



**Universidad Estatal Península de Santa  
Elena**

**Facultad de Ciencias Agrarias**

**Carrera de Agropecuaria**

**COMPONENTE PRÁCTICO DEL EXAMEN DE CARÁCTER COMPLEXIVO**

**MODALIDAD: “ESTUDIO DE CASO”**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO AUTOMATIZADO  
PARA CULTIVOS DE CICLO CORTO CON ARDUINO.  
ESTUDIO DE CASO PIMIENTO.**

Previo a la obtención del título de:

**INGENIERO AGROPECUARIO**

**Autor:** Carlos Alberto Castillo Melgar

**La Libertad, 2021**



**Universidad Estatal Península de Santa  
Elena**

**Facultad de Ciencias Agrarias**

**Carrera de Agropecuaria**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO AUTOMATIZADO  
PARA CULTIVOS DE CICLO CORTO CON ARDUINO.  
ESTUDIO DE CASO PIMIENTO.**

Previo a la obtención del Título de:

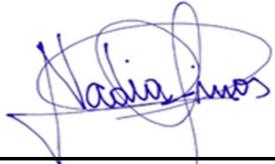
**INGENIERO AGROPECUARIO**

**Autor:** Carlos Alberto Castillo Melgar

**Tutor:** Ing. Miguel Lema Carrera MSc.

La Libertad, 2021

## TRIBUNAL DE GRADO



---

Ing. Nadia Quevedo Pinos, Ph.D  
**DIRECTORA DE CARRERA**  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**



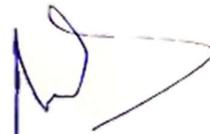
---

Ing. Carlos Balmaseda Espinosa, PhD.  
**PROFESORA ESPECIALISTA**  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



---

Ing. Miguel Ángel Lema MSc.  
**PROFESOR TUTOR**  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



---

Ing. Andrés Drouet Candell  
**PROFESOR GUÍA DE LA UIC**  
**SECRETARIO**

## CARTA DE ORIGINALIDAD

**Ing.**  
**Ing. Nadia Quevedo Pinos Ph. D.**  
**DIRECTORA DE LA CARRERA DE AGROPECUARIA**  
**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA**  
**Presente. -**

Cumpliendo con los requisitos exigidos por la Facultad de Ciencias Agrarias, carrera de Agropecuaria, envío a Ud. el componente práctico del examen complejo titulado “Diseño de un sistema de riego automatizado para cultivos de ciclo corto con Arduino. Estudio de caso pimiento”, para que se considere su sustentación, señalando los siguiente:

1. La investigación es original.
2. No existen compromisos ni obligaciones financieras con organismos estatales y privados que puedan afectar, el contenido, resultados o conclusiones de la presente investigación.
3. Constatamos que la persona designada como tutor/a es el/la responsable de generar la versión final de la investigación.
4. El/la tutor/a certifica la originalidad de la investigación y el desarrollo de la misma, cumpliendo con los principios éticos.



---

Carlos Castillo Melgar

**AUTOR**



---

Ing. Miguel Lema Carrera, MSc.

**TUTOR**

## RESUMEN

La aplicación de la tecnología en el área agropecuaria, favorece al rápido crecimiento de la productividad en los diversos ámbitos donde se la aplique, actualmente provee de un diagnóstico en tiempo real con el uso de drones, sensores, etc. Se estudia la utilización de tecnologías aplicadas como es Arduino Uno, el cual va a permitir tecnificar y programar tiempos de riego óptimo, con el caudal necesario para el correcto desempeño del cultivo de pimiento. Con esta investigación se plantea una solución al problema de escasez del recurso hídrico, que se vive a nivel nacional y mundial.

**Palabras claves:** Riego automatizado, Agrotecnología, Pimiento, Arduino Uno

# ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>5</b>
<b>1.1 Pimiento .....</b>	<b>5</b>
1.1.1 Origen del pimiento.....	5
1.1.2 Taxonomía y morfología.....	5
1.1.3 Sistema radicular.....	5
1.1.4 Tallo .....	5
1.1.5 Hoja.....	5
1.1.6 Flor.....	6
1.1.7 Fruto .....	6
1.1.8 Fenología del cultivo.....	6
1.1.9 Temperatura .....	6
1.1.10 Necesidades hídricas del pimiento .....	7
1.1.11 Suelo.....	7
1.1.12 Fertilización.....	7
<b>1.2 Sistemas de riego.....</b>	<b>8</b>
1.2.1 Riego por goteo .....	8
1.2.2 Componentes del sistema de riego.....	8
1.2.3 Unidad de presión .....	8
1.2.4 Sistema de filtrado.....	9
1.2.5 Tuberías de conducción y laterales de riego .....	9
1.2.6 Emisores .....	9
1.2.7 Sensor de humedad del suelo .....	9
<b>1.3 Arduino uno.....</b>	<b>9</b>
1.3.1 Hardware de Arduino .....	10
1.3.2 Componentes de la placa Arduino Uno .....	10
<b>1.4 Tinkercad.....</b>	<b>11</b>
1.4.1 Tinkercad circuit .....	12
1.4.2 Características .....	12
<b>2. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>13</b>
<b>2.1 Materiales .....</b>	<b>13</b>

<b>2.2</b>	<b>Metodología .....</b>	<b>14</b>
2.2.1	Esquema del sistema de riego por goteo.....	14
2.2.1.1	Cultivo.....	14
2.2.1.2	Clima y topografía.....	14
2.2.1.3	Equipo de riego .....	15
2.2.1.4	Suelos .....	15
2.2.1.5	Dimensionamiento de tuberías y electrobombas.....	15
2.2.2	Automatización del sistema de riego en Tinkercad. ....	19
2.2.3	Acciones de control de riego implementadas en Arduino uno. ....	22
<b>3.</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>24</b>
<b>3.1</b>	<b>Funcionamiento del sistema automatizado de riego por goteo para pimiento .....</b>	<b>24</b>
3.1.1	Temperatura .....	24
3.1.2	Funcionamiento del sistema en función de la textura del suelo.....	25
3.1.2.1	Arenoso .....	25
3.1.2.2	Franco.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
3.1.2.3	Arcilloso .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>4.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>30</b>
<b>4.1</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>30</b>
<b>4.2</b>	<b>Recomendaciones .....</b>	<b>301</b>
<b>5.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Etapas fenológicas del cultivo de pimiento. ....	6
<b>Tabla 2.</b> Elementos reales y de simulación del sistema de riego en Tinkercad. ....	19

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Componentes del sistema de riego. ....	8
<b>Figura 2.</b> Componentes de la placa Arduino Uno. ....	11
<b>Figura 3.</b> Mapa comuna Sube y Baja, provincia de Santa Elena. ....	13
<b>Figura 4.</b> Esquema del sistema de riego automatizado por goteo para pimiento en una hectárea. ....	17
<b>Figura 5.</b> Esquema detallado de la parcela del sistema de riego automatizado. ....	18
<b>Figura 6.</b> Sistema automatizado de riego por goteo de pimiento implementado en Tinkercad. ....	21
<b>Figura 7.</b> Diagrama de flujo del funcionamiento de los sensores de humedad y electroválvulas. ....	22
<b>Figura 8.</b> Diagrama de funcionamiento del sistema automatizado de riego por goteo. ....	23
<b>Figura 9.</b> Temperatura del sistema es superior a 30°C, no entra en funcionamiento el riego. ....	24
<b>Figura 10.</b> Temperatura del sistema es inferior a 30°C, entra en funcionamiento el riego. ..	25
<b>Figura 11.</b> Funcionamiento de los sensores de humedad en suelos de textura arenosa. ....	25
<b>Figura 12.</b> Funcionamiento de las electroválvulas en suelos de textura arenosa. ....	26
<b>Figura 13.</b> Funcionamiento del sistema en suelos de textura tipo franco. ....	26
<b>Figura 14.</b> Funcionamiento de los sensores de humedad en suelos de textura tipo franco. ..	27
<b>Figura 15.</b> Funcionamiento de las electroválvulas en suelos de textura tipo franco. ....	27
<b>Figura 16.</b> Funcionamiento del sistema en suelos de textura tipo arcilloso. ....	28
<b>Figura 17.</b> Funcionamiento de los sensores de humedad en suelos de textura tipo arcilloso. ....	28
<b>Figura 18.</b> Funcionamiento de las electroválvulas en suelos de textura tipo arcilloso. ....	29

## ÍNDICE DE ANEXOS

**Anexo 1.** Diseño hidráulico del sistema de riego.

**Anexo 2.** Programa del Sistema automatizado de riego para el cultivo de pimiento implementado en Arduino uno y Tinkercad.

**Anexo 3.** Factor de Christiansen

**Anexo 4.** Costo monetario para la implantación de un sistema automatizado con Arduino uno.

## INTRODUCCIÓN

El pimiento (*Capsicum annum L.*) originario de Sudamérica, es una planta herbácea que pertenece a la familia de las solanáceas, presenta en la mayoría de casos tallos ramificados y erectos con un promedio de altura que va entre los 0.5m a 1 m de altura, además tiene una raíz pivotante, hojas lanceoladas acuminadas y alargadas con peciolo corto, flores solitarias y desarrollan frutos en forma de bayas huecas y la forma dependerá de la variedad. (Intriago and Sacón, 2012). Su cultivo requiere de muchos cuidados especialmente para evitar la proliferación de plagas y enfermedades. (Deker, 2011).

El pimiento es una de las hortalizas de mayor consumo a nivel mundial, debido a sus altos valores nutricionales y excelente sabor. Globalmente se producen 31 167 millones de kg, cultivadas en 1 914 685 ha. En Ecuador se producen 5500 t en 1700 ha sembradas, convirtiéndose en un rubro sumamente importante del sector agrícola (Quiñonez et al., 2020). Según el último Censo Nacional Agropecuario (2000), se cultivaron 956 ha aproximadamente como monocultivo y 189 ha como cultivo asociado, siendo las provincias de Guayas, Manabí y Esmeraldas las de mayor producción.

Las condiciones edafoclimáticas asociadas al tipo y frecuencia de riego y un adecuado manejo agronómico, incidirá en el desarrollo productivo del cultivo de pimiento, esto permite cubrir la demanda local y externa, generando ingresos económicos para los productores. (Ángel, 2015).

La implementación de la tecnología en el área agropecuaria, favorece al rápido crecimiento de la productividad en los diversos ámbitos donde se la aplique, pasando por el área agrícola con el uso tradicional de palas, rastrillos, etc. Al uso de maquinaria especializada con tecnología para un trabajo más eficiente y por ende beneficiar al agricultor. La aplicación de dicha tecnología actualmente provee de un diagnóstico en tiempo real con el uso de drones, sensores y equipos de rastreo satelital, este tipo de tecnología ayuda a resolver una de las problemáticas que viven muchos agricultores, que es la escases del recurso hídrico no solo a nivel local sino a nivel mundial.

Debido a la escases y mal uso del agua se plantea la aplicación de la tecnología para la utilización eficiente de este recurso, por lo que, este es la base de trabajo en la agricultura, el agua es vital para el desarrollo productivo y eficiente de cada uno de los cultivos. Por este motivo se estudia la utilización de tecnologías aplicadas como es el uso del Arduino uno, el cual va a permitir tecnificar y programar tiempos de riego óptimo, con el caudal necesario para el correcto desempeño del cultivo. Con esta investigación se plantea una solución al problema de escases de este recurso hídrico vital, que se vive en la Península de Santa Elena.

Con la implementación de este trabajo de investigación no se da una solución a corto plazo a la problemática del mal uso del agua, pero se logrará dar un pequeño aporte para que se siga investigando y desarrollando estrategias tecnológicas como lo es el Arduino uno, por otro lado, se incentiva, para que, los productores se concienticen a optimizar el agua y elevar el rendimiento de sus cosechas, reducir costos y brindarles autonomía. Lo fantástico del uso del Arduino uno es su muy bajo costo, código abierto y fácil acceso el cual favorece a su implementación y mejoras considerable en los cultivos (Vílchez, 2020).

**Problema:**

En la Provincia de Santa Elena, existen pocos estudios de riego tecnificado, procesos de automatización en los cultivos, además en temas técnicos no existen suficientes estudios de monitoreo de humedad de los suelos de los cultivos.

Los métodos de riego utilizados por los pobladores en zonas agrícolas son convencionales. Este problema trae consigo un mal uso del recurso hídrico (agua), pérdidas de tiempo en el trabajo de los agricultores, bajo rendimiento en los cultivos y pérdidas económicas en la producción final. Para evitar dichos problemas se da con la necesidad de diseñar un sistema automatizado de riego tecnificado utilizando un sistema de balance de humedad del suelo con tecnología Arduino uno y tinkercad. Siendo un punto de partida como aporte al desarrollo de la tecnología agropecuaria en esta región y el país.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

- Diseñar un sistema automatizado de riego por goteo para el cultivo de pimiento utilizando Arduino uno y tinkercad en función de la humedad del suelo.

### **Objetivos Especificos**

- Realizar un esquema del sistema de riego por goteo para el pimiento.
- Diseñar la automatización del sistema de riego implementado electroválvulas y sensores de humedad del suelo.
- Programar las acciones de control en Arduino uno empleando tinkercad, para la automatización del sistema de riego.
- Simular el funcionamiento del sistema en tinkercad.

# 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

## 1.1 Pimiento

### 1.1.1 *Origen del pimiento*

El pimiento es nativo de la zona sur y centro de Sudamérica, México y hace su llegada a Europa cuando Cristóbal Colón realizó su primer viaje a América en 1439. En principio el pimiento era denominado “chili” por los indígenas americanos, pero posteriormente a su llegada a Europa los portugueses y españoles le dieron el nombre definitivo como “pimiento” (Escobi, 2018).

### 1.1.2 *Taxonomía y morfología*

Este vegetal es una planta herbácea que pertenece a la familia de las solanáceas, representa a la especie *Capsicum*, se desarrolla en un ciclo de forma anual, presenta una altura de entre 0,5 y 2 metros de alto esto va a depender de la variedad y de donde se desarrollen si es a campo libre o en invernadero (Pollock, 2007)

### 1.1.3 *Sistema radicular*

Desarrolla una raíz profunda y pivotante, esto dependerá de la textura y profundidad del suelo donde se la cultive. También posee muchas raíces adventicias que en condiciones favorables pueden llegar a alcanzar una longitud de 0,5 a 1 metro de forma horizontal (Floresyplantas.net, 2016).

### 1.1.4 *Tallo*

Presenta un tallo erecto y con una elongación limitada. Cuando ya está en un estado de desarrollo avanzado emite de 2 a 3 ramificaciones, esto dependerá de la variedad, y posteriormente seguirá emitiendo ramificaciones de forma dicotómica hasta que complete su ciclo (Infoagro, 2021).

### 1.1.5 *Hoja*

La planta de pimiento tiene hojas de forma lanceoladas y enteras, su ápice es acuminado y el peciolo largo. El haz tiene una textura suave y lisa y con una coloración bien verdosa dependiendo de la variedad. La nervadura principal parte de la base de la hoja y de ahí se desarrollan las nervaduras secundarias y estas llegan hasta el filo del

borde de la hoja. En función de la variedad, el tamaño de la hoja adulta y el peso medio del fruto pueden llegar a tener correlación (Pérez, 2014).

### **1.1.6 Flor**

Las flores solitarias se asoman en cada nudo del tallo y con una inserción en las axilas de las hojas. Tienen una corola de color blanco y a su vez son flores de tamaño pequeño. Con referencia a la polinización es de forma autógama, pero también puede haber alogamia que no superaría el 10% (Infoagro, 2021).

### **1.1.7 Fruto**

El fruto es una baya hueca y semicartilaginosa, con una coloración cambiante dependiendo la variedad, donde los colores varían entre rojo, amarillo, verde, anaranjado o violeta. También cambian de color conforme avanza su estado de maduración. El tamaño puede pasar desde pocos gramos hasta 500 gramos. Las semillas impregnadas en una placenta cónica de disposición central, son de color amarillo pálido y redondeadas con una longitud de 3 a 5 milímetros (Infoagro, 2021).

### **1.1.8 Fenología del cultivo**

**Tabla 1.** Etapas fenológicas del cultivo de pimiento.

<b>Cultivo</b>	<b>Inicio (Días)</b>	<b>Desarrollo (Días)</b>	<b>Intermedio (Días)</b>	<b>Final (Días)</b>	<b>Total (Días)</b>
Pimiento	25	35	40	20	120

### **1.1.9 Temperatura**

La temperatura mínima donde estas lograrían germinar y a su vez tener un buen desarrollo es 15°C, para el proceso de floración y fructificación deberá estar a una temperatura de 18°C. Las temperaturas óptimas van entre los 20 y 26°C. (Ecoterrazas, 2013).

### **1.1.10 Necesidades hídricas del pimiento**

El cultivo de pimiento requiere de 800 a 1000 mm de agua a lo largo de su ciclo, no tolera estancamiento de agua y el exceso de humedad. Si las condiciones saturadas se mantienen durante 24 horas las plantas mueren. Las condiciones saturadas inhiben el crecimiento de las plantas llevando a un menor rendimiento. Las fases más críticas de humedad son en el trasplantado a la floración. La falta de agua en la floración lleva a la caída de la flor y el fruto. en general la especie requiere 7.850 m<sup>3</sup> de agua por ha y la frecuencia de riego varía en función de las condiciones climáticas del lugar donde se realiza el cultivo (Prudente, 2015).

### **1.1.11 Suelo**

El cultivo de pimiento responde de manera favorable a las buenas condiciones y características que presente el suelo donde vaya a ser cultivado, los suelos más favorables para este cultivo son los areno-arcillosos profundos, con buena permeabilidad y retención de humedad. Los suelos más idóneos para el cultivo los franco-arenosos, ricos, con materia orgánica del 3-4% y principalmente bien drenados (Infoagro, 2012).

### **1.1.12 Fertilización**

Para el cultivo de pimiento se debe aportar 30 – 40 t/ha de estiércol; como abonado de fondo aplicar 100 kg de nitrógeno (N); 90 - 150 kg de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) y 200 – 300 kg de potasio (K<sub>2</sub>O); en cobertura realizar 4 aplicaciones de 40 – 50 kg de nitrógeno y alguna de potasio. El pimiento es muy exigente en fósforo y nitrógeno en la cual se recomienda adicionar gallinaza antes del transplante y el nitrógeno fraccionar entre el transplante, floración y durante la cosecha.

El aporte inicial de estiércol o compost es suficiente, pero si el suelo es pobre o se busca un mayor rendimiento, es posible añadir 40 gramos por planta de fertilizante 15 – 15 – 15, repartiendo en 2 aplicaciones de 20 gramos cada una durante el ciclo del cultivo. Para el secano el cultivo de pimiento requiere 40 – 80 kg de nitrógeno; 40 – 80 kg de fósforo y 80 – 160 kg de potasio; en época de regadío aplicar el doble de la dosis en invernadero recomienda 180 – 300 kg de nitrógeno; 120 – 220kg de fosforo y 200 – 400kg de potasio (Borbor, 2007).

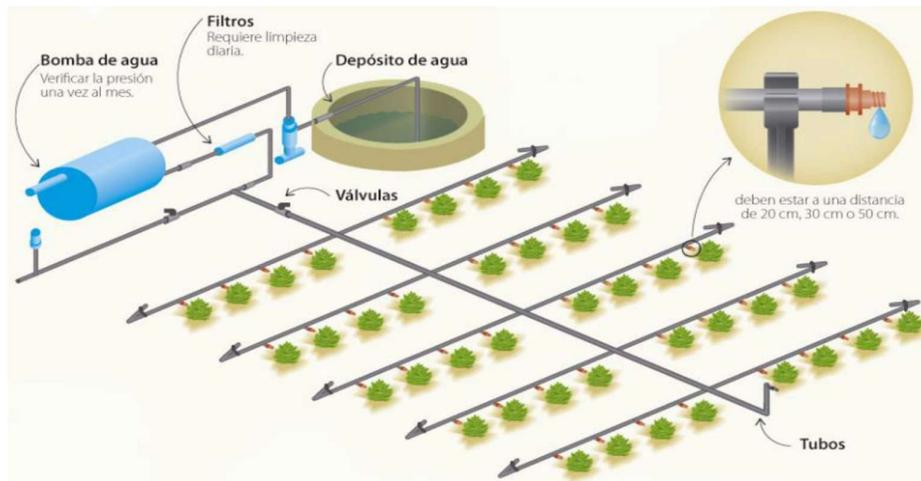
## 1.2 Sistemas de riego

Un sistema de riego son diversos mecanismos o estructuras donde se podría aplicar agua a un cultivar para que las plantas puedan desarrollarse de la mejor manera, a la vez se debe considerar varios componentes y estos deben encajar dependiendo del tipo de riego que se vaya a emplear (Sepúlveda, 2018)

### 1.2.1 Riego por goteo

El riego por goteo se caracteriza por ser el método más eficiente de aplicación de agua y nutrientes a los cultivos. Mediante esta técnica de riego la zona radicular es beneficiada, ya que se le proporciona en el momento indicado y la cantidad precisa los fertilizantes y el recurso hídrico, a su vez los productores pueden obtener mejores rendimientos de sus cultivos ya que pueden economizar fertilizantes, energía, agua e incluso agroquímicos (Netafim, 2021).

### 1.2.2 Componentes del sistema de riego



*Figura 1.* Componentes del sistema de riego.

### 1.2.3 Unidad de presión

Este punto se encarga de suministrar la presión adecuada y necesaria para que el agua pueda llegar a todas las áreas de riego. Esta presión se puede lograr mediante bombeo ya sea este de bomba o de motor, o a su vez por gravedad teniendo en cuenta que la reserva de agua se encuentre a una altura suficiente para poder operar el sistema. Las fuentes de agua pueden incluir reservorios, ríos, canales, pozos, etc. (Goyal, 2017).

#### ***1.2.4 Sistema de filtrado***

El sistema de filtrado se utiliza para evitar el taponamiento por obstrucción de partículas minerales. (arena, limo y arcilla), materia orgánica y precipitados (carbonatos).

#### ***1.2.5 Tuberías de conducción y laterales de riego***

Las tuberías de conducción ayudan con la distribución del recurso hídrico por medio de la red de tuberías a las áreas de riego especificadas. Las tuberías se enlazan a la fuente de presión hasta las respectivas válvulas donde permitirán el paso del agua a cada una de las áreas de riego. La función principal de los laterales de riego es hacer llegar el agua a cada uno de los goteros (emisores) para que así puede llegar a las plantas. (Goyal, 2017).

#### ***1.2.6 Emisores***

Los emisores de riego son el eslabón final de los sistemas de riego por goteo. Esta vía se encarga de proporcionar agua al sistema radicular para que pueda desarrollarse de la mejor manera y obtener altos rendimientos. Dependiendo de la forma de riego los emisores pueden ser micro aspersores, aspersores y goteros, etc. (Goyal, 2017).

#### ***1.2.7 Sensor de humedad del suelo***

El sensor de humedad en este caso mide la temperatura del cultivar y la humedad relativa. Con la incorporación de circuitos integrados le permite a este enviar una señal acondicionada, también cuentan con un punto sensible que capta las señales del ambiente. Este punto es fabricado con polímeros y electrodos de platino. La mayoría son calibrados por láser, tiene un buen rendimiento y un margen de error mínimo (Goyal, 2017).

### **1.3 Arduino uno**

Se basa en un sistema o plataforma electrónica de código abierto, donde en si se aplica la utilización de hardware y software libre, de manera flexible, libre y fácil de manipular y entender para las personas que se dedican a trabajos informativos de creación. Esta plataforma da acceso a crear diversos tipos de microordenadores de una sola placa de los cuales los creadores a su vez pueden darle muchos tipos de uso. Para

entender se debe conocer en primer lugar los conceptos de hardware y software libre. En cuanto a hardware libre son dispositivos donde los diagramas y especificaciones son de acceso público, con lo que se puede replicar sin mayor problema. Esto manifiesta que Arduino ofrece las bases para que cualquier empresa o persona natural pueda crear sus propias placas, llegando a casos donde pueden ser diferentes entre ellas, pero con el mismo de su base original (Fernández, 2020).

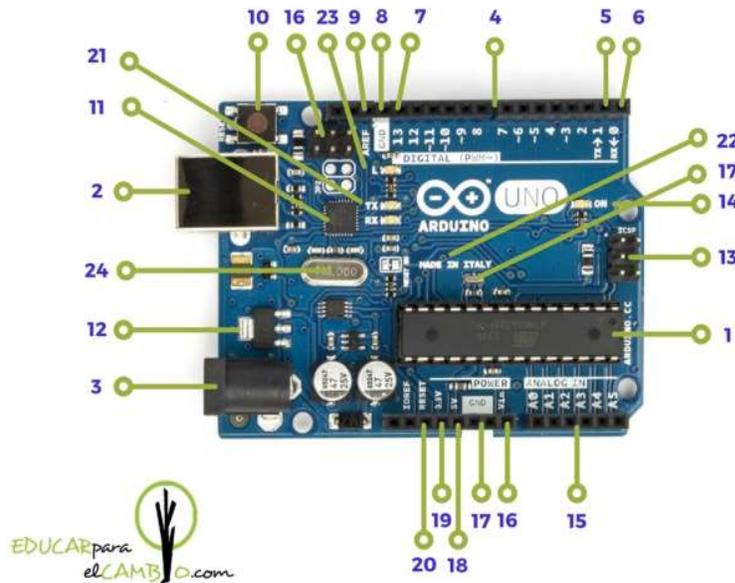
### ***1.3.1 Hardware de Arduino***

El valor comercial de Arduino es proporcionalmente bajo, se conecta de forma directa a un puerto USB del computador. En la placa se pueden agregar o añadir actuadores, diversos dispositivos y sensores para que haya una buena comunicación cuando se esté ejecutando el proyecto. Arduino Uno es una placa electrónica basada en el ATmega328P. Cuenta con 14 pines digitales de entrada o salida, de los cuales 6 pueden utilizarse como salidas PWM, 6 entradas analógicas, un cristal de cuarzo de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un encabezado de ICSP y un botón de reinicio. Puede ser alimentada mediante una conexión USB o por alimentación externa (Hidalgo, 2015).

### ***1.3.2 Componentes de la placa Arduino Uno***

1. ATmega 328 microcontrolador.
2. Puerto USB.
3. Conector de alimentación.
4. Los pines digitales. *digitalRead*, *digitalWrite*. *analogRead* y *analogWrite*.
5. y 6. Serial IN (TX) y Serial IN (RX).
7. y 23. Pin 13 + L (on board led).
8. GND.
9. AREF.
10. Botón Reset.
11. Chip de comunicación serie.
12. Regulador de tensión.
13. ICSP.
14. Led de encendido.
15. Pines analógicos.

- 16. Vin.
- 17. GND.
- 18. 5V.
- 19. 3,3V.
- 20. Reset pin - IOREF.
- 21. TX y RX LED
- 22. Casa fabricante original.
- 24. Reloj / Crystal 16 Mhz oscilador.



*Figura 2.* Componentes de la placa Arduino Uno.

#### 1.4 Tinkercad

Tinkercad es una recopilación gratuita en línea de herramientas de software facilitan a las personas a crear, hacer y pensar. Cada una de las herramientas que contiene este software, son de uso común, así como de fácil manejo, teniendo un ambiente muy automático, ofreciendo la facilidad de realizar cualquier proyecto relacionado con el diseño e ingeniería.

### ***1.4.1 Tinkercad circuit***

Tinkercad es una de las aplicaciones gratuitas que se encuentran en línea, la misma que permite realizar diseño e impresión 3D, desarrollada por Autodesk (compañía estadounidense que desarrolla prototipos en 2D y 3D), además permite realizar 38 simulaciones de prototipos en tiempo real, programación de dispositivos Arduino virtuales. El sketch que se encuentra en su plataforma se puede elaborar mediante texto de programación como la IDE de Arduino, siendo una buena opción, para más facilidad presenta otra elección, programar mediante bloques (de forma análoga a la aplicación Scratch), otra herramienta que permite este software es enviar el circuito diseñado a imprimirlo en el diagrama de pistas PCB (Printed Circuit Board) siendo compatible con Eagle (propiedad de Autodesk). Como ya se ha mencionado Tinkercad, brinda la facilidad de visualizar un prototipo antes de realizarlo en físico permitiendo programar un microcontrolador en este caso, el uso de Arduino, presentando un entorno de codificación similar a la estructura de Arduino.

### ***1.4.2 Características***

El objetivo al usar Tinkercad debe ser una primera inmersión en el mundo del diseño 3D de una manera sencilla y atractiva, ya que la interfaz de trabajo es simple y muy atractiva inicialmente, si bien una vez dominados los conceptos básicos carece de herramientas para llegar a diseños complejos.

Sus ventajas son claras: es sencillo de usar, su aspecto es atractivo y con unas pocas horas de entrenamiento podemos adquirir mucha destreza en su uso. Como desventaja podríamos señalar que es necesario tener una cuenta de correo para darse de alta como usuario y que sólo posee una versión online, por lo que hace falta conexión a internet.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

La presente propuesta y caso de estudio se diseñará en la comuna Sube y Baja de la parroquia Simón Bolívar, cantón Santa Elena, las coordenadas geográficas son: latitud sur -2.191733, longitud oeste -80.456864, tiene una precipitación anual de 2076 mm, una temperatura promedio de 25°C y se encuentra a una altura de 280msnm.



*Figura 3.* Mapa comuna Sube y Baja, provincia de Santa Elena.

**Fuente:** Elaboración propia.

### 2.1 Materiales

Los principales materiales y equipos de simulación empleados se detallan a continuación:

- Computador con Windows 10.
- Software computacional
- Software online Tinkercad – Autodesk 2021.
- Arduino Uno R3.
- 4 motores CC – Electroválvulas.
- 1 Gearmotor – Bomba 10HP.
- 12 sensores de humedad FC-28.
- 1 sensor de temperatura TMP36.
- 1 potenciómetro – selección etapa cultivo.
- 1 LCD display de cristal líquido.

- 1 Fuente de alimentación
- 5 transistores TIP120
- Resistencias eléctricas varias.

## **2.2 Metodología**

Este trabajo tiene un diseño metodológico de tipo explicativo, a su vez en un proyecto factible y de acuerdo al propósito de la investigación es de carácter aplicado, debido a que con su desarrollo se plantea la construcción de un sistema de riego automatizado empleando Arduino uno para el cultivo de pimiento en la comuna Sube y Baja, provincia de Santa Elena, considerando el uso eficiente de agua y a bajos costos.

### **2.2.1 Esquema del sistema de riego por goteo.**

El sistema de riego por goteo para pimiento se dimensiona para una hectárea (1 ha) dividida en cuatro parcelas de 50 m x 50 m alimentadas por 4 electroválvulas de 12V cada una, con 49 líneas de riego un espaciamiento entre cintas de 1m y un espaciamiento entre plantas de 40 cm con un subtotal por parcela de 5929 plantas y un total para la hectárea de 23716 plantas, cada uno con su respectivo gotero, el agua para el cultivo de pimiento se suministra de un reservorio cercano por medio de una electrobomba, como se muestra en la figura 5.

Se detalla los parámetros tomados en consideración:

#### **2.2.1.1 Cultivo**

- |  |           |
|--|-----------|
| - Tipo:  | Pimiento. |
| - Espaciamiento entre plantas (sp):            | 0,40cm.   |
| - Espaciamiento entre líneas del cultivo (si): | 1,00 m.   |
| - Porcentaje de sombreo (ps):                  | 50 %.     |
| - Porcentaje de agotamiento: (p):              | 30 %.     |
| - Profundidad radicular (pr):                  | 0,80cm.   |

#### **2.2.1.2 Clima y topografía**

- |                                     |                         |
|-------------------------------------|-------------------------|
| - Pendiente del terreno:            | 0 %.                    |
| - Temperatura ambiente del terreno: | 24°C.                   |
| - Área total del riego:             | 1 Ha.                   |
| - Tipo de energía eléctrica:        | Monofásica (120V/220V). |

### 2.2.1.3 *Equipo de riego*

- Caudal del emisor: 1 l/h (Eurokey gotero clásico).
- Presión nominal: 10 m.
- Diámetro del lateral de riego: 16mm.
- Sensor humedad: FC – 28 a 20cm, 50cm, 80cm profundidad.

### 2.2.1.4 *Suelos*

- Textura: Arenoso.
- Capacidad de campo CC: 10 %.
- Punto de marchitez permanente PMP: 4 %.
  
- Textura: Franco.
- Capacidad de campo CC: 27 %.
- Punto de marchitez permanente PMP: 12 %.
  
- Textura: Arcilloso.
- Capacidad de Campo CC: 40 %.
- Punto de marchitez permanente: 22 %.

### 2.2.1.5 *Dimensionamiento de tuberías y electrobombas*

- Para el dimensionamiento de las tuberías y la elección de la electrobomba a implementar en el sistema de riego por goteo se emplean las siguientes ecuaciones.

#### *Caudal*

- $Q = n \times q$
- $Q = \text{Caudal} \left( \frac{l}{s} \right)$
- $n = \text{Número de emisores}$
- $q = \text{Caudal del gotero} \left( \frac{l}{s} \right)$

#### *Longitud ficticia*

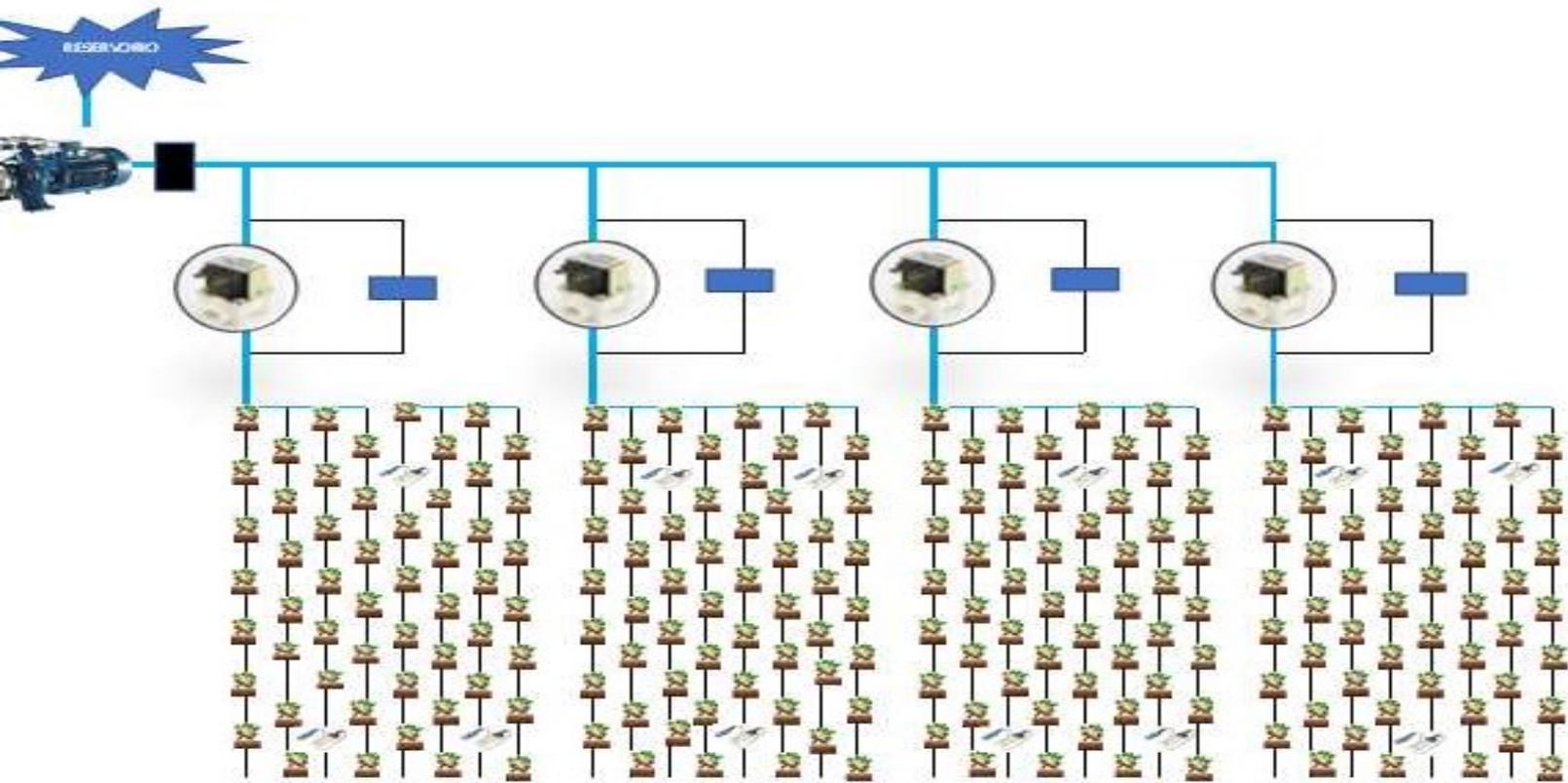
- $L_f = 1,20 l$
- $L_f$ : Longitud ficticia
- $L_f$ : Longitud real

### ***Pérdida de carga tuberías plásticas (Blasius)***

- $h_1 = \frac{0,473 \times Q_1^{1,75} \times L_f \times F_c}{D^{4,75}}$
- $h =$  Pérdida de carga
- $Q =$  Caudal
- $D =$  Diámetro de la tubería comercial elegida
- $F_c =$  Factor de Christiansen
- $L_f =$  Longitud ficticia

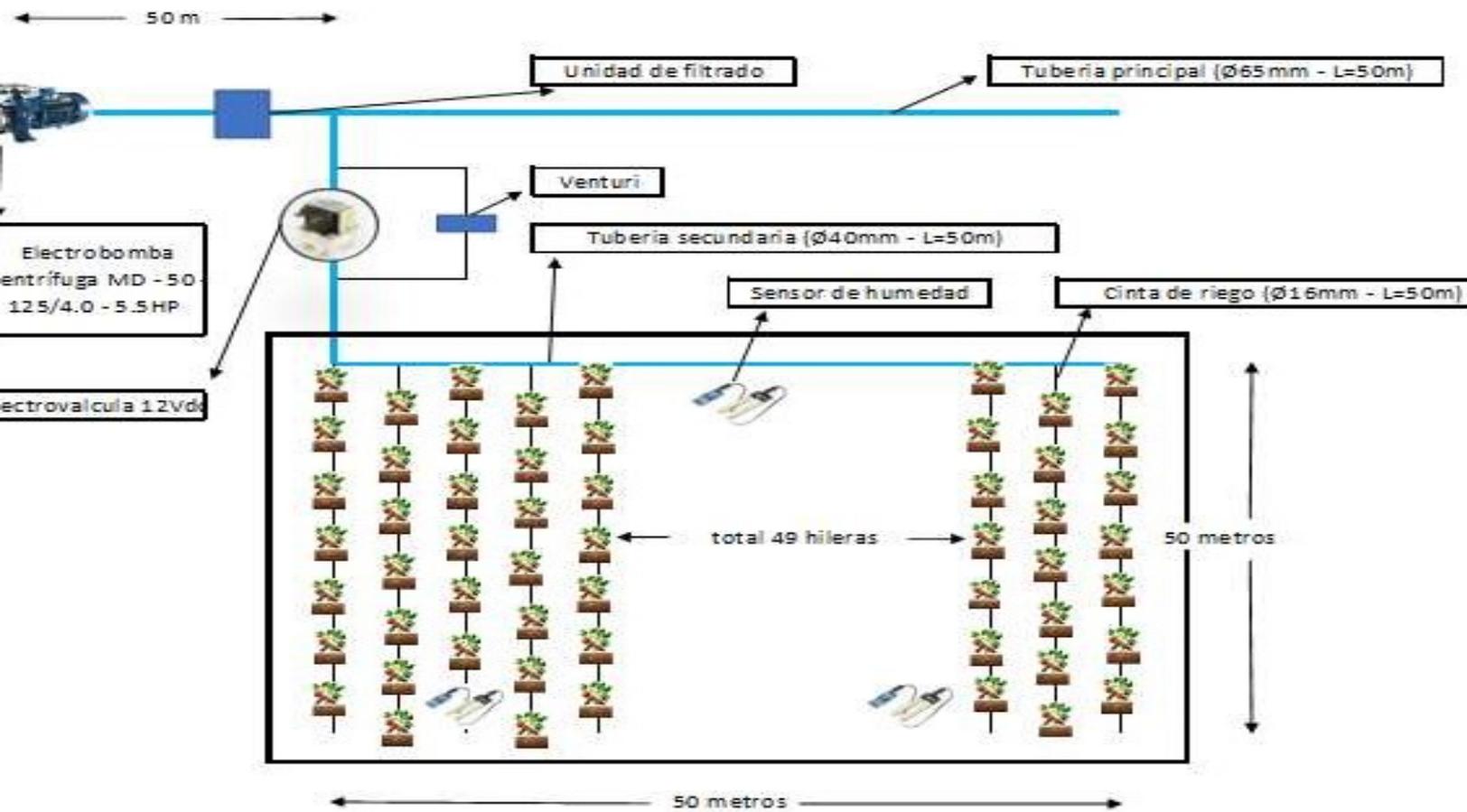
### ***Presión necesaria***

- $P_o = P_m + 0,73 h + \frac{H_g}{2}$
- $P_o =$  Presión origen
- $P_m:$  Presión media (*goteros, laterales, terciarias, secundarias.*)
- $h:$  Pérdida de carga
- $H_g:$  Diferencia de altura o desnivel



*Figura 4.* Esquema del sistema de riego automatizado por goteo para pimiento en una hectárea.

**Fuente:** Elaboración propia



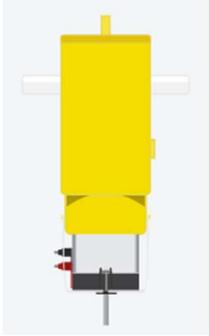
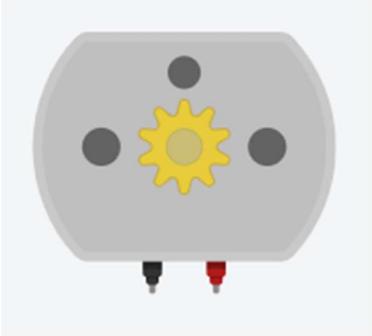
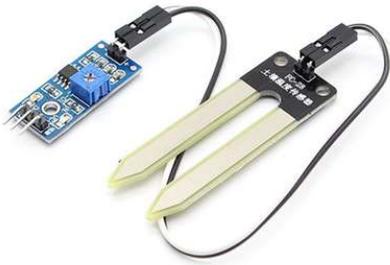
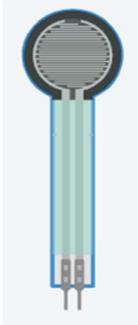
**Figura 5.** Esquema detallado de la parcela del sistema de riego automatizado.

**Fuente:** Elaboración propia.

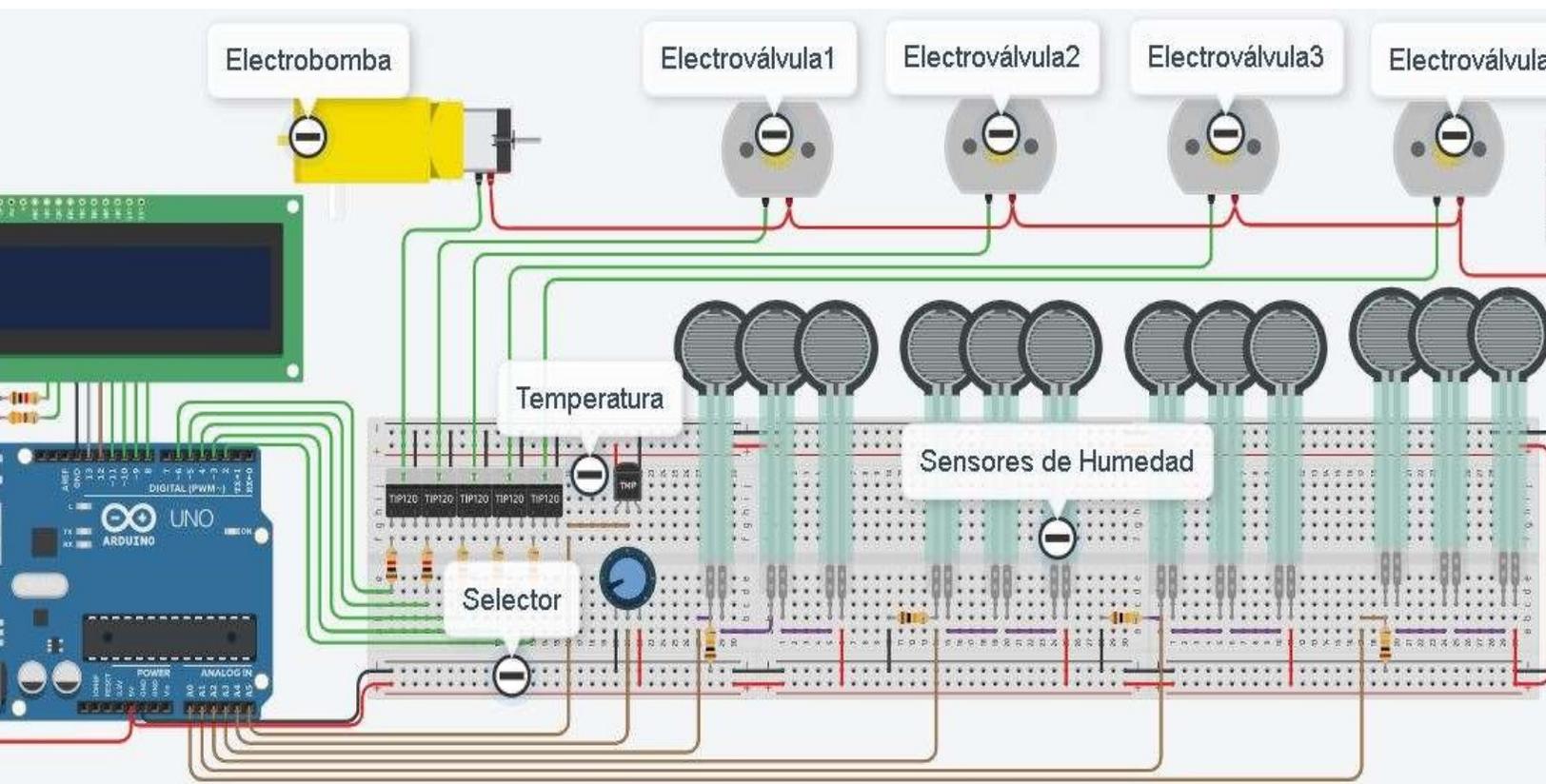
### 2.2.2 Automatización del sistema de riego en Tinkercad.

Los elementos del sistema de riego que reemplazarán a los sistemas reales en la simulación desarrollada en Tinkercad se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 2.** Elementos reales y de simulación del sistema de riego en Tinkercad.

Elementos reales	Elementos de simulación
Electrobomba centrífuga MD 50 – 125/4.0 5.5HP 	Hobby Gearmotor 
Electroválvula 12Vdc 40mm solenoide 	Motor CC 
Sensor de humedad suelo FC-28 	Force sensor 





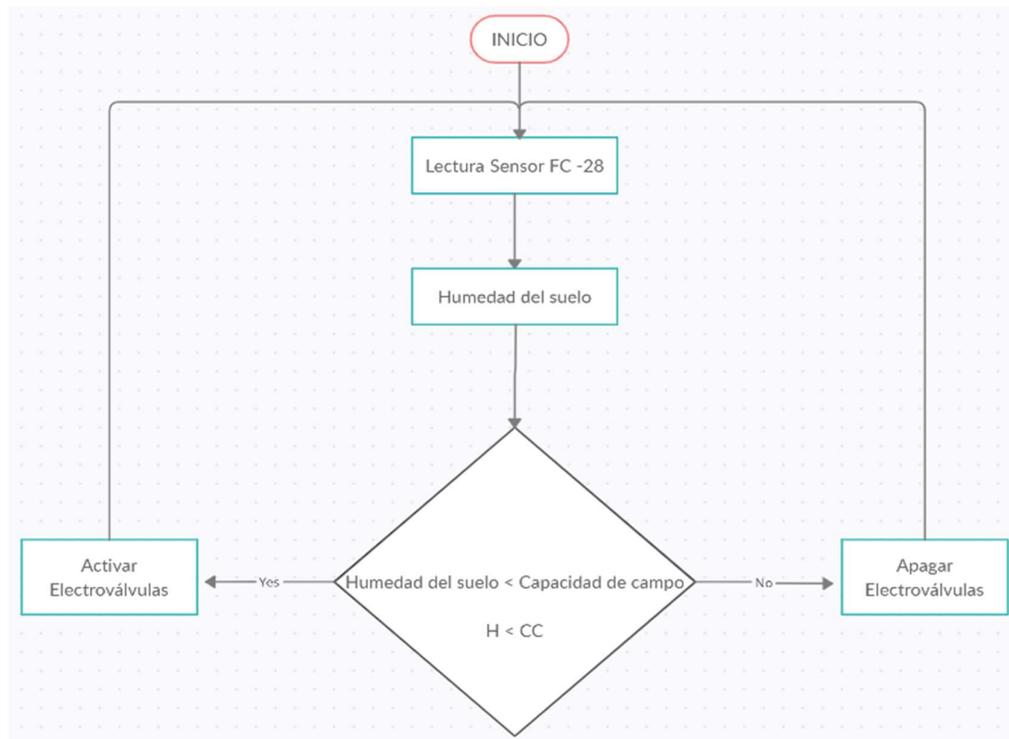
**Figura 6.** Sistema automatizado de riego por goteo de pimiento implementado en Tinkercad.

**Fuente:** Elaboración propia.

### 2.2.3 Acciones de control de riego implementadas en Arduino uno.

El sistema de control específicamente se basa en mantener la humedad de los sensores FC - 28 a capacidad de campo (CC) en las diferentes texturas del suelo, es decir, si está por debajo de este valor se activan las electroválvulas y si están por arriba de este valor las electroválvulas se desactivan.

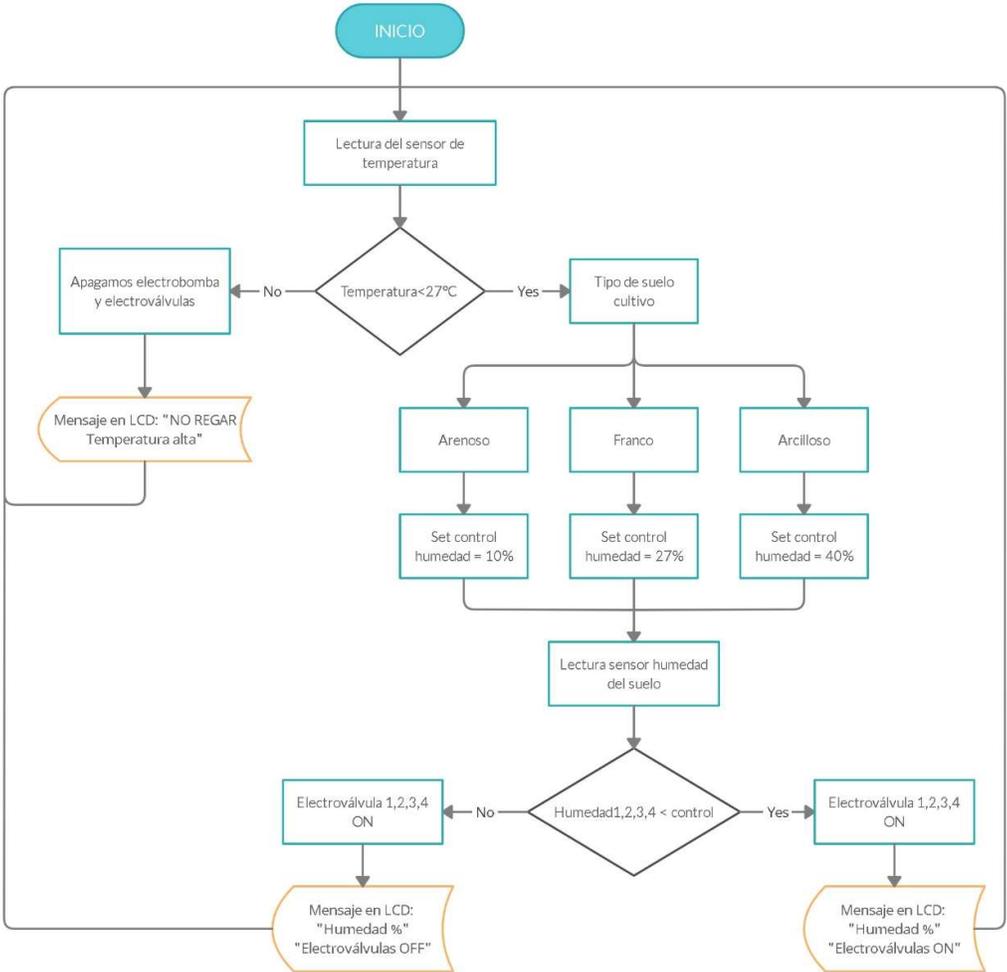
- Textura: Arenoso.
- Capacidad de campo CC: 10 %.
  
- Textura: Franco.
- Capacidad de campo CC: 27 %.
  
- Textura: Arcilloso.
- Capacidad de Campo CC: 40 %.



**Figura 7.** Diagrama de flujo del funcionamiento de los sensores de humedad y electroválvulas.

**Fuente:** Elaboración propia.

El funcionamiento y control del sistema de riego por goteo para pimiento, se muestra en el siguiente diagrama de flujo.



**Figura 8.** Diagrama de funcionamiento del sistema automatizado de riego por goteo.

**Fuente:** Elaboración propia.

Del diagrama de flujo se puede mencionar que la temperatura es importante en los sistemas de riego automático al tener valores altos, el sistema detiene su funcionamiento dado que, puede ocasionar daños considerables en el cultivo de pimiento.

Para el sistema a desarrollar, se ha propuesto tres tipos de texturas de suelo: arenoso, franco y arcilloso con sus respectivos valores de capacidad de campo, el objetivo del sistema automático de riego con Arduino uno es mantener la humedad del suelo a capacidad de campo.

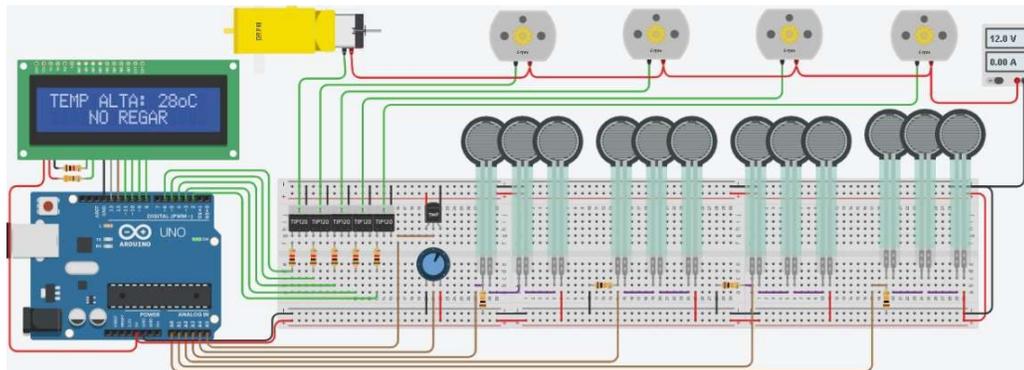
### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Funcionamiento del sistema automatizado de riego por goteo para pimiento

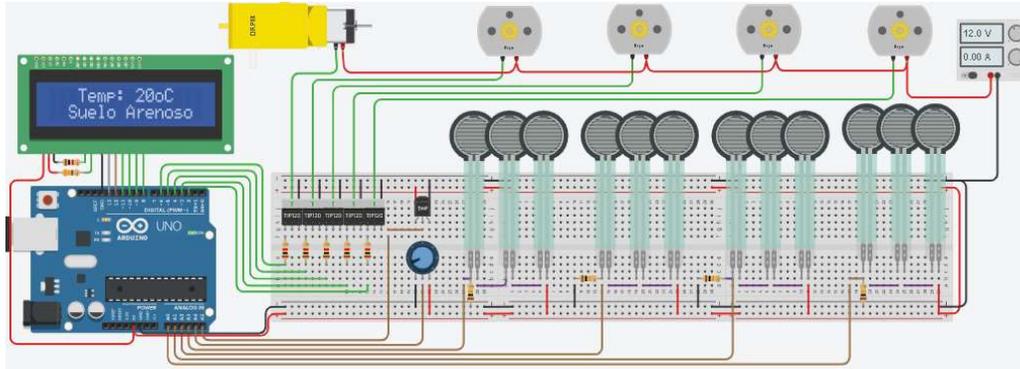
Se desarrolló un sistema automatizado de riego por goteo para el cultivo de pimiento empleando la tarjeta Arduino uno y el simulador online Tinkercad para una hectárea, ubicada en la comuna Sube y Baja de la parroquia Simón Bolívar, provincia de Santa Elena, en diferentes texturas de suelo: arenoso, franco y arcilloso manteniendo la humedad del suelo a capacidad de campo respectivamente, a continuación, se detalla su funcionamiento.

##### 3.1.1 Temperatura

El primer elemento fundamental del sistema es la temperatura, dado que, elevadas temperaturas pueden ocasionar daños por riego al cultivo de pimiento. Por lo tanto, si la temperatura ambiente es superior a los 30°C no funciona el sistema de riego, y entra en funcionamiento si está por debajo de este valor, enviando respectivos mensajes de alerta en el LCD, como se observa a continuación.



**Figura 9.** Temperatura del sistema es superior a 27°C, no entra en funcionamiento el riego.

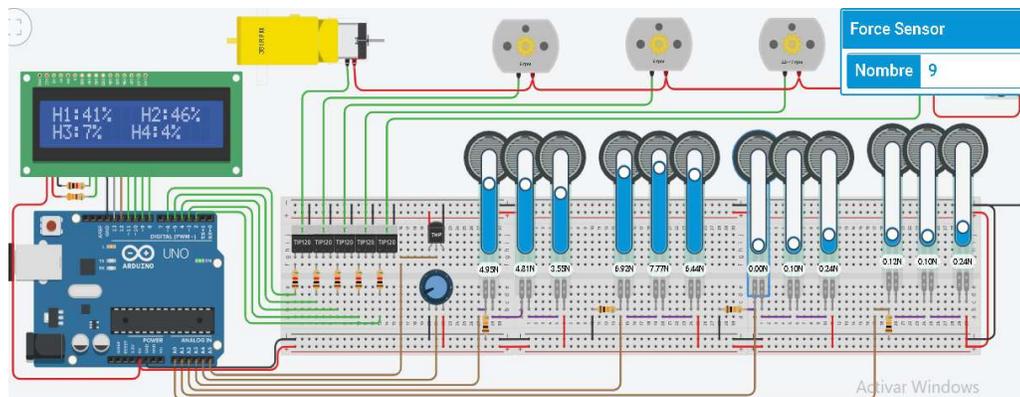


**Figura 10.** Temperatura del sistema es inferior a 27°C, entra en funcionamiento el riego.

### 3.1.2 Funcionamiento del sistema en función de la textura del suelo

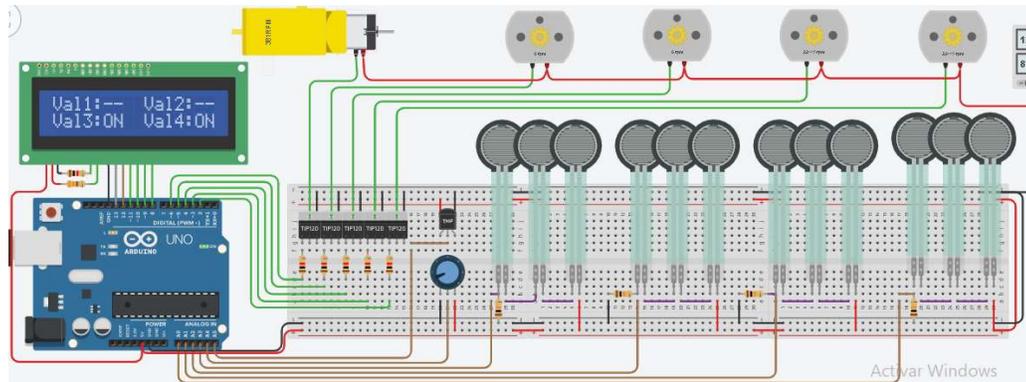
#### 3.1.2.1 Arenoso

Se programó la humedad del suelo a capacidad de campo esto es 10% para suelos arenosos, si el sensor de humedad FC-28 detecta valores inferiores se activan la electroválvula que permite el regadío del cultivo de pimiento, caso contrario se encuentra desactivada la electroválvula y sin regar la misma, como se indica en la siguiente figura:



**Figura 11.** Funcionamiento de los sensores de humedad en suelos de textura arenosa.

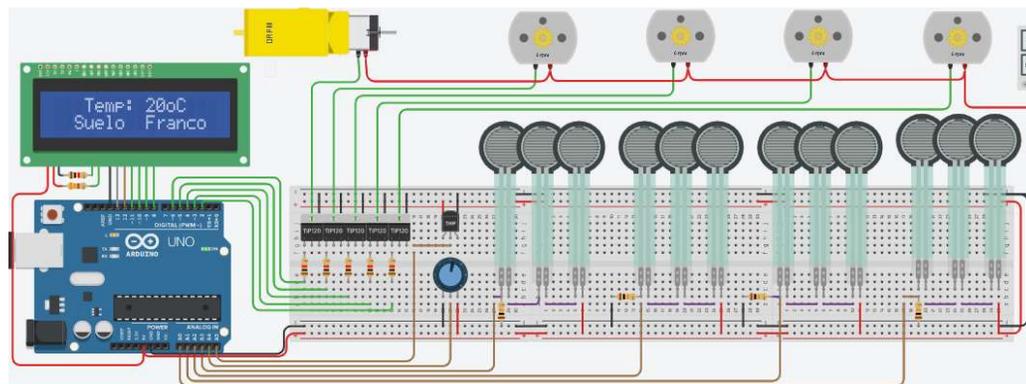
Se observa en la figura 11, las dos primeras parcelas tienen una humedad del suelo de 41% y 46% respectivamente, la tercera y cuarta parcela una humedad de 7% y 4%, por lo tanto, las dos primeras electroválvulas están apagadas y las electroválvulas finales encendidas para suministrar agua para lograr la humedad requerida, observar figura 12.



**Figura 12.** Funcionamiento de las electroválvulas en suelos de textura arenosa.

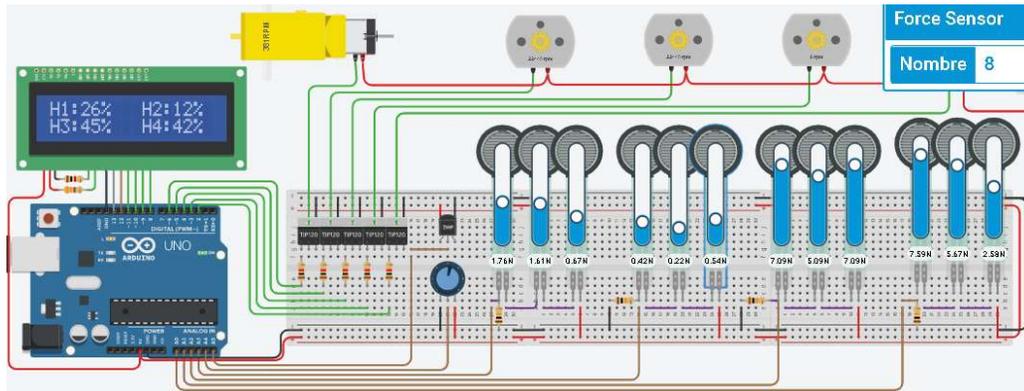
### 3.1.2.2 Franco

De manera similar al apartado anterior, se programó la humedad del suelo a capacidad de campo esto es 27% para suelos tipo franco, si el sensor de humedad FC-28 detecta valores inferiores a éste, se activan las electroválvulas caso contrario no entran en funcionamiento y no hay regadía en el cultivo, como se indica en la siguiente figura:



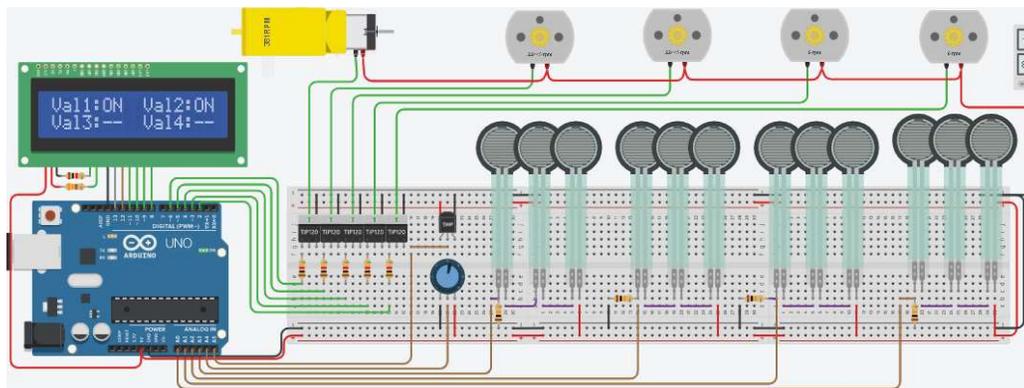
**Figura 13.** Funcionamiento del sistema en suelos de textura tipo franco.

En la figura 13, utilizando el potenciómetro se selecciona la textura del suelo tipo franco, el sistema revisa la temperatura ambiente si es inferior a 30°C, entra en funcionamiento.



**Figura 14.** Funcionamiento de los sensores de humedad en suelos de textura tipo franco.

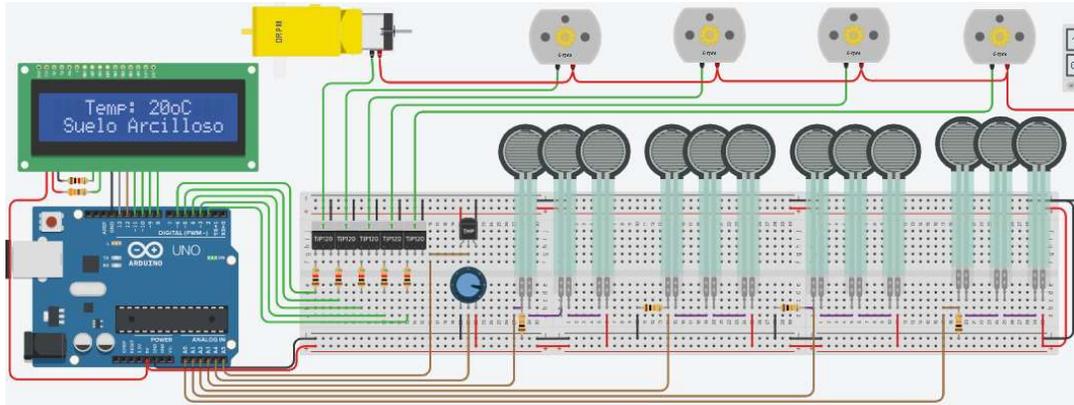
En la figura 14 se observa la humedad detectada por los sensores FC-28 en cada parcela, estas son: 26%, 12%, 45% y 42% respectivamente. Al fijarse la capacidad de campo en suelo de textura tipo franco en 27%, las dos primeras electroválvulas del sistema de riego se activan y las dos electroválvulas finales permanecen apagadas, observar figura 15.



**Figura 15.** Funcionamiento de las electroválvulas en suelos de textura tipo franco.

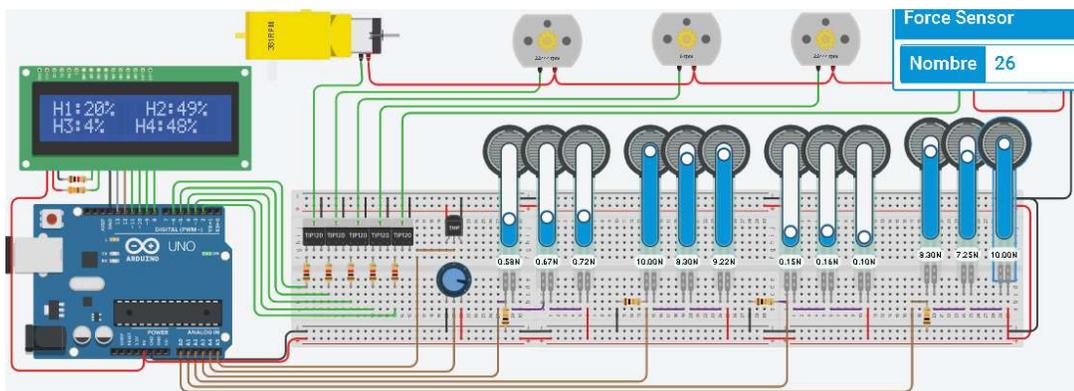
### 3.1.2.3 Arcilloso

Se procede de manera similar, se programó la humedad del suelo a capacidad de campo en suelos arcillosos en un valor de 40%, si el sensor de humedad FC-28 detecta valores inferiores a éste, se activan las electroválvulas caso contrario no entran en funcionamiento y no hay regadía en el cultivo.



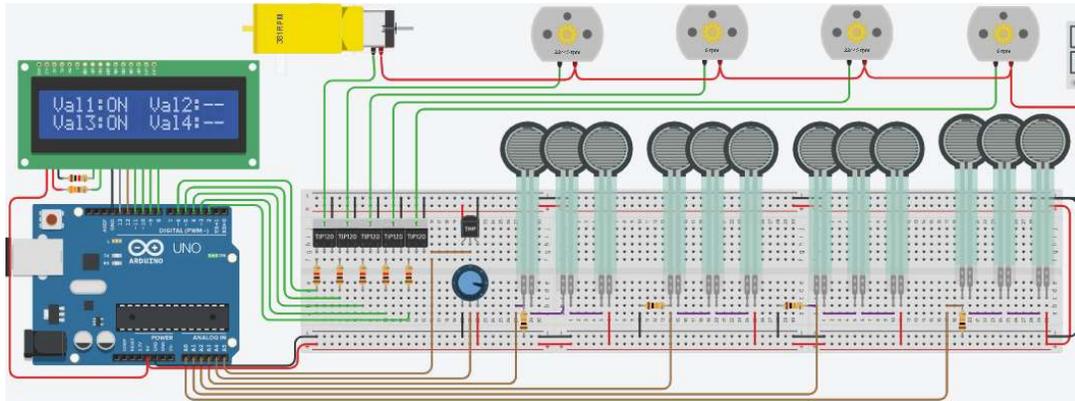
**Figura 16.** Funcionamiento del sistema en suelos de textura tipo arcilloso.

Como se observa en la figura 16, utilizando el potenciómetro nuevamente se selecciona la textura del suelo en este último caso de tipo arcilloso, el sistema revisa la temperatura ambiente si es inferior a 30°C, entra en funcionamiento, enviando el respectivo mensaje utilizando la pantalla LCD.



**Figura 17.** Funcionamiento de los sensores de humedad en suelos de textura tipo arcilloso.

Se muestra en la figura 17, la humedad detectada por los sensores FC-28 en cada parcela del cultivo de pimiento, estas son: 20%, 49%, 4% y 48% respectivamente. Al fijarse la capacidad de campo en suelo de textura tipo arcilloso en 40%, las electroválvulas uno y tres entran en funcionamiento y las electroválvulas dos y cuatro están apagadas, observar figura 18.



**Figura 18.** Funcionamiento de las electroválvulas en suelos de textura tipo arcilloso.

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

- Se ha diseñado satisfactoriamente un sistema automatizado de riego por goteo para el cultivo de pimiento, utilizando Arduino uno y Tinkercad en función de la humedad del suelo en diferentes texturas a bajos costos y de código abierto o libre.
- Se ha realizado un esquema completo para sistema de riego automatizado por goteo, conformado por una electrobomba, cabezal de riego, tubería principal, secundaria y laterales de riego con sus respectivos goteros, sensores de humedad y temperatura, electroválvulas y como elemento principal el Arduino uno, que controla todo el funcionamiento del sistema.
- Se automatizó el sistema de riego por goteo, empleando 12 sensores de humedad en las cuatro parcelas de la hectárea de cultivo de pimiento, en función de sus lecturas y del tipo de textura del suelo se activan o desactivan las electroválvulas para suministrar o no agua al mismo.
- Se ha programado acciones de control on-off en Arduino uno por medio de Tinkercad, para suministrar el agua necesaria y mantener la humedad el suelo a capacidad de campo y que sea fácilmente aprovechable por el cultivo de pimiento.
- Las simulaciones realizadas demuestran el correcto funcionamiento del sistema automatizado de riego por goteo de pimiento, para diferentes texturas de suelo, tomando en consideración continuamente la temperatura ambiente.

## 4.2 Recomendaciones

- Incentivar el uso de tecnologías de código abierto y de bajo costo Arduino uno como herramienta en proyectos futuros de carácter agropecuario.
- Trabajar en prototipos a pequeña escala, como primer paso para corroborar los resultados obtenidos en el presente proyecto de titulación que permitan incursionar a los futuros ingenieros agropecuarios en el campo agrotecnológico.
- Considerar para la implementación del sistema de riego automatizado en campo y cualquier modificación, revisar cuidadosamente la etapa de diseño y requerimientos dado que, ahí se encuentra detallado todo el funcionamiento del mismo.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- Ángel Castillo, F. A. (2015). “Efecto de varias dosis de riego en el comportamiento agronómico del pimiento (*Capsicum annuum* L.), en la granja experimental Manglaralto, Cantón Santa Elena”. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Estatal Península de Santa Elena.
- Borbor Neira, A. F. (2007). “Producción de tres híbridos de pimiento (*Capsicum annuum*) a partir de semillas sometidas a imbibición e imbibición más campo magnético en el campo experimental Río Verde, Cantón Santa Elena” Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Estatal Península de Santa Elena.
- Deker Cerruffo, L. I. (2011). *Adaptación de cinco híbridos de pimiento (Capsicum annuum L.) en la zona de Catarama, Cantón Urdaneta Provincia de los Ríos.* Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad de Guayaquil.
- Ecoterrazas (2013). *El cultivo del pimiento.* Ecoterrazas. Disponible en: <https://www.ecoterrazas.com/blog/el-cultivo-del-pimiento>. Consultado: 25/04/2021.
- Escobi, P. (2018). *El pimiento, todo lo que necesitas saber | Escobi blog.* Escobi. Disponible en: <https://www.escobi.es/pimiento-todo-lo-que-necesitas-saber/> Consultado: 26/03/2021.
- Fernández, Y. (2020). *Qué es Arduino, cómo funciona y qué puedes hacer con uno* Disponible: <https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como-funciona-que-puedes-hacer-uno>. Consultado: 16/04/2021.
- Floresyplantas.net (2016). *Cultivo del pimiento.* Rev. Flores Plantas Jard. Paisajismo Medio Ambiente. Disponible: <https://www.floresyplantas.net/el-cultivo-del-pimiento> Consultado: 25/04/2021.
- Goyal, M., 2017. *Riego por goteo.* Capítulo IV sistemas de riego.
- Hidalgo Guacho, W. P (2015). *Diseño e implementación de un sistema de adquisición de señales biométricas mediante mensajes SMS.* facultad de informática y electrónica. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Infoagro (2021). *Agroinformación. El cultivo del pimiento. 1ª parte.* Disponible: <https://infoagro.com/hortalizas/pimiento.htm>. Consultado: 26/03/2021.
- Infoagro (2012). *Agroinformación. El cultivo del pimiento. 1ª parte.* Disponible: <https://www.infoagro.com/hortalizas/pimiento.htm>. Consultado: 16/04/2021.

- Intriago Vidal, A. B, and Sacón, Zambrano J. L, (2012). *Diseño e implementación de un sistema de riego por goteo para pimiento (Capsicum annuum L.) en el área convencional, ESPAM–MFL*. Escuela Superior Politécnica agropecuaria de Manabí.
- Netafim (2021). *Riego por Goteo | Netafim*. Disponible: <https://www.netafim.com/es-pe/drip-irrigation/>. Consultado: 30/03/2021.
- Pérez Toapanta, M. F. (2014). *Evaluación de tres sustratos y cuatro dosis de bioestimulante para la producción de pimiento ornamental (Capsicum annuum) bajo invernadero. Quito, Pichincha*. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Central del Ecuador.
- Prudente Flores, J. A (2015). *Efecto de láminas de riego en el cultivo de pimiento (Capsicum annuum L.) en condiciones de la Comuna Cerezal Bellavista, Cantón Santa Elena*. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Estatal Península de Santa Elena.
- Quiñonez, J., Arias, J., Tandazo, J., (2020). "Produccion de pimiento (Capsicum annuum L.) mediante la aplicación de abonos orgánicos". *Revista Ciencia e Investigación* Vol. 5, N°. 3, pp 44
- Sepúlveda, A., (2018). *Sistema de riego. Parque. Alegres IAP*. Disponible: <https://parquesalegres.org/biblioteca/blog/sistema-riego-concepto/>. Consultado: 29/03/2021.
- Vilchez Chumpitaz, H. A. (2020). *Diseño e implementación de un sistema de riego por goteo automatizado para una hectárea de cultivo de durazno en el Distrito de la Isla - Asia, Cañete*. Facultad de Ingeniería. Universidad Ricardo Palma.

# ANEXOS

## **Anexo 1.** Diseño hidráulico del sistema de riego.

### **Porta goteros**

- *Longitud de la manguera o cinta: 50 m.*
- *Distancia entre goteros: 0,40 cm.*
- *Caudal gotero hoja técnica:  $1 \frac{l}{h}$*
- *Número de goteros por línea o hilera: 121 goteros.*

### **Caudal de origen o portagoteros**

- *$Q1 =$  Número goteros por caudal de cada gotero.*
- *$Q1 = 121 \times 1 \frac{l}{h}$*
- *$Q1 = 121 \frac{l}{h}$*

### **Longitud ficticia**

- *$Lf1 = L +$  (número goteros por distancia entre goteros).*
- *$Lf1 = 50 m + (121 \times 0,40 m).$*
- *$Lf1 = 98,4 m.$*

### **Pérdida de carga real**

Utilizando la ecuación de pérdida de carga Blasius.

- *$h1 = \frac{0,473 \times Q_1^{1,75} \times Lf \times Fc}{D^{4,75}}$*
- *$Q1 =$  Caudal de origen.*
- *$Fc =$  Factor de Christiansen 0,369 para 121 salidas.*
- *$Lf =$  Longitud ficticia.*
- *$D =$  Diámetro del lateral de riego 16mm.*
- *$h1 = \frac{0,473 \times (121)^{1,75} \times 0,369 \times 98,4 m}{(16mm)^{4,75}}$*
- *$h1 = 0,145 m.$*

### Presión necesaria de origen del caudal

- $P_{o1} = P_m + 0,73 h_1 + \frac{Hg}{2}$  (no hay desnivel).
- $P_m$ : Pérdida de trabajo del gotero 10 m.
- $h_1$ : Pérdida de carga en el lateral.
- $P_{o1} = 10 \text{ m} + 0,73 (0,145 \text{ m})$
- $P_{o1} = 10,11 \text{ m}$ .

### Cálculo de la tubería secundaria

Caudal en el origen de las secundarias

- $Q_2 = n \times Q_1$
- $n$ : número de laterales = 49.
- $Q_1 = \text{Caudal en el portagotero} = 242 \frac{l}{h}$
- $Q_2 = 49 (242 \frac{l}{h})$
- $Q_2 = 5929 \frac{l}{h}$

### Longitud real

- $L_2 = 49 \text{ m}$ .

### Longitud ficticia secundaria

- $Lf_2 = \alpha L_2$
- $Lf_2 = 1,20 (49)$ .
- $Lf_2 = 58,8 \text{ m}$ .

### Pérdida de carga real de la secundaria

- $h_2 = \frac{0,473 \times Q_2^{1,75} \times Fc \times Lf_2}{D_2^{4,75}}$
- $D_2 = \text{Diámetro tubería secundaria} = 40 \text{ mm } 1 \frac{1}{2}$
- $Q_2 = \text{Caudal origen secundaria}$ .
- $Fc = \text{Factor de Christiansen para 50 salidas} = 0,374$ .
- $Lf = \text{Longitud ficticia de la secundaria}$ .

$$- h_2 = \frac{0,473 \times (5929 \text{ l/h})^{1,75} \times 0,374 \times (58,8)}{(40 \text{ mm})^{4,75}}$$

$$- h_2 = 1,02 \text{ m.}$$

### Presión de origen de la secundaria

$$- P_{O_2} = P_{O_1} + 0,73h_2 + \frac{Hg}{2} \text{ (no hay desnivel).}$$

$$- P_{O_2} = 10,11 \text{ m} + 0,73 (1,02 \text{ m}).$$

$$- P_{O_2} = 10,86 \text{ m.}$$

### Caudal en el origen de la primaria

$$- Q_3 = n \times Q_2$$

$$- Q_3 = 4 \left( 5929 \frac{\text{l}}{\text{h}} \right)$$

$$- Q_3 = 23716 \frac{\text{l}}{\text{h}}$$

$$-$$

### Longitud real

$$- L_3 = 202 \text{ m.}$$

### Longitud ficticia

$$- Lf_3 = \alpha \times L_3$$

$$- Lf_3 = 1,20 (202 \text{ m}).$$

$$- Lf_3 = 242,4 \text{ m.}$$

### Pérdida de carga real de la primaria principal

$$- h_3 = \frac{0,473 \times Q_3^{1,75} \times Fc \times Lf_3}{D_3^{4,75}}$$

$$- D_3: \text{diámetro principal } 65 \text{ mm } 2 \frac{1}{2}$$

$$- h_3 = \frac{0,473 \times Q_3^{1,75} \times 0,479 \times 242,4 \text{ m}}{(65 \text{ mm})^{4,75}}$$

$$- h_3 = 6,32 \text{ m.}$$

### Presión origen primaria

$$- P_{O_3} = P_{O_2} + 0,73h_3 + \frac{Hg}{2} \text{ (no hay desnivel).}$$

- $P_{O_3} = 10,86 \text{ m} + 0,73 \text{ (6,32 m)}$ .
- $P_{O_3} = 15,47 \text{ m}$ .

### **Pérdida de carga total en el sistema**

- $P_t = P_{O_3} + \text{pérdida cabezal de riego} + \text{pérdida de carga venturi}$ .
- $P_t = 15,47 \text{ m} + 4 \text{ m} + 4 \text{ m}$ .
- $\text{Pérdida de carga total de sistema} = 23,74 \text{ m}$ .

### **Selección de la bomba de riego**

- *La bomba debe proporcionar un caudal de  $24 \text{ m}^3/\text{h}$  y una carga dinámica total de  $24 \text{ m}$ .*
- *Se selecciona una electrobomba centrífuga monoblock modelo MD – 50 – 125/4.0 y con una potencia de  $5.5 \text{ HP}$ .*

## **Anexo 2.** Programa del Sistema automatizado de riego para el cultivo de pimiento implementado en Arduino uno y Tinkercad.

```
#include <LiquidCrystal.h>

LiquidCrystal lcd(13,12,11,10,9,8);

float arduino0;
float arduino1;
float arduino2;
float arduino3;
float arduino4;
float arduino5;
float humedad1;
float humedad2;
float humedad3;
float humedad4;
float suelo;
float temperatura;
float control;
int bomba=6;
int valvula1=5;
int valvula2=4;
int valvula3=3;
int valvula4=2;
int arenoso = 10;
int franco = 27;
int arcilloso = 40;

void setup()
{
  pinMode(bomba,OUTPUT);
  pinMode(valvula1,OUTPUT);
  pinMode(valvula2,OUTPUT);
  pinMode(valvula3,OUTPUT);
  pinMode(valvula4,OUTPUT);
```

```

lcd.begin(16,2);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("  UPSE  ");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(" Agropecuaria ");
delay(500);
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("  Proyecto  ");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("  Titulacio`n  ");
delay(500);
}
void loop()
{
  arduino0=analogRead(0);
  arduino1=analogRead(1);
  arduino2=analogRead(2);
  arduino3=analogRead(3);
  arduino4=analogRead(4);
  arduino5=analogRead(5);
  humedad4=(arduino0*50/753);
  humedad3=(arduino1*50/753);
  humedad2=(arduino2*50/753);
  humedad1=(arduino3*50/753);
  suelo=arduino4;
  temperatura=((arduino5*25/169)-2.95);
  if(temperatura<30)
  {
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("  Temp: ");
    lcd.print(temperatura,0);
  }
}

```

```

lcd.print("oC ");
    if(suelo>0&& suelo<341)
    {
        control=arenoso;
        lcd.setCursor(0,1);
            lcd.print(" Suelo Arenoso ");
        delay(1000);
    }

    if(suelo>341&& suelo<682)
    {
        control=franco;
        lcd.setCursor(0,1);
            lcd.print(" Suelo Franco ");
        delay(1000);
    }

    if(suelo>682&& suelo<1023)
    {
        control=arcilloso;
        lcd.setCursor(0,1);
            lcd.print(" Suelo Arcilloso ");
        delay(1000);
    }
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("H1:");
lcd.print(humedad1,0);
lcd.print("% ");
lcd.print("H2:");
    lcd.print(humedad2,0);
    lcd.print("%");
lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("H3:");
    lcd.print(humedad3,0);

```

```

    lcd.print("% ");
lcd.print("H4:");
    lcd.print(humedad4,0);
    lcd.print("% ");
delay(1800);
    if(humedad1<control)
{
digitalWrite(valvula1,HIGH);
    lcd.setCursor(0,0);
        lcd.print("Val1:ON ");
    delay(800);
}
    else
    {
digitalWrite(valvula1,LOW);
    lcd.setCursor(0,0);
        lcd.print("Val1:-- ");
    delay(800);
}
    if(humedad2<control)
{
digitalWrite(valvula2,HIGH);
    lcd.setCursor(9,0);
        lcd.print("Val2:ON");
    delay(800);
}
    else
    {
digitalWrite(valvula2,LOW);
    lcd.setCursor(9,0);
        lcd.print("Val2:--");
    delay(800);
}

```

```

}
if(humedad3<control)
{
digitalWrite(valvula3,HIGH);
lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("Val3:ON ");
delay(500);
}
else
{
digitalWrite(valvula3,LOW);
lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("Val3:-- ");
delay(800);
}
if(humedad4<control)
{
digitalWrite(valvula4,HIGH);
lcd.setCursor(9,1);
    lcd.print("Val4:ON");
delay(800);
}
else
{
digitalWrite(valvula4,LOW);
lcd.setCursor(9,1);
    lcd.print("Val4:--");
delay(800);
}
}
if(humedad1>control || humedad2>control || humedad3>control ||
humedad4>control)
{

```

```
        digitalWrite(bomba,LOW);
    }
    if(humedad1<control || humedad2<control || humedad3<control ||
humedad4<control)
    {
        digitalWrite(bomba,HIGH);
    }
}
else
{
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("TEMP ALTA: ");
    lcd.print(temperatura,0);
    lcd.print("oC ");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print(" NO REGAR ");
    digitalWrite(bomba,LOW);
    digitalWrite(valvula1,LOW);
    digitalWrite(valvula2,LOW);
    digitalWrite(valvula3,LOW);
    digitalWrite(valvula4,LOW);
}
}
```

### Anexo 3. Factor de Christiansen

$l_0=1$						$l_0=1/2$					
n	B=1.75	=1.80	=1.85	=1.90	=2.0	n	B=1.75	=1.80	=1.85	=1.90	=2.00
1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
2	0.650	0.644	0.639	0.634	0.625	2	0.532	0.525	0.518	0.512	0.500
3	0.546	0.540	0.535	0.528	0.518	3	0.455	0.448	0.441	0.434	0.422
4	0.497	0.491	0.486	0.480	0.469	4	0.426	0.419	0.412	0.405	0.343
5	0.469	0.463	0.457	0.451	0.440	5	0.410	0.403	0.397	0.390	0.378
6	0.451	0.445	0.435	0.433	0.421	6	0.401	0.394	0.387	0.381	0.369
7	0.438	0.432	0.425	0.419	0.408	7	0.395	0.388	0.381	0.375	0.363
8	0.248	0.422	0.415	0.410	0.398	8	0.390	0.383	0.377	0.370	0.358
9	0.421	0.414	0.409	0.402	0.391	9	0.387	0.380	0.374	0.367	0.355
10	0.415	0.409	0.402	0.396	0.385	10	0.384	0.378	0.371	0.365	0.353
11	0.410	0.404	0.397	0.392	0.380	11	0.382	0.375	0.369	0.363	0.351
12	0.406	0.400	0.394	0.388	0.376	12	0.380	0.374	0.367	0.361	0.349
13	0.403	0.396	0.391	0.384	0.373	13	0.379	0.372	0.366	0.360	0.348
14	0.400	0.394	0.387	0.381	0.370	14	0.378	0.371	0.365	0.358	0.347
15	0.397	0.391	0.384	0.379	0.367	15	0.377	0.370	0.364	0.357	0.346
16	0.395	0.389	0.382	0.377	0.365	16	0.376	0.369	0.363	0.357	0.345
17	0.393	0.387	0.380	0.375	0.363	17	0.375	0.368	0.362	0.356	0.344
18	0.392	0.385	0.379	0.373	0.361	18	0.374	0.368	0.361	0.355	0.343
19	0.390	0.384	0.377	0.372	0.360	19	0.374	0.367	0.361	0.355	0.343
20	0.389	0.382	0.376	0.370	0.359	20	0.373	0.367	0.360	0.354	0.342
22	0.387	0.380	0.374	0.368	0.357	22	0.372	0.366	0.359	0.353	0.341
24	0.385	0.378	0.372	0.366	0.355	24	0.372	0.365	0.359	0.352	0.341
26	0.383	0.376	0.370	0.364	0.353	26	0.371	0.364	0.358	0.351	0.340
28	0.382	0.375	0.369	0.363	0.351	28	0.370	0.364	0.357	0.351	0.340
30	0.380	0.374	0.368	0.362	0.350	30	0.370	0.363	0.357	0.350	0.339
35	0.378	0.371	0.365	0.359	0.347	35	0.369	0.362	0.356	0.350	0.338
40	0.376	0.370	0.364	0.357	0.345	40	0.368	0.362	0.355	0.349	0.338
50	0.374	0.367	0.361	0.355	0.343	50	0.367	0.361	0.354	0.348	0.337
60	0.372	0.366	0.359	0.353	0.342	100	0.365	0.359	0.353	0.347	0.335
80	0.370	0.363	0.357	0.351	0.340	200	0.365	0.358	0.352	0.346	0.334
100	0.369	0.362	0.356	0.350	0.338						
150	0.367	0.360	0.354	0.348	0.337						
300	0.365	0.359	0.353	0.346	0.335						
	0.364	0.357	0.351	0.345	0.333						

**Anexo 4.** Costo monetario para la implantación de un sistema de automatizado con Arduino uno.

<b>COSTO DEL SISTEMA AUTOMATIZADO CON ARDUINO UNO</b>			
<b>Descripción</b>	<b>V. Unitario</b>	<b>Cantidad</b>	<b>V. Total</b>
Electroválvulas 12Vdc 40mm	\$6,46	4	\$25,84
Sensor de humedad de suelo FC-28	\$1,50	12	\$18,00
Sensor de temperatura DHT-11	\$2,00	1	\$2,00
Pantalla LCD 16x2	\$4,50	1	\$4,50
Potenciómetro - selector	\$1,00	1	\$1,00
Arduino uno	\$10,00	1	\$10,00
Elementos varios	\$20,00	1	\$20,00
Total			\$81,34