023, 0, 0, 100);
  // Ubicamos el cursor en la primera posición(columna:0) de la segunda línea(fila:0)
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("HS:");
  lcd.print(humidityReal);
  lcd.print("% ");
  delay(1000);
  if (humidityReal < 7)
  {
```

```

    // Ubicamos el cursor en la primera posición(columna:0) de la segunda
línea(fila:1)
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Necesita agua  ");
    digitalWrite(waterPump, waterPump_ON );
}else{
    // Ubicamos el cursor en la primera posición(columna:0) de la segunda
línea(fila:1)
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Humedo, no regar");
    digitalWrite(waterPump, waterPump_OFF);

}

float t=dht.readTemperature();
// Ubicamos el cursor en la primera posición(columna:9) de la segunda línea(fila:1)
    lcd.setCursor(7, 0);
    lcd.print("Temp:");
    lcd.print(t,0);
    lcd.print("C ");
    if(t>=Temp){
        digitalWrite(fan, fan_ON);
    }

    if(t<Temp){
        digitalWrite(fan, fan_OFF);
    }
    delay(100);
}

```

## ANEXO B – CODIGO FUENTE PARA HUERTO 2

```
#include <Wire's>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
// Set the LCD address to 0x27 for a 16 chars and 2 line display
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

#include <NewPing.h>

/*Aqui se configuran los pines donde debemos conectar el sensor*/
#define TRIGGER_PIN 9 //uktrasonido
#define ECHO_PIN 10
#define MAX_DISTANCE 160

int led=13;
/*Crear el objeto de la clase NewPing*/
NewPing sonar(TRIGGER_PIN, ECHO_PIN, MAX_DISTANCE);

int waterPump = 4;
#define waterPump_ON 0
#define waterPump_OFF 1

int fan = 3;
#define fan_ON 0
#define fan_OFF 1

#include "DHT.h"
#define DHTPIN 2 // pin del sensor de temperatura
#define DHTTYPE DHT11
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
//librerias del DHT 11
int Temp=27; // cambiar temperatura aqui

void setup() {
  // initialize the LCD
  lcd.begin();
  Serial.begin(9600);
  pinMode(led, OUTPUT);
  pinMode(waterPump, OUTPUT);
  // Turn on the backlight and print a message.
  lcd.backlight();
  //lcd.print("SHD");

  dht.begin();
  pinMode(fan, OUTPUT);
}
```

```

void loop() {
  int humidityRaw = analogRead(A0); // 1023 to 0 ==> 0 to 100%
  int humidityReal = map(humidityRaw, 1023, 0, 0, 100);
  // Ubicamos el cursor en la primera posición(columna:0) de la segunda línea(fila:0)
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("HS:");
  lcd.print(humidityReal);
  lcd.print("% ");
  delay(1000);
  if (humidityReal < 7)
  {
    // Ubicamos el cursor en la primera posición(columna:0) de la segunda
línea(fila:1)
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Necesita agua  ");
    digitalWrite(waterPump, waterPump_ON );
  }else{
    // Ubicamos el cursor en la primera posición(columna:0) de la segunda
línea(fila:1)
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Humedo, no regar");
    digitalWrite(waterPump, waterPump_OFF);
  }

  float t=dht.readTemperature();
  // Ubicamos el cursor en la primera posición(columna:9) de la segunda línea(fila:1)
  lcd.setCursor(7, 0);
  lcd.print("Temp:");
  lcd.print(t,0);
  lcd.print("C ");
  if(t>=Temp){
    digitalWrite(fan, fan_ON);
  }

  if(t<Temp){
    digitalWrite(fan, fan_OFF);
  }
  //delay(100);

  // Esperar 1 segundo entre mediciones
  //delay(1000);
  // Obtener medición de tiempo de viaje del sonido y guardar en variable uS
  int uS = sonar.ping_median();
  // Imprimir la distancia medida a la consola serial
  Serial.print("Distancia: ");
  // Calcular la distancia con base en una constante
  Serial.print(uS / US_ROUNDTRIP_CM);
  Serial.println("cm");
}

```

```
if(uS / US_ROUNDTRIP_CM >= 7) { // cm<bi<r distancia aqui
  digitalWrite(led, HIGH);
}

if(uS / US_ROUNDTRIP_CM < 7){
  digitalWrite(led, LOW);
}
}
```





**Presidencia  
de la República  
del Ecuador**



**Plan Nacional  
de Ciencia, Tecnología,  
Innovación y Saberes**



**SENESCYT**  
Secretaría Nacional de Educación Superior,  
Ciencia, Tecnología e Innovación

## **DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN**

Yo, **Borja Hualoto, Geovanny Francisco**, con C.C: # **09223442446** autor del trabajo de titulación: **DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO AUTOMATIZADO PARA EL CULTIVO DE LEGUMBRES EN UN HUERTO UBICADO EN EL CAMPUS DE LA UCSG**, previo a la obtención del título de **Ingeniería Electrónica en Control y Automatización**, en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 12 de marzo de 2018

f. \_\_\_\_\_

Nombre: **Geovanny Francisco Borja Hualoto**

C.C: **0923442446**



<b>REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA</b>			
<b>FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN</b>			
<b>TÍTULO Y SUBTÍTULO:</b>	<b>DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO AUTOMATIZADO PARA EL CULTIVO DE LEGUMBRES EN UN HUERTO UBICADO EN EL CAMPUS DE LA UCSG</b>		
<b>AUTOR(ES)</b>	<b>GEOVANNY FRANCISCO BORJA HUALOTO</b>		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	<b>NINO TELLO VEGA URETA</b>		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	<b>Universidad Católica de Santiago de Guayaquil</b>		
<b>FACULTAD:</b>	<b>Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo</b>		
<b>CARRERA:</b>	<b>Ingeniería Electrónica en Control y Automatización</b>		
<b>TÍTULO OBTENIDO:</b>	<b>Ingeniero Electrónico en Control y Automatización</b>		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	<b>12 de marzo de 2018</b>	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	<b>89</b>
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	<b>Electrónica, Control y Automatización.</b>		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	<b>Microcontroladores, sensores, actuadores, huertos, sistema de riego, impacto ambiental.</b>		
<b>RESUMEN/ABSTRACT</b>			
<p>Los sistemas de riego agrícolas tienen métodos anticuados que pueden mejorar con la ayuda del control y automatización, para que de este modo el desperdicio de agua no continúe y el impacto ambiental sea menos grave para la naturaleza. Este proyecto se enfoca en el uso de microcontroladores que tendrán como objetivo principal, encargarse de medir las variables para que se pueda cumplir con el riego intensivo necesario para este cultivo, por medio de sensores y actuadores de fácil acceso. Como parte del proceso de implementación, se diseñó y construyó una maqueta a escala para poder simular dos huertos que actuarán de forma autónoma, las cuales tendrán como dato de entrada la humedad y la temperatura, y este a su vez de acuerdo con la programación dispuesta en el sistema, tendrá como respuesta la activación del sistema de riego y un sistema de enfriamiento. El propósito de este proyecto es demostrar que el uso de microcontroladores y otros componentes electrónicos ayudan a estos procesos agrícolas a optimizar el uso de un recurso natural con vías de riesgo, y de este modo disminuir el impacto ambiental de este tipo de procesos en la industria.</p>			
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<b>CONTACTO CON AUTOR</b>	<b>Teléfono: +593-4-2343897</b>	<b>E-mail: geovannyfbh@gmail.com</b>	
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::</b>	<b>Nombre: Eduardo Vicente Mendoza Merchán</b>		
	<b>Teléfono: +593-9-9-85086815</b>		
	<b>E-mail: eduardo.mendoza01@cu.ucsg.edu.ec</b>		
<b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>			
<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>			
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>			
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>			