

**Estudio de Correlación Entre Variables Principales Presentes en un Sistema de Cultivo
Hidropónico NFT**

Luis Hernando Rivera Chalapud

Elkin Mario Ortiz López

Universidad CESMAG

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Electrónica

San Juan de Pasto

2024

Estudio de Correlación Entre Variables Principales Presentes en un Sistema de Cultivo
Hidropónico NFT

Luis Hernando Rivera Chalapud

Elkin Mario Ortiz Lopez

Asesor

Msc. William Andrés Arévalo Terán

Universidad CESMAG

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Electrónica

San Juan de Pasto

2024

Nota de Aceptación.

Aprobado por el Comité Curricular en cumplimiento de los
requisitos exigidos por la Universidad CESMAG
para optar al título de Ingeniero Electrónico.

William Andrés Arévalo Terán

Asesor

Jurado

Jurado

Página de nota de exclusión de responsabilidad intelectual.

“El pensamiento que se expresa en esta obra es exclusivamente responsabilidad de su autor y no compromete la ideología de la Universidad CESMAG”.

Dedicatoria.

El presente proyecto de grado se lo dedico en primer lugar a Dios y a la virgen de las lajas por estar conmigo siempre brindándome salud, vida y ganas de seguir adelante para poder llevar a cabo mis actividades y así alcanzar todas mis metas.

A mi hermano y a mis padres por estar conmigo siempre brindarme todo su apoyo en cada paso de mi vida, por brindarme toda su confianza y fortaleza para afrontar cualquier tipo de situación también por darme la energía suficiente para nunca rendirme y mostrarme que con esfuerzo todo es posible.

A mis abuelos y a mis tíos por brindarme todos sus conocimientos y experiencias con el fin de que sea una mejor persona.

A mi novia porque me enseñó el valor que tengo como persona también por estar alentándome y ayudándome a salir adelante.

Finalmente, no me queda más que darles las gracias a todos y cada uno de ellos por su apoyo y por hacer que mi vida sea mejor.

Elkin Mario Ortiz Lopez.

Dedicatoria.

El presente proyecto de grado se lo dedico a mis padres, cuya sabiduría y amor incondicional me han guiado en cada paso de mi vida. Gracias por enseñarme el verdadero significado de la perseverancia y el sacrificio. Su apoyo constante ha sido el pilar fundamental en mi camino, a mi hermana por ser mi apoyo y siempre en momentos de tristeza o enojo poder sacarme una sonrisa y a mis tíos por ser una extensión de amor y cuidado. Su generosidad y ejemplo han enriquecido mi vida de innumerables maneras.

Luis Hernando Rivera Chalapud.

Contenido

Estudio de Correlación Entre Variables Principales Presentes en un Sistema de Cultivo Hidropónico NFT		1
Introducción		14
1.	El Problema de Investigación	16
1.1	Objeto de Investigación.....	16
1.2	Línea de Investigación	16
1.3	Sublínea de Investigación.....	16
1.4	Descripción o Planteamiento del Problema	16
1.5	Formulación del Problema	17
1.6	Objetivos	17
1.6.1	Objetivo General	17
1.6.2	Objetivos Específicos.....	17
1.7	Justificación.....	18
1.8	Delimitación.....	18
2.	Tópicos del Marco Teórico.....	20
2.1	Antecedentes	20
2.1.1	Implementación de un sistema hidropónico NFT	20
2.1.2	Variables medioambientales de los cultivos hidropónicos.....	20
2.1.3	Control y balance de los nutrientes en la solución nutritiva.....	21
2.1.4	Factores que influyen en el crecimiento del cultivo	21
2.1.5	Tubería de alimentación del cultivo	23
2.1.6	Diseño e implementación de un prototipo para el control y automatización de un sistema hidropónico en un invernadero	25

2.1.7 Implementación del método instruccional ADDIE, para recopilación y análisis de información	25
2.1.8 Sistema de un prototipo de un sistema de producción tipo aeropónico	27
2.1.9 Tecnologías relacionadas con invernaderos para flores	27
2.2 Supuestos Teóricos.....	28
2.2.1 ¿Qué es cultivo NFT?.....	28
2.2.2 ¿Qué es hidroponía?	28
2.2.3 ¿Qué es correlación?.....	28
2.2.4 Tipos de aspersión	30
2.2.5 Frecuencia de Riego	30
2.2.6 Sensores y Actuadores.....	31
2.3 Definición de Conceptos	43
2.3.1 Definición nominal de conceptos	43
2.3.2 Definición operativa de conceptos	44
2.4 Hipótesis.....	45
2.4.1 Hipótesis de investigación.....	45
2.4.2 Hipótesis nula	45
2.4.3 Hipótesis alternativa	45
3. Metodología	47
3.1 Enfoque	47
3.2 Paradigma.....	47
3.3 Método	47
3.4 Tipo de Investigación	47
3.5 Diseño de Investigación	48
3.6 Universo	48

3.7	Muestra.....	49
3.8	Técnicas de Recolección de Información.....	49
3.8.1	Validez de la Técnica	49
3.8.2	Confiabilidad de la Técnica.....	49
3.9	Técnicas de Recolección de Datos	49
4.	Resultados	51
4.1	Construcción de la estructura del cultivo	51
4.1.1	Construcción de las cabinas.....	52
4.2	Sistema de instrumentación electrónica para el cultivo de hidroponía	55
4.2.1	Fuente de alimentación.....	55
4.2.2	Sensor de temperatura ambiente y humedad relativa (DHT11)	55
4.2.3	Sensor de conductividad eléctrica (Sen 0244).....	55
4.2.4	Sensor de pH (pH sensor E-201).....	56
4.2.5	Galga extensiométrica y modulo HX711	56
4.2.6	Sensor de temperatura (DS18B20).....	57
4.2.7	Modulo relé de cuatro canales.....	57
4.2.8	Modulo clock DS1307.....	57
4.2.9	Firmware	58
4.2.10	Diseño esquemático general del hardware	59
4.2.11	Implementación de las galgas extensiométricas.....	64
4.2.12	Prueba del sistema de adquisición de datos de ESP32 a ThingSpeak/EXCEL	66
4.3	Introducción a los experimentos	69
4.3.1	Obtención de peso en la estructura.....	70
4.3.2	Datos de las variables de estudio.....	71

4.3.3	Cabina 1.....	72
4.3.4	Cabina 2.....	74
5.	Análisis y discusión de resultados	78
5.1	Traslado a la estructura hidropónica	78
5.2	Coeficientes de correlación	78
5.2.1	Coeficientes de correlación para la cabina 1 y 2	79
5.3	Comparación de la conductividad eléctrica y peso en las cabinas	84
	Conclusiones	86
	Trabajos futuros	88
	Referencias.....	89
	Anexos	91

Lista de Figuras

Figura 1. Método ADDIE ajustado a la automatización de un invernadero hidropónico.	26
Figura 2. Sensor de temperatura DHT11	31
Figura 3. Sensor de Temperatura en Líquidos DS18B20	32
Figura 4. Sensor de pH.....	34
Figura 5. Escala de pH en milivoltios	35
Figura 6. Sensor conductividad eléctrica (SEN 0244).....	36
Figura 7. Modulo ADS1115.....	37
Figura 8. Modulo Relé	38
Figura 9. Galga extensiométrica	39
Figura 10. Módulo HX711	40
Figura 11. Modulo DS1307	40
Figura 12. ESP32 con su diagrama de pines.....	41
Figura 13. Arduino UNO R3.....	42
Figura 14. Motobomba de Agua	43
Figura 15. Bosquejo con medidas de la estructura.....	51
Figura 16. Estructura.....	52
Figura 17. Cabina 1 y cabina 2.....	53
Figura 18. Armado de la estructura para la cabina uno.....	54
Figura 19. Armado de la estructura de la cabina dos	54
Figura 20. Diagrama del código unificado.....	58
Figura 21. Diagrama de conexiones del sistema de instrumentación	59
Figura 22. Diagrama esquemático del sistema de instrumentación	60
Figura 23. Diseño PCB del sistema de instrumentación.....	61
Figura 24. Diagrama de conexiones de los HX711.....	61
Figura 25. Diagrama esquemático de los HX711	62
Figura 26. Diseño PCB de los HX711	63
Figura 27. Diagrama de conexión del riego automatizado	63
Figura 28. Calibración de la galga con un peso de 295 gramos.....	65
Figura 29. Estructura para sostener la galga y el tubo	65

Figura 30. Conexión de los sensores para la adquisición de datos	66
Figura 31. Página de ThingSpeak	67
Figura 32. Importación y exportación de datos de la plataforma de ThingSpeak.....	67
Figura 33. Datos enviados a ThingSpeak.....	68
Figura 34. Datos exportados de ThingSpeak a EXCEL.....	68
Figura 35. Ubicación de Peso 1 y Peso 2	70

Lista de Tablas

Tabla 1. Rangos de Correlación de Spearman	30
Tabla 2 Conexión HX711 con la galga extensiométrica.....	56
Tabla 3 Conexión HX711 con el ESP32.....	57
Tabla 4 Peso de hileras cabina 1 y cabina 2.....	71
Tabla 5 Datos de las variables de estudio de la cabina 1	74
Tabla 6 Error porcentual del sensor de conductividad eléctrica	75
Tabla 7 Datos de las variables de estudio de la cabina 2	77
Tabla 8. Correlación entre conductividad y peso.....	79
Tabla 9. Correlación entre conductividad y peso1	81
Tabla 10. Promedio de los coeficientes de las variables para cada una de las cabinas.....	83
Tabla 11 Comparación entre la conductividad eléctrica y el peso de las cabinas.....	84

Introducción

Los cultivos bajo invernaderos han permitido con el pasar de los años tener productos de buena calidad, mejorando el ciclo del cultivo, permitiendo producir en lugares de difíciles condiciones, obteniendo no solo calidad, también cantidad. Adicionalmente se deben tener en cuenta los cultivos sin suelo, hidroponía o aeroponía que a pesar de que tienen tiempo de investigación e implementación son métodos poco conocidos de producción agrícola y es un centro de atracción para muchas personas que quieren cultivar sus vegetales frescos, sin preocuparse de excesos de fertilización, pesticidas, clima, problemas de la tierra, etc., traen muchas ventajas, como:

- Ahorro de agua
- Manejo automatizado
- Ahorro en mano de obra
- Ahorro en uso de sustratos
- Optimización del espacio
- Mayor producción
- Menor pérdida en uso de fertilizantes
- Mayores ganancias con menor inversión

Es así como mediante el uso de invernaderos se ha logrado crear condiciones ambientales que llevan a optimizar el crecimiento sano y desarrollo de las plantas, con el fin de aumentar su productividad y calidad.

Los parámetros más relevantes en el control que intervienen en un invernadero son los relacionados con el clima, frecuencia de riego, humedad, temperatura, luminosidad, pH, conductividad eléctrica etc. y con el uso de controladores se obtiene la mayor regulación climática esto implica que haya un mejor control de desarrollo de la planta y por ende un aumento de la cantidad y calidad de la cosecha.

La lechuga es la hortaliza más importante del grupo de los vegetales de hoja que se comen crudos, esta planta proviene de la India y de Asia Central. En 1565 se inició el cultivo en América.

Es rica en betacaroteno, pectina, fibra, lactucina y vitaminas como: A, E, C, B1, B2 y B3, además contiene calcio, magnesio, potasio y sodio. Tiene antioxidantes que ayudan a disminuir el envejecimiento celular, los niveles de colesterol y a mejorar la circulación. Es ideal para las personas diabéticas ya que regula los niveles de azúcar en la sangre.

Se propone desarrollar un sistema de adquisición de datos de las variables de estudio para realizar una correlación con los datos obtenidos en un ambiente artificial de un cultivo tipo invernadero hidropónico, en donde se realizará el monitoreo y control de las variables de temperatura, humedad, pH, conductividad eléctrica y peso; para ello se utilizó una placa ESP32 que se ajusta a las necesidades del proyecto, a esta placa están conectados los sensores y actuadores del sistema que funcionaran bajo los criterios de una programación según los requerimientos del cultivo de invernadero hidropónico.

1. El Problema de Investigación

1.1 Objeto de Investigación

Correlación entre variables de temperatura, humedad, peso, conductividad eléctrica, frecuencia de riego y pH presentes en un sistema de cultivo hidropónico NFT (Nutrient Film Technique) de lechuga.

1.2 Línea de Investigación

Sistemas de automatización y control.

1.3 Sublínea de Investigación

Control de procesos.

1.4 Descripción o Planteamiento del Problema

Actualmente los cultivos hidropónicos que usan la técnica NFT y tienen un sistema de automatización y control electrónico en el departamento de Nariño son muy pocos, esto se comprobó gracias a la información proporcionada por la empresa Abonar S.A.S y su gerente Ing. Agrónomo: Hernando Alirio Rivera Cifuentes él con sus años de experiencia se encarga de la visita y supervisión de cultivos e invernaderos en diferentes corregimientos y municipios del departamento de Nariño donde afirma que no se observan con frecuencia cultivos hidropónicos NFT y que la única automatización que tienen es el riego temporizado. Gracias a su testimonio se sabe que en los cultivos e invernaderos los encargados de estar al pendiente de los cultivos son directamente los agricultores.

El cultivo hidropónico NFT al ser un cultivo sin suelo depende mucho de las características del sustrato, temperatura, humedad, pH, conductividad eléctrica, etc., que las personas que están a cargo deben estar al pendiente de ellas, pero muchas veces se hace caso omiso a estas variables y si bien existen recomendaciones de trabajo para el manejo adecuado y

estabilización de estas no hay mucha supervisión para mantener el cultivo en los números adecuados de las variables.

En el departamento de Nariño en la ciudad de Pasto, no existe un estudio que permita conocer cuál es la correlación presente entre variables de temperatura, humedad, peso, conductividad eléctrica y pH presentes en un sistema de cultivo hidropónico NFT. Al no realizar la correlación no se sabe con exactitud y veracidad si las variables a analizar tienen importancia en el desarrollo adecuado del cultivo.

1.5 Formulación del Problema

¿Cuál es la correlación entre el incremento de peso y las variables de estudio temperatura, humedad, conductividad eléctrica y pH de un cultivo de lechuga bajo las condiciones de hidroponía NFT?

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo General

Determinar la correlación existente entre variables de temperatura, humedad, peso, conductividad eléctrica, pH presentes en un cultivo hidropónico NFT de lechuga.

1.6.2 Objetivos Específicos.

- Diseñar la infraestructura mecánica y electrónica del sistema hidropónico NFT que permita conocer las variables de temperatura, humedad, peso, conductividad eléctrica y pH considerando las necesidades del cultivo y las condiciones ambientales.
- Implementar un sistema hidropónico NFT debidamente instrumentado y un sistema de registro de información.
- Correlacionar la información recolectada de las variables de estudio

1.7 Justificación.

El sistema de cultivo hidropónico NFT se basa principalmente en la reducción de espacio y comprende una serie de diseños, en donde el principio básico es la circulación continua o intermitente de una capa de solución nutritiva a través de las raíces, que pasa por una serie de canales que pueden ser de PVC, polietileno, etc., algunos de los materiales para realizar los canales pueden ser reciclados esto puede disminuir en gran medida la inversión inicial.

Este sistema también ayuda a cultivar en tierra erosionada o no fértil, ahorro significativo en solución nutritiva y en agua, acelera, además facilita el tiempo de cosecha y tiene un aprovechamiento de espacio, ya que se puede cultivar en niveles, minimizar gastos en fertilizantes.

El aprovechamiento de espacio en el sector urbano es un factor muy importante ya que es muy difícil contar con la posibilidad de vivir en un entorno amplio que cuente con una zona en donde se pueda realizar un cultivo tradicionalmente entonces este tipo de técnicas permiten a que las personas que no cuenten con suficiente espacio y quieran realizar un cultivo puedan hacerlo sin problema alguno.

Conocer la interrelación de las variables permitiría a futuro hacer procesos de control más eficientes que optimicen el uso de recursos e insumos ya que cuando finalice el estudio se obtendrá cuáles son los rangos en donde el desarrollo del cultivo sea el más adecuado.

1.8 Delimitación.

El proyecto se realizará en Sanjosé de Albán – Nariño contando con un espacio adecuado en la terraza de uno de los investigadores en donde se podrá realizar toda la implementación desde el principio hasta finalizar el estudio.

La funcionalidad del proyecto será desde la implementación, el registro y envío de datos de las variables hasta realizar la correlación de los datos obtenidos durante todo el proceso, el tiempo estimado que tardara en realizarse esta investigación es de un año.

El estudio se realizará con una infraestructura mínima de tres canales en donde cada canal tendrá entre 5 a 7 plantas que estarán separadas 25cm entre planta y planta.

Se realizará una propuesta de investigación en donde este plasmado todo lo referente con el cultivo hidropónico NFT.

2. Tópicos del Marco Teórico

2.1 Antecedentes

2.1.1 *Implementación de un sistema hidropónico NFT*

La propuesta de la tesis realizada por Jorge Alonso Rodas Gómez “Participación en la implementación de un sistema hidropónico NFT (Nutrient Film Technique) y raíz flotante en el cultivo lechuga (*lactuca sativa* l.) bajo cobertura en la escuela nacional central de agricultura, Enca Barcenas Villa Nueva, Guatemala”, (Rodas, 2020) es uno de las investigaciones que más se asemejan al presente trabajo, cuyo objetivo se trata en mejorar el sistema NFT mediante un sistema de control y automatización que permita controlar las variaciones de pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y temperatura y también utiliza el software LABVIEW, para visualizar el estado y valores de conductividad eléctrica, pH, oxígeno disuelto y temperatura.

La radical diferencia es que en el presente trabajo se realizaran modificaciones de cada una de las variables de estudio listadas y definidas en la sección 2.3.1 con el fin de mirar la incidencia que traen estos cambios realizados en cuanto a calidad, crecimiento y peso del cultivo.

2.1.2 *Variables medioambientales de los cultivos hidropónicos*

En este documento realizado por (Rozo et al., 2020), listan las variables las cuales tienen mayor incidencia en el crecimiento del cultivo hidropónico NFT. Estas variables necesitan ser medidas para analizarlas y realizar los ajustes necesarios para evitar la falta o el exceso de alguna de estas que pueda generar enfermedades y daños o que los resultados en cuanto a la calidad del producto no sean los esperados

En la hidroponía se tienen en cuenta la medición y los ajustes de las siguientes variables:

- pH.
- Conductividad Eléctrica.
- Frecuencia de Riego.
- Humedad.
- Temperatura.

- Peso.

Con el anterior antecedente se puede comprobar que las variables de estudio si están presentes en los cultivos hidropónicos NFT.

2.1.3 Control y balance de los nutrientes en la solución nutritiva

Para el proceso de realizar una solución nutritiva que tenga todos los nutrientes necesarios para el crecimiento de la mayoría de plantas es necesario tener presente en la solución una concentración de elementos mayores (macro nutrientes) y menores (micro nutrientes) los cuales son:

Elementos mayores: Potasio, Fósforo, Nitrógeno, Carbono, Oxígeno, Azufre, Calcio, Magnesio e Hidrogeno.

Elementos menores: Boro, Cloro, Hierro, Zinc, Manganeso, Cobalto y Cobre.

Los elementos anteriormente mencionados son vitales en la nutrición de las plantas, la falta de uno solo reduciría su desarrollo, ya que la acción de cada uno es específica y ningún elemento puede ser sustituido por otro. Por último todos los anteriores le sirven a la planta para la construcción de la masa de tejido vegetal (Hernández & Diaz, 2003).

El anterior antecedente aporta al proyecto ya que radica la importancia de cada uno de los elementos que estarán presentes en la solución nutritiva y a su vez estos influyen significativamente en el crecimiento de la planta.

2.1.4 Factores que influyen en el crecimiento del cultivo

Pese a que existen muchos factores que tienen influencia en el crecimiento de una planta bajo técnicas de cultivos hidropónicos, las que el autor de este antecedente lista son la conductividad eléctrica, el pH de la solución, la temperatura ambiente y la iluminación (Hernández & Diaz, 2003).

De las que para el presente trabajo de grado y de acuerdo con el antecedente tenemos la similitud de monitorear y controlar conductividad eléctrica, el pH de la solución y la temperatura ambiente.

Este antecedente aporta al proyecto en la medida que sugiere y se debe mantener y manejar las variables anteriormente mencionadas de acuerdo a cada tipo de planta ya que los rangos para cada una de ellas varían de acuerdo a las necesidades de la planta.

2.1.4.1 Conductividad eléctrica

Cada cultivo tiene una determinada tolerancia a elementos tóxicos y a la cantidad total de sales (cuantificada por la conductividad eléctrica), que puede conservar en su entorno radicular sin una disminución significativa de rendimientos. Estos niveles se deben respetar y no se los debe sobrepasar y esto se obtiene mediante un adecuado control del volumen de agua de buena calidad, de esta forma la medida de conductividad eléctrica permitirá monitorear la cantidad de agua que necesita el cultivo (Hernández & Diaz, 2003). Además, existe una relación directa entre la concentración de nutrientes y la conductividad eléctrica de la solución nutritiva (Lara Herrera, 1999).

Los autores recomiendan evitar los excesos que pueden provocar la dificultad de absorber nutrientes y agua y escaseces puede provocar deficiencias nutrimentales.

2.1.4.2 pH de la solución

El pH de la solución nutritiva es una medida del grado de acidez o alcalinidad de la solución. Las plantas pueden absorber los elementos en el rango de pH entre 5.8 y 7.

Cuando se adiciona los elementos mayores, se debe tener una concentración apropiada de elementos menores en la solución con el fin de mantener niveles de pH ideales.

La importancia del pH en la solución nutritiva posee una doble función. Una de ellas es que el pH influye en el equilibrio de oxido-reducción y la disolución de algunos compuestos y las formas iónicas de algunos elementos. En una solución aireada con pH de 8, el hierro férrico,

Fe^{3+} , se precipita como Hidróxido férrico $Fe(OH)_3$ extremadamente insoluble con la consecuencia de que el hierro puede no estar disponible para la absorción por parte de las plantas. La otra función del pH en la solución nutritiva se relaciona con el efecto de los iones de Hidroxilo e Hidrógeno presentes en las raíces de las plantas especialmente sobre el ion transportador de las membranas de las células corticales de las raíces en lo que hace referencia a la fisiología de los procesos de la absorción activa del ion (Hernández & Diaz, 2003).

De lo anterior se pudo rescatar que en la solución nutritiva se debe mantener el pH dentro del rango ya mencionado para que la planta pueda absorber y aprovechar los nutrientes.

2.1.4.3 Temperatura

Pese a que la temperatura ambiental ideal para un cultivo hidropónico depende de diferentes factores, en el presente antecedente los autores (Hernández & Diaz, 2003) parten del hecho en que el cultivo hidropónico trabajado es de plantas hortalizas, en donde describe que puede suceder si se somete al cultivo a temperaturas bajas y altas.

Cuando hay temperaturas bajas se dificulta la absorción de los nutrientes, con posibilidad de llegar al marchitamiento y ala clorosis (Las plantas no realizan más el proceso de fotosíntesis). Con la presencia de temperaturas altas de igual manera perjudica el desarrollo de las plantas. En zonas tropicales es muy complicado mantener baja la temperatura mediante técnicas de riego del suelo, acolchado, sombreado, humidificación del aire y refrigeración. Uno de los principales efectos perjudiciales del calor es la cristalización de la solución nutritiva, ya que algunas sales se convierten en cristales a ciertas temperaturas, lo cual contribuye al empobrecimiento en la capacidad de absorción del oxígeno de la planta.

2.1.5 Tubería de alimentación del cultivo

En este documento realizado por (Palacios, 2014), definen las tuberías de alimentación como aquellas donde se originan los laterales. Los laterales son los tubos principales, porque son los que soportan la planta. En estas tuberías se realiza la conducción con salidas múltiples distribuidas uniformemente por las que se descarga el caudal, además para realizar el cálculo de

la bomba que será la encargada de satisfacer las necesidades de cada cultivo se agrega un caudal entre el 25 y 50% para sobredimensionar la bomba y obtener el retorno al tanque.

$$Q = nq \quad (1)$$

Donde:

Q = Caudal del ramal

n = Número de salidas

q = Caudal de cada lateral

El aporte que realizo el antecedente al presente proyecto de grado es significativo gracias a que permitió conocer los requerimientos de la bomba de alimentación y la pendiente de las hileras o canales, los cuales a su vez permitieron que la planta pueda absorber los nutrientes de la solución nutritiva.

2.1.5.1 Cálculo de la bomba

En el presente trabajo de grado se tiene cuatro canales por cabina y se quiere tener un caudal por canal de 1.5 litros/minuto entonces:

$$\text{Caudal (litros/minuto)} = (4)(1.5L/min)(1.5) = 9 L/min$$

Con los resultados obtenidos anteriormente se sabe que por cabina va a requerir una bomba que tenga un caudal de mínimo 9 litros/minuto.

2.1.5.2 Pendiente de cada canal

Los autores (Palacios, 2014) recomiendan una pendiente entre el 3 al 5% del largo de cada canal, con se decidió escoger el 3% ya que con esta pendiente la velocidad no se incrementa tanto.

$$(160cm)(3\%) = 4.8cm$$

Este es el desnivel que se tuvo en cuenta para que el agua circule con los parámetros requeridos.

Finalmente, este antecedente indica cuales son las tuberías principales donde se soporta la planta, el caudal que debe tener el canal y la bomba para poder alimentar las plantas.

2.1.6 Diseño e implementación de un prototipo para el control y automatización de un sistema hidropónico en un invernadero

En esta propuesta de Elvith Eddy Conde Pérez “Diseño de un prototipo para el control y automatización de un sistema hidropónico en un invernadero” (Conde, 2017), sus principales objetivos es:

1. los componentes necesarios para realizar el control y monitoreo de la conductividad eléctrica, pH, oxígeno disuelto y temperatura en un cultivo hidropónico.
2. Diseñar y programar un sistema de monitoreo y control a los parámetros de conductividad eléctrica, pH, oxígeno disuelto y temperatura.
3. Implementar un prototipo funcional que permita realizar el monitoreo y control en un cultivo hidropónico.

Este antecedente indica un modelo para poder realizar tanto el objetivo general y los objetivos específicos de manera congruente.

2.1.7 Implementación del método instruccional ADDIE, para recopilación y análisis de información

En este documento de (Zambrano Cortés & Behrentz Pfalz, 2014) “Automatización de un cultivo hidropónico para el control de variables”, utilizaron el método instruccional ADDIE, el cual es un marco de trabajo utilizado comúnmente en el diseño instruccional para guiar el desarrollo de programas o proyectos. Se trata de un proceso sistemático que consta de cinco fases:

1. Análisis.
2. Diseño.

3. Desarrollo.
4. Implementación.
5. Evaluación.

Estas cinco etapas proporcionan un enfoque estructurado para crear, impartir y evaluar recursos, programas y proyectos que cumplan con estándares de enseñanza específicos.

Este antecedente indica un modelo para poder realizar la recopilación y análisis de información para el proyecto desarrollado en este documento.

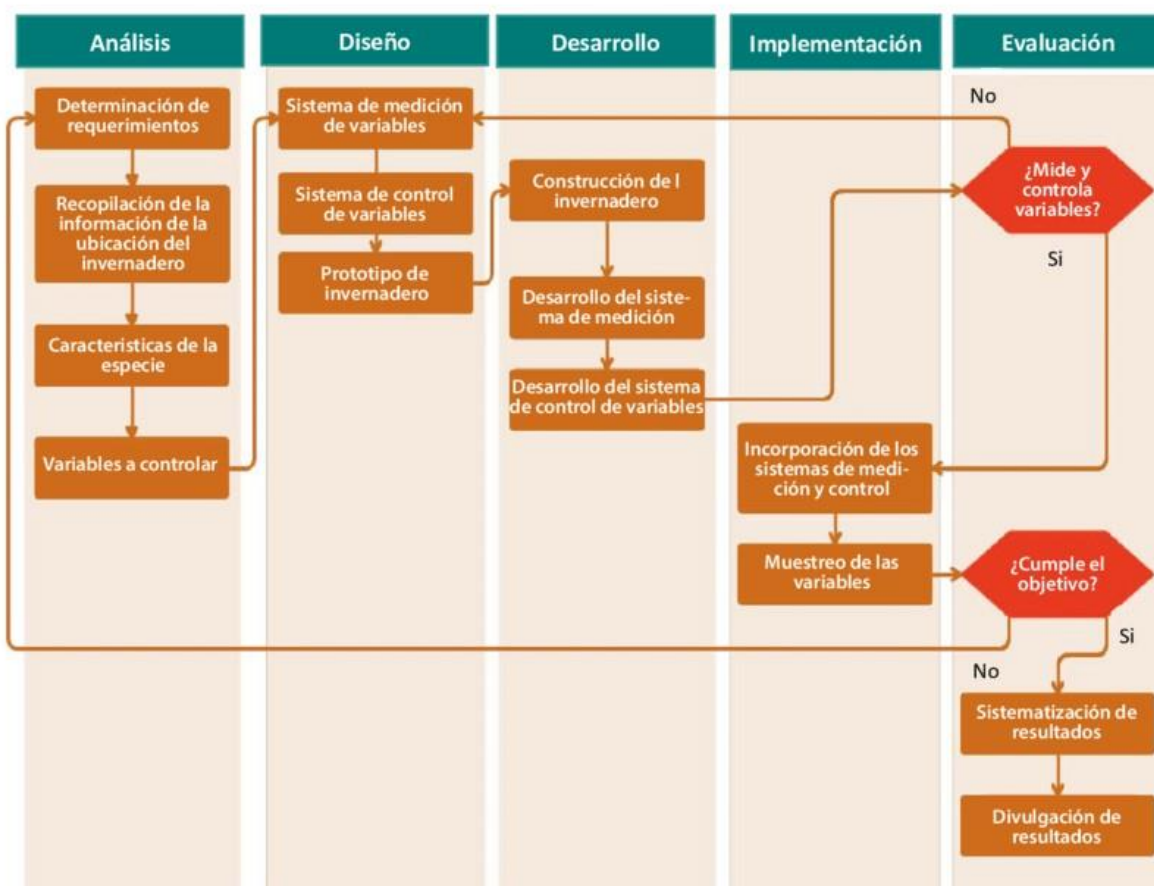


Figura 1. Método ADDIE ajustado a la automatización de un invernadero hidropónico

Fuente (Zambrano Cortés & Behrentz Pfalz, 2014)

2.1.8 Sistema de un prototipo de un sistema de producción tipo aeropónico

Este documento muestra un prototipo de un sistema aeropónico, en este proyecto implementaron un prototipo de diseño de columnas de un sistema producción agroindustrial tipo aeropónico, en el cual no existe ningún tipo de sustrato, sino que las raíces de la planta crecen al vacío en un tubo de PVC y en completa oscuridad. Y estas son alimentadas por medio de una solución nutritiva que se administra a través de aspersores (Hernández & Piñeros, 2013).

Este antecedente es de vital importancia ya que, en el caso del proyecto a desarrollar, el sistema en un diseño hidropónico en el cual tampoco existe el sustrato, sino que las raíces estarán en constante contacto con el agua.

2.1.9 Tecnologías relacionadas con invernaderos para flores

En este boletín trata de explicar que Colombia se ha caracterizado por ser un país exportador de flores y frutas, en donde la mayoría son producidos en invernaderos. Aquí se genera un microclima ideal para el desarrollo y crecimiento de los cultivos, con el propósito de aumentar su rendimiento y mejorar la calidad del producto final.

Se cuenta con sistemas que permiten el control de variables ambientales como temperatura, humedad, luminosidad y nivel de CO₂. A nivel global existe una extensión estimada de 949000 hectáreas de cultivo bajo invernadero. La mayor porción está en Japón con 700000 ha, lo cual corresponde al 73% del área global. En Europa se encuentra 170000 ha, en donde España e Italia son los países con mayor fracción cubierta, con el 31% y 17% respectivamente. En Estados Unidos existe un área de 5000 ha (0.52%) y en Latinoamérica las mayores áreas se encuentran en México y Colombia con 15000 ha (1.58%) y 7000 ha (0.73%) respectivamente (Cuellar et al., 2014).

Este antecedente está relacionado con el proyecto porque, se desea ver cuál es la variable más influyente en el sistema de cultivo hidropónico para lechuga, para que por orden de importancia en las variables se pueda realizar un control y aumentar la calidad del producto.

2.2 Supuestos Teóricos

2.2.1 *¿Qué es cultivo NFT?*

La NFT es una técnica de cultivo en agua en la cual las plantas crecen con su sistema radicular dentro de una lámina de plástico, por la cual circula constantemente la solución de nutrientes.

El pionero de esta técnica fue Allen Cooper, en el Glasshouse Crops Research Institute, en Littlehampton (Inglaterra), en 1965. El término Nutrient Film Technique fue utilizado en dicho instituto para remarcar que la profundidad del flujo del líquido que pasaba a través de las raíces de las plantas debía ser muy pequeño (laminar), para que de esta forma siempre pudieran disponer del oxígeno necesario (Resh, 1989).

2.2.2 *¿Qué es hidroponía?*

La hidroponía se ha desarrollado a partir de los descubrimientos hechos en las experiencias llevadas a cabo para determinar que sustancias hacen crecer a las plantas y la composición de ellas. Este trabajo sobre los constituyentes de las plantas comenzó tiempo atrás, hacia el año 1600; no obstante, las plantas fueron cultivadas sin tierra mucho antes de esto. Los jardines colgantes de Babilonia; los jardines flotantes de los Aztecas, en México, y los de China imperial son ejemplos de cultivos hidropónicos, existiendo también jeroglíficos egipcios fechados cientos de años antes de Cristo que describen el cultivo de plantas en el agua.

Antes de la época de Aristóteles, Theophrato (327 – 287 a. de C.) llevo a cabo varios ensayos en nutrición vegetal y los estudios botánicos de Dioscórides datan del siglo I a. de C.

2.2.3 *¿Qué es correlación?*

La correlación se define como una medida estadística que indica la magnitud y dirección de una relación lineal entre dos variables. La correlación se utiliza para describir como una variable cambia en relación respecto a otra y se cuantifica mediante el coeficiente de correlación, denotado generalmente como r (Walpole et al., 2012).

En el libro de Walpole y Myers “Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias” nos dice que la mejor forma de correlacionar variables es el coeficiente de correlación de rangos de Spearman y se denota con r_s y se puede calcular de la siguiente manera:

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum di^2}{n(n^2 - 1)}$$

El valor de r_s por lo general se acercará al valor que se obtiene al calcular r con base en mediciones numéricas y se interpreta de forma muy similar. Como antes, el valor de r_s irá de -1 a +1. Un valor de +1 o -1 indica una asociación perfecta entre X y Y; el signo más ocurre para rangos idénticos y el signo menos para rangos inversos. Cuando r_s se acerca a cero, se concluye que las variables no están correlacionadas (Walpole et al., 2012).

Podemos emplear el coeficiente de correlación por rangos de Spearman como un estadístico de prueba para verificar la independencia entre X e Y (Walpole et al., 2012).

Procedimiento. Calculamos r_s y llevamos a cabo el procedimiento para la verificación de hipótesis que lo acompaña así:

1. Dados n pares de medidas de X e Y, obtener el rango de los valores de X desde 1 hasta n (asignando el rango 1 al valor más pequeño de X) y el rango de los valores de Y desde 1 hasta n (asignando el rango 1 al valor más pequeño de Y)
2. Para cada par de observaciones, calcular $di = (\text{rango de } Xi) - (\text{rango de } Yi)$
3. Elevar al cuadrado cada d_i y calcular $\sum di^2$.
4. Calcular en base a la fórmula de r_s

H_0 : Las variables X y Y son independientes.

H_1 : La variable X tiende a aumentar cuando aumenta Y.

Rangos de Correlación	
Coeficiente de correlación de Spearman (r_s)	Tipo de correlación
0.0 – 0.35	Correlación débil
0.36 – 0.55	Correlación moderada
0.56 – 0.75	Correlación fuerte
0.76 – 1.0	Correlación perfecta

Tabla 1. Rangos de Correlación de Spearman

Fuente(Walpole et al., 2012)

2.2.4 Tipos de aspersión

2.2.4.1 El goteo

También se le denomina riego gota a gota. Esta clase de riego es utilizada en zonas el agua es escasa y ayuda a optimizar este recurso de una forma considerable. La idea de funcionamiento es distribuir el agua a través de goteros, que humedecerán la zona de las raíces de cada una de las plantas (Resh, 1989).

2.2.4.2 Exudación

En esta forma de riego se utiliza una manguera porosa de la cual sale continuamente una pequeña cantidad de agua, la cual se reparte uniformemente y que es capaz también de esponjar la tierra. El agua sale por toda la longitud de la manguera y esta se suele enterrar entre unos 10 centímetros del suelo (Resh, 1989).

2.2.5 Frecuencia de Riego

La frecuencia y la duración de los ciclos de riego son importantes. La frecuencia de los ciclos tiene que ser suficiente para impedir cualquier déficit de agua en las plantas entre los ciclos, pero estos tienen que ser lo suficientemente largos para proporcionar un adecuado drenaje del medio, de forma que haya una apropiada oxigenación de las raíces de la planta. Sin embargo, la podredumbre de las raíces provocada por enfermedades, por plagas o falta de oxígeno puede causar también marchitamientos, por lo que la salud de las raíces se debe examinar siempre que se presente estos marchitamientos. Las raíces sanas aparecerán blancas, fuertes y fibrosas. No se debe observar ningún ennegrecimiento de las partes o puntas de las raíces.

La duración de cualquier ciclo de riego dado tiene que ser suficiente para proporcionar un adecuado filtrado del medio. Con algunos medios más finos, como la espuma o la lana de roca, se necesita un 20 a 30 por 100 más de agua para que se puedan evacuar los nutrientes excesivos a través del substrato. Si no se hace esto, se formarán niveles de sal, causando un retraso en el crecimiento o incluso una toxicidad en las plantas (Resh, 1989).

2.2.6 Sensores y Actuadores

2.2.6.1 Sensor de Temperatura y humedad (DHT11)

El DHT11 es un sensor digital de temperatura ambiente y humedad relativa. Utiliza un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire de su alrededor, e indica los datos por medio de una señal digital en el pin de datos.

El sensor DHT11 se caracteriza por tener la señal digital calibrada, asegurando alta estabilidad y fiabilidad a lo largo del tiempo. El sensor integra sensores resistivos para temperatura (termistor) y otro para humedad. Puede medir la humedad en un rango desde 20% hasta 90% y temperatura en el rango de 0°C a 50°C.

Especificaciones Técnicas:

- Voltaje de Operación: 3V - 5V DC
- Rango de medición de temperatura: 0 a 50 °C
- Precisión de medición de temperatura: ± 2.0 °C
- Resolución Temperatura: 0.1°C
- Rango de medición de humedad: 20% a 90% RH.
- Precisión de medición de humedad: 4% RH.
- Resolución Humedad: 1% RH
- Tiempo de censado: 2 seg.
- Interface: Digital Serial

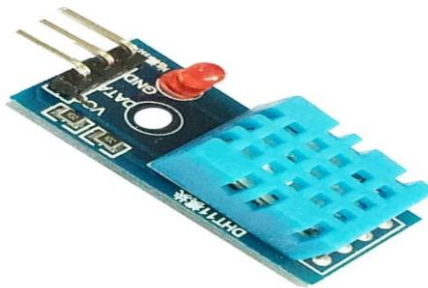


Figura 2. Sensor de temperatura DHT11

Fuente (UNIT ELECTRONICS, 2016)

2.2.6.2 Sensor de Temperatura en Líquidos DS18B20

El sensor DS18B20 permite medir temperaturas de hasta 125°C de forma fácil y además está sellado en un envoltorio estanco que permite sumergirlo en un líquido o protegerlo de la intemperie. Dado que es un sensor digital, la señal leída no se degrada debido a la distancia del cableado. Puede funcionar en modo 1-Wire con una precisión de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ con una resolución de 12bits. También puede utilizarse varios sensores sobre el mismo pin ya que internamente viene programado con un ID único de 64 bits para diferenciarlos. El rango de funcionamiento es de 3 a 5.5V por lo que se puede utilizar en prácticamente cualquier sistema que use microcontroladores.

Especificaciones Técnicas:

- Rango de temperatura: -55 a 125°C
- Resolución: de 9 a 12 bits
- Interfaz 1-Wire
- Identificador interno único de 64 bits
- Precisión: $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$
- Tiempo de captura inferior a 750ms
- Alimentación de 3.0 V a 5.5 V



Figura 3. Sensor de Temperatura en Líquidos DS18B20

Fuente (UNIT ELECTRONICS, 2016)

2.2.6.3 Sensor de pH (PH Sensor E-201-C)

El PH Sensor E-201-C posee un preamplificador el cual es un dispositivo de acondicionamiento de la señal. El cual toma la señal de alta impedancia del electrodo de pH y la transforma en una señal de baja impedancia que el analizador o el transmisor pueden aceptar. El preamplificador también refuerza y estabiliza la señal, haciéndola menos susceptible al ruido eléctrico (e-Gizmo Mechatronix Central, 2017).

Los electrodos de pH se utilizan para medir la intensidad ácida de las soluciones líquidas. Una sonda de pH mide la acidez en una escala de 0 a 14, siendo 0 la más ácida y 14 la más básica (e-Gizmo Mechatronix Central, 2017).

Sensor Detector De Ph + Sonda Electrodo + Liquido. El pH indica la concentración de iones hidronio presentes en determinadas sustancias. Este kit permite medir de forma sencilla el pH de un líquido gracias a su placa controladora que ofrece un valor analógico proporcional a la medición. El controlador tiene un potenciómetro multivuelta que permite la correcta calibración de la sonda.

Especificaciones técnicas:

- Alimentación: 5.00V
- Rango de medición: 0-14 pH
- Temperatura de medición: 0-80°C
- Precisión: $\pm 0.1\text{pH}$ (25°C)
- Tiempo de respuesta: = 5s
- Sonda de pH con conector BNC
- Controlador pH 2.0 (3 pines)
- Ajuste de ganancia
- Indicador LED
- El electrodo PH tiene un solo cilindro que permite la conexión directa a la terminal de entrada de un medidor de PH, controlador o cualquier dispositivo PH que tenga un terminal de entrada BNC.
- La sonda de electrodo PH es precisa y confiable que puede proporcionar lecturas casi instantáneas.

- Rango de PH: 0-14 PH
- Rango de temperatura: 0-60°C
- Punto cero: $7 \pm 0.5\text{PH}$
- Error de álcali: 0.2PH
- Porcentaje de pendiente teórica: 98.5%
- Resistencia interna: 250M
- Tiempo de respuesta: <1min
- Temperatura de funcionamiento: 0-60



Figura 4. Sensor de pH

Fuente (UNIT ELECTRONICS, 2016)

Ph Value	milivoltios
0	3,786
1	3,607
2	3,428
3	3,250
4	3,071
5	2,892
6	2,714
7	2,535
8	2,379
9	2,222
10	2,066
11	1,910
12	1,753
13	1,597
14	1,441

Figura 5. Escala de pH en milivoltios

Fuente (e-Gizmo Mechatronix Central, 2017)

2.2.6.4 Sensor de conductividad eléctrica (SEN0244)

El sensor conductividad mide la capacidad de una solución de conducir una corriente eléctrica entre dos electrodos. En la solución, la corriente fluye por el transporte del ion. Por lo tanto, una gran concentración de iones en la solución dará lugar a valores más altos de conductividad.

El sensor de conductividad está midiendo realmente la conductancia, definida como el recíproco de la resistencia. Cuando la resistencia se mide en ohm, la conductancia se mide utilizando la unidad S, Siemens puesto que los Siemens es una unidad muy grande, las muestras acuosas son medidas comúnmente en micro siemens, o μS .

Especificaciones técnicas:

- Tablero transmisor de señal
- Voltaje de entrada: 3.3 ~ 5.5V.
- Voltaje de salida: 0 ~ 2.3V.

- Corriente de trabajo: 3 ~ 6mA.
- Rango de medición de TDS: 0 ~ 1000ppm.
- Precisión de medición de TDS: $\pm 10\%$ FS (25 °C).
- Tamaño del módulo: 42 * 32 mm.
- Sonda TDS
- Número de agujas: 2.
- Longitud total: 83 cm.
- Interfaz de conexión: XH2.54-2P.
- Color negro.
- Otro: sonda impermeable.

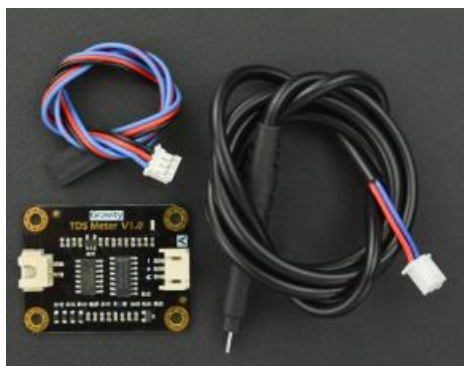


Figura 6. Sensor conductividad eléctrica (SEN 0244)

Fuente (UNIT ELECTRONICS, 2016)

2.2.6.5 Módulo ADC ADS1115

El ADS1115 es un convertidor analógico digital ADC de 16-bit. Se utilizan conversores de señal analógica digital (ADC) que se encargan de acondicionar la señal analógica y entregar un dato digital que puede ser procesado por el microcontrolador. El chip ADS1115 es un ADC basado en un conversor delta sigma de 16 bits de resolución, puede leer 4 señales individuales o 2 diferenciales. Los datos digitales son leídos mediante bus I2C y puede alcanzar hasta 860 muestras por segundo.

Especificaciones técnicas:

- Voltaje de alimentación: 2.0 – 5.5 VDC

- Corriente de alimentación: 200uA
- Interfaz de comunicación: I2C

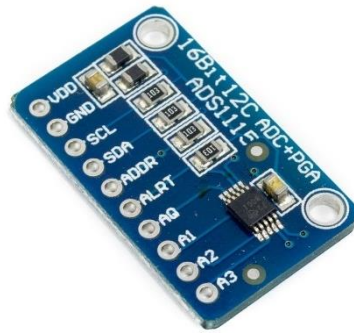


Figura 7. Modulo ADS1115

Fuente(UNIT ELECTRONICS, 2016)

2.2.6.6 Modulo Relé

Es un dispositivo electromagnético que funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de una bobina y un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes.

Si activamos el relé, poniendo a 5 Volts el pin de control dejará pasar la corriente (se cierra el circuito interruptor), mientras que si la tensión es 0 Volts se interrumpirá la corriente. Existen relés para 12 Volts, 24V, 110V, 220V.

Especificaciones técnicas:

- Se conectan directamente a un microcontrolador u otro circuito integrado.
- Este tipo de modulo se activa con una señal de 0VDC, es decir, 0 lógico.
- Posee LED indicador de accionamiento.
- El módulo cuenta con tres pines: Positivo (VCC), Señal, Negativo (GND).
- Soporte de corriente en contactos del relé: 10A 250V.
- Tamaño compacto.

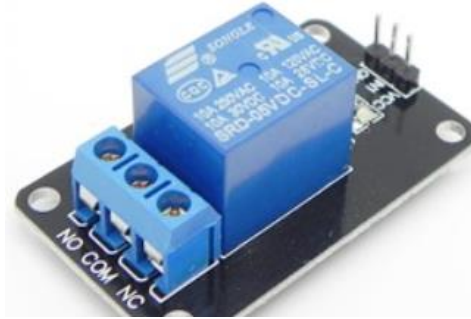


Figura 8. Modulo Relé

Fuente (UNIT ELECTRONICS, 2016)

2.2.6.7 Galga Extensiométrica

Una galga extensiométrica mide el peso de un cuerpo por medio de la fuerza que este ejerce sobre ella además es un sensor que está basado en el efecto piezorresistivo. El parámetro variable y sujeto a medida es la resistencia de dicha galga. Esta variación de resistencia depende de la deformación que sufre la galga. Se parte de la hipótesis inicial de que el sensor experimenta las mismas deformaciones que la superficie sobre la cual está pegada. El sensor está constituido por una base muy delgada no conductora, sobre la cual va adherido un hilo metálico muy fino, de forma que la mayor parte de su longitud está distribuida paralelamente a una dirección determinada.

Un esfuerzo de deformación de la galga (siempre dentro del rango elástico) producirá una variación de la resistencia eléctrica.

Para tratar la variación de voltaje se utilizará un puente de Wheatstone. Éste está formado por cuatro resistencias unidas en un círculo cerrado, siendo una de ellas la resistencia bajo medida. De esta manera podremos medir resistencias desconocidas mediante el equilibrio de los brazos del puente.

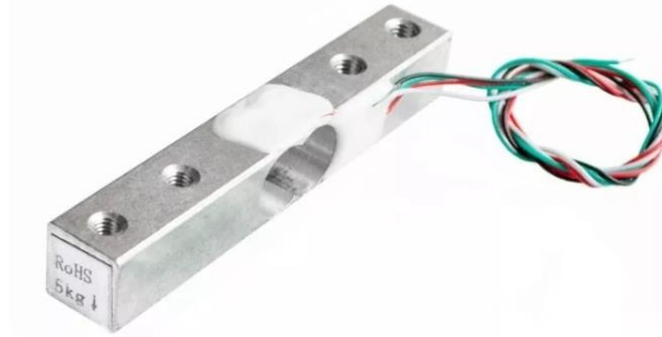


Figura 9. Galga extensiométrica

Fuente (UNIT ELECTRONICS, 2016)

2.2.6.8 Módulo amplificador HX711 transmisor de celda de carga

El módulo HX711 es un transmisor entre celdas de carga y un microcontrolador como Arduino/PIC/ESP, permitiendo leer el peso en la celda de manera sencilla. Es compatible con las celdas de carga de 1kg, 5kg, 10kg, 20kg y 50kg. Utilizando en sistemas de medición automatizada, procesos industriales, industria médica.

Las celdas de carga están formadas por galgas extensiométricas en configuración de puente de Wheastone. Para conectar una celda de carga al módulo HX711 son necesarios 4 cables, los colores utilizados habitualmente son rojo, negro, blanco y verde. Cada color corresponde a una señal como se muestra a continuación:

- Rojo: Voltaje de excitación +, E+, VCC
- Negro: Voltaje de excitación -, E-, GND
- Verde: Amplificador -, Señal-, A-
- Blanco: Amplificador +, Señal+, A+

Especificaciones técnicas:

- Voltaje de operación: 3.0 – 5.0 VDC
- Consumo de corriente: menor a 10mA

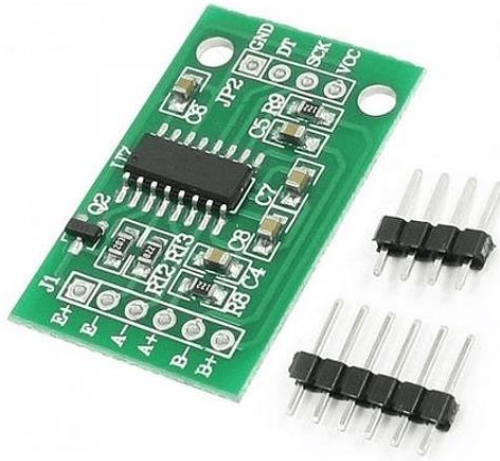


Figura 10. Módulo HX711

Fuente (UNIT ELECTRONICS, 2016)

2.2.6.9 Módulo DS1307 Reloj de tiempo real con I2C

Es un circuito integrado capaz de almacenar y llevar la cuenta de la fecha y hora, además disponemos de unos cuantos bytes de datos de usuario en su memoria RAM no volátil.

Especificaciones técnicas:

- Voltaje de alimentación: 3.3 a 5V.
- Corriente mínima: 500nA.
- Para batería: CR2032 de litio.
- Interfaz de conexión: Serie I2C.

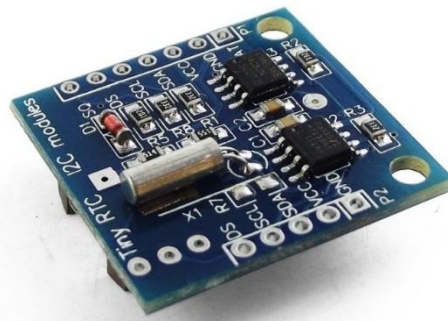


Figura 11. Modulo DS1307

Fuente (UNIT ELECTRONICS, 2016)

2.2.6.10 Módulo ESP32

El ESP32 es un microcontrolador de bajo costo y bajo consumo de energía que se utiliza ampliamente en proyectos de desarrollo de hardware y en la creación de dispositivos conectados a Internet, también conocidos como dispositivos IoT (Internet of Things).

El ESP32 es muy popular debido a su potencia y versatilidad. Tiene un procesador de doble núcleo, lo que significa que puede realizar múltiples tareas simultáneamente. Además, tiene una amplia gama de interfaces y periféricos integrados, como WiFi, Bluetooth, GPIO (Entrada/Salida de propósito general), I2C (Inter-Integrated Circuit), SPI (Serial Peripheral Interface), UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter), entre otros (Espressif, 2022).

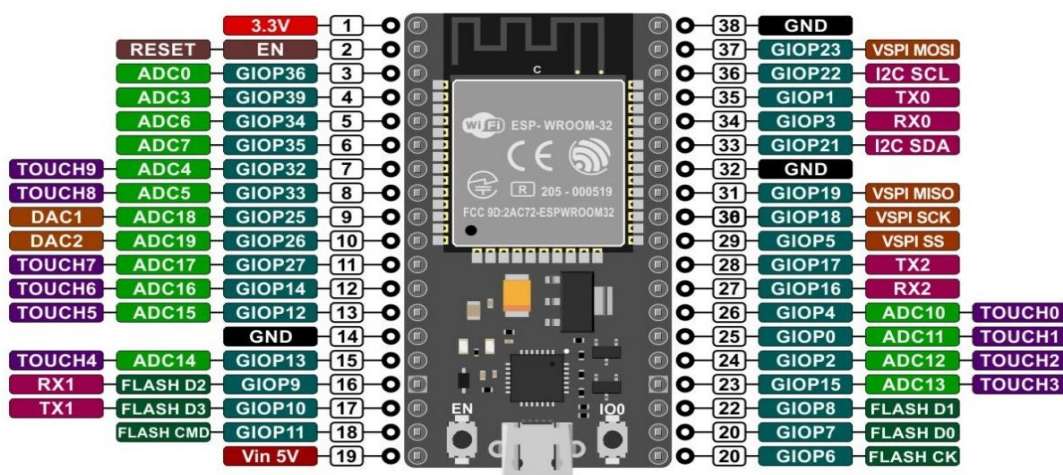


Figura 12. ESP32 con su diagrama de pines

Fuente (UNIT ELECTRONICS, 2016)

2.2.6.11 Arduino UNO R3

Arduino UNO R3 es una placa de desarrollo basada en el microcontrolador ATmega328P. Es una de las más conocidas y usadas de la extensa familia de placas Arduino, siendo una mejora de un diseño anterior que mantiene el 100% de compatibilidad y muestra algunos cambios significativos en su diseño.

Especificaciones Técnicas:

- Voltaje de funcionamiento: 5V. Rango de entrada recomendado entre 7 – 12 V. Límite máximo entre 6 – 20V
- Pines de E/S digitales: 14 (de los cuales 6 proporcionan salida PWM)
- Pines de entrada analógica: 6 pines
- Corriente continua por pin: 20mA
- Corriente CC para 3.3V por pin: 50mA
- Memoria flash: 32 KB
- SRAM: 2 KB
- EEPROM: 1 KB



Figura 13. Arduino UNO R3

Fuente (UNIT ELECTRONICS, 2016)

2.2.6.12 Bomba de Agua AC

Este tipo de bomba son las más comunes, las que todo el mundo suele tener en su finca o las que normalmente se suelen usar para pozos de sondeo, trasbase de agua o riego. Las bombas de corriente alterna pueden ser monofásicas o trifásicas depende de donde se vayan a poner y para que se vayan a usar.

Las bombas para corriente alterna tienen una ventaja sobre las bombas solares y es que debido a que necesitan menos controladores y circuitos el comprarlas viene saliendo más barato.



Figura 14. Motobomba de Agua

Fuente (UNIT ELECTRONICS, 2016)

2.3 Definición de Conceptos

2.3.1 Definición nominal de conceptos

- pH: Cuantifica el grado de acidez o de alcalinidad de una sustancia y este se indica en una escala que empieza desde el número 1, lo más ácido, hasta el número 14, lo más básico.
- Conductividad Eléctrica: Es la capacidad de alguna sustancia o material que permite el paso de corriente eléctrica.
- Frecuencia de Riego: Es cuantas veces al día se le va a suministrar la solución a el cultivo, entonces esta variable se va a controlar desde la programación.
- Humedad: Es la medida que indica la cantidad de vapor en el aire.
- Temperatura: Grado de nivel térmico de un cuerpo o de la atmósfera.
- Peso: Fuerza con que la tierra atrae a un cuerpo, por acción de la gravedad.

- Coeficiente de correlación de Spearman:

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum di^2}{n(n^2 - 1)}$$

2.3.2 Definición operativa de conceptos

- Sensor de pH (pH Sensor E – 201 – C): El sensor de pH obtiene los datos de forma analógica en milivoltios posteriormente se debe comparar los valores en la figura 6 de la sección 2.2.6.3 para obtener el pH.
- Sensor de conductividad Eléctrica (SEN0244): Este sensor obtiene los datos de forma analógica y en su salida retorna los valores en ppm.
- Frecuencia de Riego: Es cuentas veces al día se le va a suministrar la solución a el cultivo, entonces esta variable se va a controlar desde la programación.
- Sensor de humedad y temperatura (DHT11): Es un sensor digital se caracteriza por tener la señal digital calibrada, asegurando alta estabilidad y fiabilidad a lo largo del tiempo. El sensor integra sensores resistivos para temperatura (termistor) y otro para humedad. Puede medir la humedad en un rango desde 20% hasta 90% y temperatura en el rango de 0°C a 50°C (UNIT ELECTRONICS, 2016).
- Sensor de temperatura en líquidos (DS18B20): Un sensor de temperatura es un sistema que detecta variaciones en la temperatura del agua y las transforma en una señal eléctrica que llega hasta un sistema electrónico.
- Galga extensiométrica: Captura el peso por medio de una deformación que es provocada por la fuerza que ejerce un agente externo la cual produce una variación de resistencia eléctrica, para tratar la variación de voltaje se utilizará un puente de Wheatstone.
- Coeficiente de correlación de Spearman:

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum di^2}{n(n^2 - 1)}$$

La correlación se define como una medida estadística que indica la magnitud y dirección de una relación lineal entre dos variables, por medio de esta fórmula se realizará la correlación que describen el comportamiento del cultivo.

2.4 Hipótesis

2.4.1 *Hipótesis de investigación*

Las variables que influyen en mayor medida en el proceso de crecimiento de un cultivo hidropónico de lechuga serán nombradas en el siguiente orden respecto a su nivel de importancia mantener las variables en los siguientes rangos asegura un buen desarrollo del cultivo: la conductividad eléctrica con una correlación perfecta y $r_s[0.76 - 1.0]$, el pH con una correlación fuerte y $r_s[0.56 - 0.75]$, la temperatura ambiente con una correlación moderada con $r_s[0.36 - 0.55]$ y la humedad relativa con una correlación débil con $r_s[0.0 - 0.35]$.

2.4.2 *Hipótesis nula*

Las variables que no influyen en mayor medida en el proceso de crecimiento de un cultivo hidropónico de lechuga serán nombradas en el siguiente orden respecto a su nivel de importancia mantener las variables en los siguientes rangos asegura un buen desarrollo del cultivo: la conductividad eléctrica con una correlación perfecta y $r_s[0.76 - 1.0]$, el pH con una correlación fuerte y $r_s[0.56 - 0.75]$, la temperatura ambiente con una correlación moderada con $r_s[0.36 - 0.55]$ y la humedad relativa con una correlación débil con $r_s[0.0 - 0.35]$.

2.4.3 *Hipótesis alternativa*

Las variables que influyen en mayor medida en el proceso de crecimiento de un cultivo hidropónico de lechuga serán nombradas en el siguiente orden respecto a su nivel de importancia mantener las variables en los siguientes rangos asegura un buen desarrollo del cultivo: el pH con una correlación perfecta y $r_s[0.76 - 1.0]$, la conductividad eléctrica con una correlación fuerte y

$r_s[0.56 - 0.75]$, la temperatura ambiente y la humedad relativa con una correlación moderada con $r_s[0.36 - 0.55]$.

3. Metodología

3.1 Enfoque

El enfoque de la investigación es cuantitativo, porque las variables escogidas al objeto de investigación se miden numéricamente, por consiguiente, los resultados registrados y enviados por el sistema de instrumentación implementado permitirán determinar una correlación exitosa.

3.2 Paradigma

Desde el punto de vista epistemológico y metodológico el paradigma que orienta la investigación cuantitativa es el neopositivismo, término que fue instituido por el filósofo Moritz Schlick (1882 a 1936).

Esta investigación es neopositivista, dado que se mezcla el paradigma racionalista y empirista, realizando operaciones de deducción e inducción, que pretenden experimentar y encontrar la hipótesis.

3.3 Método

Al ser esta investigación cuantitativa, el método que se utilizó es científico instaurado por el padre del método científico Galileo Galilei (1564 a 1642), ya que su finalidad es encontrar una correlación existente entre las variables que se van a analizar en la investigación.

3.4 Tipo de Investigación

La investigación es de tipo descriptiva y correlacional. Descriptiva por que busca encontrar el valor de adecuado de una o más variables y correlacional porque se va a determinar la relación entre dos o más variables, en las cuales tendremos variables dependientes e independientes.

3.5 Diseño de Investigación

El diseño de esta investigación (**RG X O**), se define como experimento puro ya que se pretende implementar un sistema de correlación entre variables de temperatura, humedad, peso, conductividad eléctrica, frecuencia de riego y pH presentes en un sistema de cultivo hidropónico NFT de lechuga en el cual lo que se va a comparar el cambio de estas variables para asegurar el crecimiento de la planta sea sano.

RG1 X1 O1

RG2 X2 O2

RG3 X3 O3

RG4 X4 O4

RG5 – O5

Donde:

RG1= RG2=RG3=RG4=RG5: Cultivo Hidropónico NFT

X1: Modificación de pH.

X2: Modificación de Conductividad Eléctrica.

X3: Modificación de la Frecuencia de Riego.

X4: Modificación de la Temperatura.

-: Crecimiento normal de la planta.

O1=O2=O3=O4=O5: Registro de información de las variables de estudio.

3.6 Universo

Sistema de instrumentación y sensores para el registro y envío de datos que permitirán realizar una correlación entre las principales variables presentes en un Sistema de Cultivo Hidropónico NFT, estas variables las vamos a perturbar y observar los cambios al final del proceso.

3.7 Muestra

La muestra es la misma que el universo, porque se realizara una correlación de las principales variables presentes en un Sistema de Cultivo Hidropónico NFT.

3.8 Técnicas de Recolección de Información

Observación directa: la información que se necesitó se obtuvo a partir de diferentes sensores los cuales nos ayudan a medir las principales variables que existen en un Sistema de Cultivo Hidropónico NFT, estas variables se observan con su respectiva medida en el monitor serial del software Arduino.

3.8.1 Validez de la Técnica

La técnica de recolección de información es válida, porque el software (Arduino) en donde se llevará a cabo la recolección de datos es una herramienta integrada que permite observación constante del comportamiento y las medidas de la información.

3.8.2 Confiabilidad de la Técnica

Es confiable porque se tienen especificaciones técnicas de los sensores en donde el fabricante asegura que bajo estas especificaciones los sensores funcionan correctamente, entonces se someterá cada sensor a un ambiente controlado y bajo las especificaciones técnicas del fabricante en donde se evidencie el correcto funcionamiento de los sensores.

3.9 Técnicas de Recolección de Datos

Con el sistema de instrumentación de sensores aseguramos una recolección de datos en donde la información recolectada va a ser enviada por el microcontrolador (ESP32), por medio de WIFI a una plataforma de recolección de información ThingSpeak y posteriormente se va a

poder descargar y podrá verse en un EXCEL, lo que permite evidenciar cual variable del cultivo tiene mayor influencia en el sistema de cultivo hidropónico.

4. Resultados

4.1 Construcción de la estructura del cultivo

Para la construcción de la estructura del sistema hidropónico se desarrolló en base al siguiente esquema.

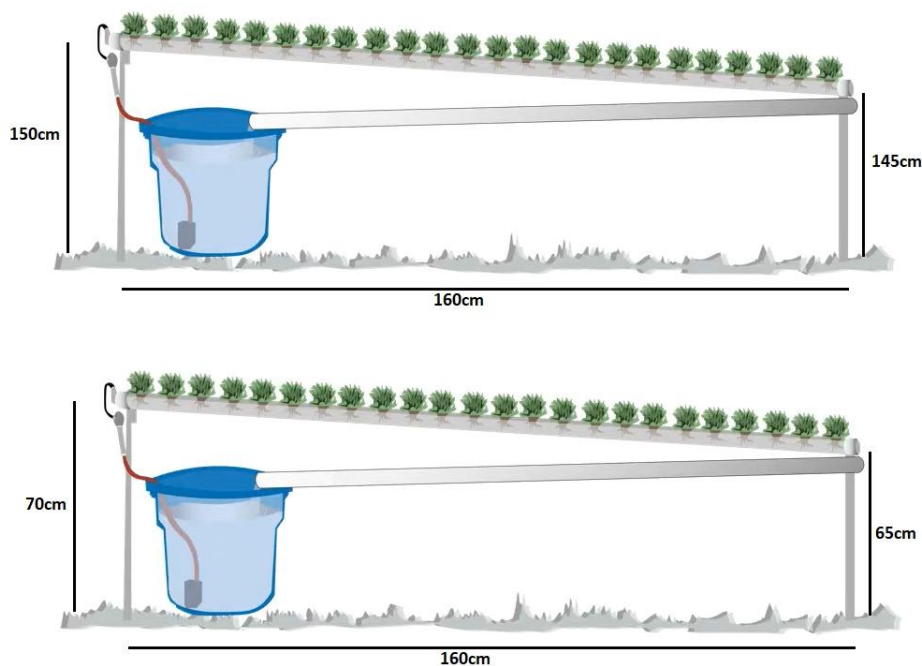


Figura 15. Bosquejo con medidas de la estructura

Se construyeron dos estructuras denominadas “Cabina 1 y Cabina 2” de guadua con dimensiones de 1,60 m de ancho, por 1,50 m de alto. Consecutivamente se instalaron cuatro tubos PVC de tres pulgadas con una pendiente del 3% calculado en el apartado 2.1.5. Lo cual se acomoda de la mejor manera tanto a las condiciones de infraestructura en donde se va a implementar el cultivo y también al espacio que ocupa.



Figura 16. Estructura

4.1.1 Construcción de las cabinas

La construcción de las cabinas se realizó en la terraza de la casa de uno de los expositores, primeramente, se escogió el lugar apropiado para realizar una estructura que constaba de varengas de madera y guadua para los soportes. La impermeabilización de las cabinas se realizó con plástico de invernadero y con tejas de zinc.

Para la construcción de las cabinas se tuvo en cuenta varios requerimientos, como el espacio para que ingresara una persona con facilidad y poder realizar el cableado de alimentación y la instrumentación de los sensores, el espacio para que pudieran alcanzar 4 hileras de cultivo con 6 plantines cada una, también se consideró el espacio del tanque de solución nutritiva, las mangueras alimentación y de retorno.

Tomado los anteriores requerimientos se obtuvieron los siguientes resultados:



Figura 17 Cabina 1 y cabina 2

Luego de realizar la construcción de las cabinas se procedió a armar las estructuras de guadua donde iba a llevar a cabo la siembra del cultivo.



Figura 18. Armado de la estructura para la cabina uno



Figura 19. Armado de la estructura de la cabina dos

4.2 Sistema de instrumentación electrónica para el cultivo de hidroponía

En este apartado se aborda los requerimientos solicitados por los investigadores con el fin de satisfacer las necesidades que requiere el cultivo de lechuga bajo la técnica NFT.

4.2.1 Fuente de alimentación

Para el presente proyecto de grado se requirió una fuente de alimentación externa a la del ESP32 con el fin de asegurar que el voltaje y la corriente requerida por los sensores sean los adecuados para su buen funcionamiento. Esta fuente cuenta con una salida de voltaje de 3.5 Voltios (V) a una corriente máxima de 15 Amperios (A).

4.2.2 Sensor de temperatura ambiente y humedad relativa (DHT11)

Para la implementación del sensor DHT11, se tuvo en cuenta que iba a tomar medidas de temperatura entre rangos de (10°C y 35°C) y deberá soportar una humedad entre (40% y 90%) este sensor satisface las necesidades requeridas ya estas se encuentran en los rangos de trabajo especificados en el apartado 2.2.6.1.

El pin de datos del sensor DHT11 está conectado al ESP32 a través del pin GPIO23 y su alimentación se realiza por medio de una fuente externa con tierra común al ESP32.

4.2.3 Sensor de conductividad eléctrica (Sen 0244)

Para la implementación del sensor de conductividad eléctrica se tuvo en cuenta que la salida de datos requiere más resolución de la que brinda el ESP32, para mejorar la resolución escogimos un conversor análogo digital el ADS1115. Además, las mediciones tomadas (100ppm - 500 ppm) estuvieron dentro de los rangos de trabajo especificados en el apartado 2.2.6.4.

El pin de datos del sensor de conductividad eléctrica Sen 0244 está conectado al ESP32 a través del pin GPIO4 y al conversor análogo digital ADS1115 por medio del pin A1, su alimentación se realiza por medio de una fuente externa con tierra común al ESP32.

4.2.4 Sensor de pH (pH sensor E-201)

Para la implementación del sensor de pH, se tuvo en cuenta los requerimientos de medición de pH neutro y ácido entre 5 y 8.0, se tuvo en cuenta los valores en milivoltios entregados por el sensor para luego compararlos con la tabla de conversión de pH suministrada por el fabricante en el apartado 2.2.6.3, donde también se encuentran las especificaciones del sensor las cuales satisfacen las necesidades del proyecto.

El pin de datos del sensor de pH sensor E-201 está conectado al ESP32 a través del pin GPIO33, su alimentación se realiza por medio de una fuente externa con tierra común al ESP32.

4.2.5 Galga extensiométrica y modulo HX711

Para la implementación de la galga extensiométrica se tuvo en cuenta el peso máximo de cada hilera ocho kilos ya que no debe sobrepasar el peso máximo que puede soportar la galga que es de diez kilos.

La conexión de la galga al módulo HX711 se realizó de la siguiente manera

HX711	GALGA
E+	Cable rojo
E-	Cable negro
A-	Cable blanco
A+	Cable verde

Tabla 2 Conexión HX711 con la galga extensiométrica

Y la conexión de los pines “DT” y “SCK” de los cuatro HX711 al ESP32

HX711	DT	SCK
1	GPIO25	GPIO26
2	GPIO27	GPIO14

3	GPIO12	GPIO13
4	GPIO15	GPIO5

Tabla 3 Conexión HX711 con el ESP32

4.2.6 Sensor de temperatura (DS18B20)

Se escogió este sensor principalmente porque tiene la característica de que puede estar en contacto constante con líquido, ya que con este se va a tomar medidas de la solución nutritiva, además el rango en el que trabaja el sensor en el presente trabajo de grado esta entre 9 a 27°C, estas temperaturas se encuentran dentro de las que el fabricante proporciona en el apartado 2.2.6.2.

La conexión de este sensor tiene una particularidad ya que se debe realizar una resistencia pull-up entre los pines “VDD” y la salida denominada “DQ” el valor de la resistencia varia ya que depende del largo del cable que se vaya a utilizar para este proyecto se utiliza una longitud del cable que está en el rango de cero a cinco metros por lo cual se debe escoger una resistencia de 4.7kΩ.

4.2.7 Modulo relé de cuatro canales

Se escogió este módulo principalmente porque tiene optoacopladores que ayudan a la disminución del ruido provocado por la bobina interna del relé de esta manera se eliminan las interferencias que pueden ser provocadas por la activación y desactivación cada relé.

La conexión se realizó con una placa Arduino debido a que los pines del ESP32 ya estaban ocupados. La alimentación del módulo se realiza con los 5V y la tierra (GND) del Arduino y la alimentación de los relés con una fuente externa de 12V con y la GND de la fuente externa sin hacer tierra común entre estas dos alimentaciones, Finalmente los pines para encender y apagar los relés fueron el pin dos y 13 del Arduino.

4.2.8 Modulo clock DS1307

Se escogió este módulo ya que con este podíamos obtener la hora en tiempo real para así poder encender el relé, el cual a su vez encendía la bomba de agua que permitía el riego del cultivo.

La conexión se realizó con la placa Arduino, con una alimentación de 5V y GND del Arduino, también los pines de datos como son el SCL pin A5 y SDA pin A4.

4.2.9 Firmware

En esta parte se realizó la unión de los códigos de los sensores anteriormente descritos para crear el código unificado con el cual se obtenían los datos de las variables de estudio del proyecto de grado.

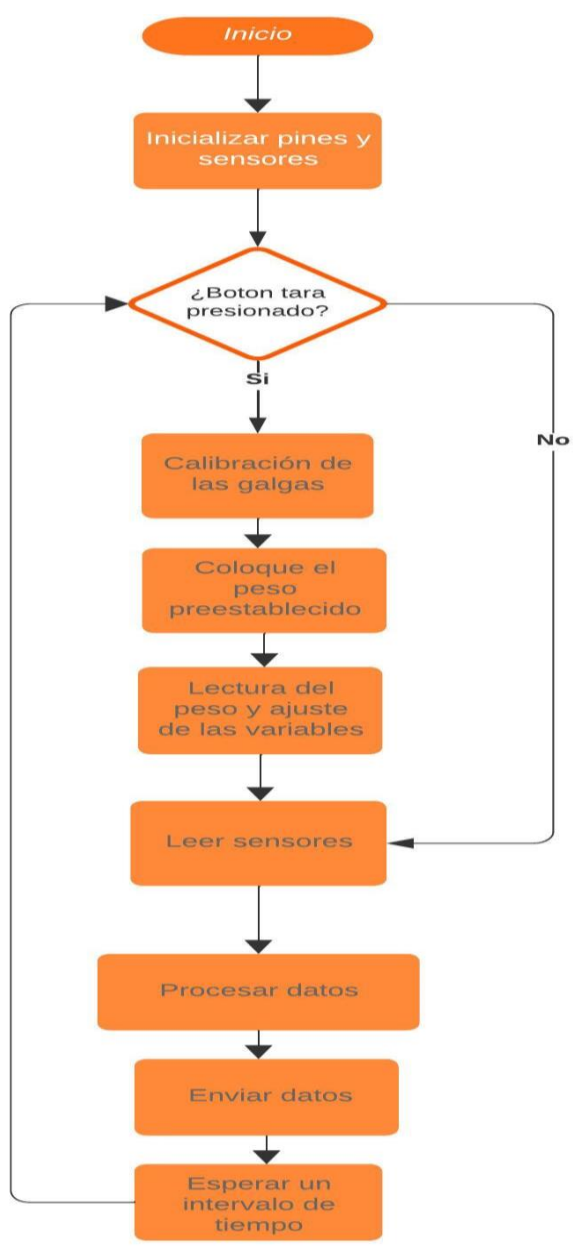


Figura 20 Diagrama del código unificado

4.2.10 Diseño esquemático general del hardware

Se realizaron dos diseños esquemáticos ya que el tamaño del PCB de forma unificada era muy grande, para la implementación de los diseños esquemáticos se tuvo en cuenta todos los sensores que se van a utilizar para llevar a cabo el proyecto, los cuales son el sensor de pH (PH Sensor E-201-C), sensor de conductividad eléctrica (Gravity TDS Sen0244), sensor de humedad y temperatura (DHT11), sensor de temperatura (ADS18B20), conversor análogo digital (ADS1115), los módulos de las galgas extensiométricas (HX711) y como principal esta nuestro microcontrolador el ESP32, por último, decidimos agregar unas borneras en donde está la polaridad del esquemático.

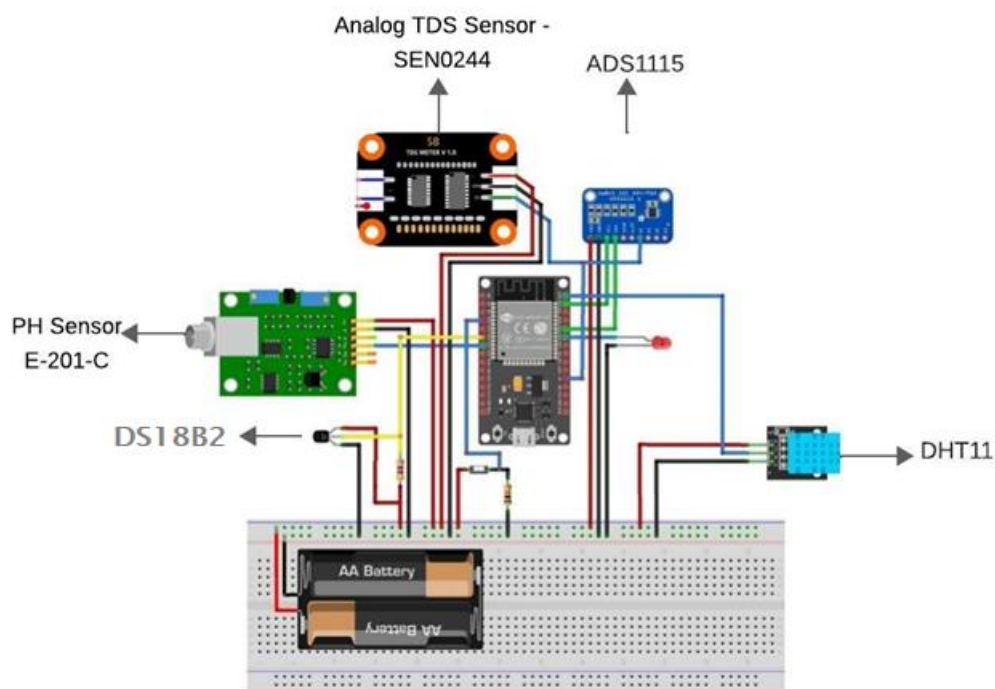


Figura 21. Diagrama de conexiones del sistema de instrumentación

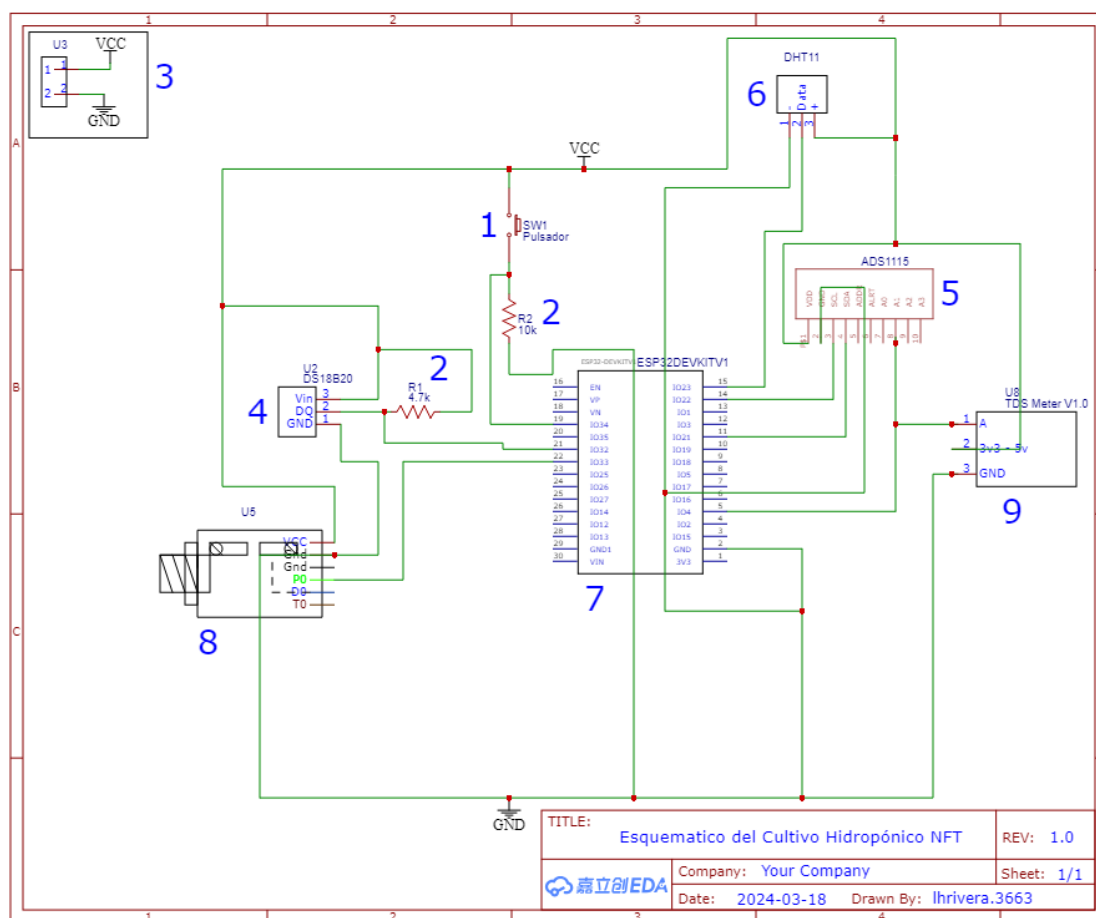


Figura 22. Diagrama esquemático del sistema de instrumentación

En la anterior figura se puede observar el diagrama esquemático del cultivo en donde están presentes los siguientes sensores:

1. Pulsador
2. Resistencias de 10 y 4.7 $k\Omega$
3. Bornera
4. DS18B20
5. ADS1115
6. DHT11
7. ESP32
8. PH Sensor E-201-C
9. Analog TDS Sensor - SEN0244

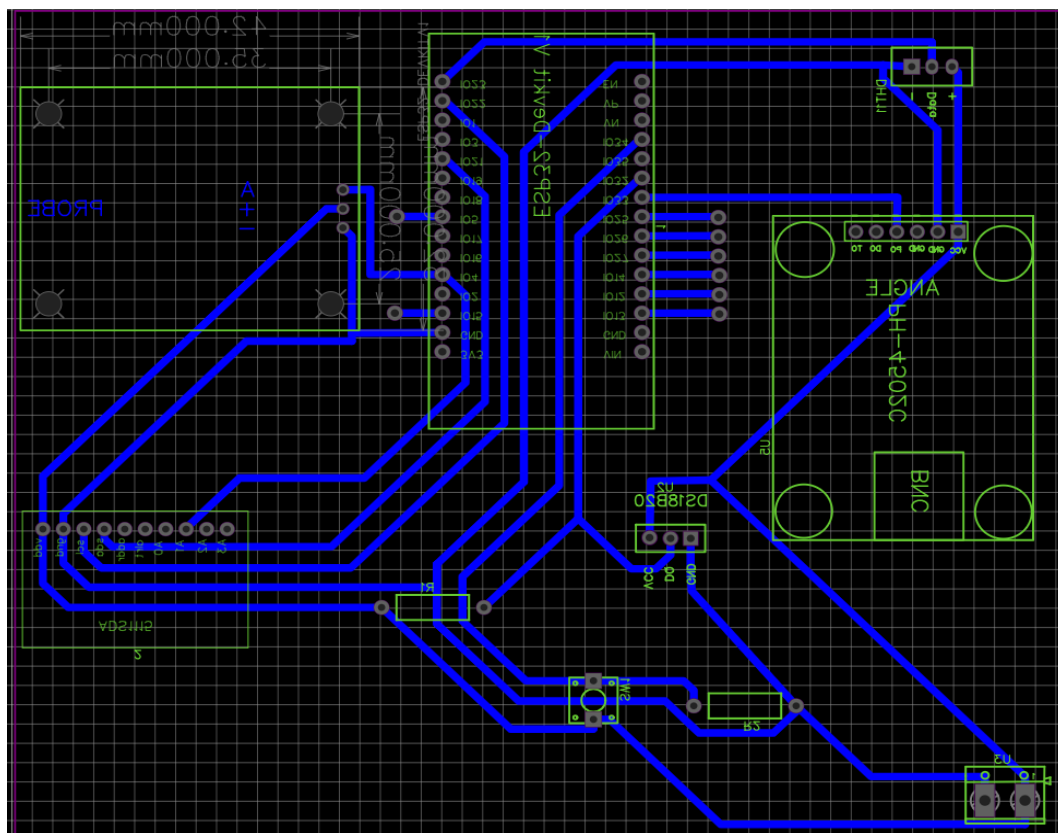


Figura 23. Diseño PCB del sistema de instrumentación

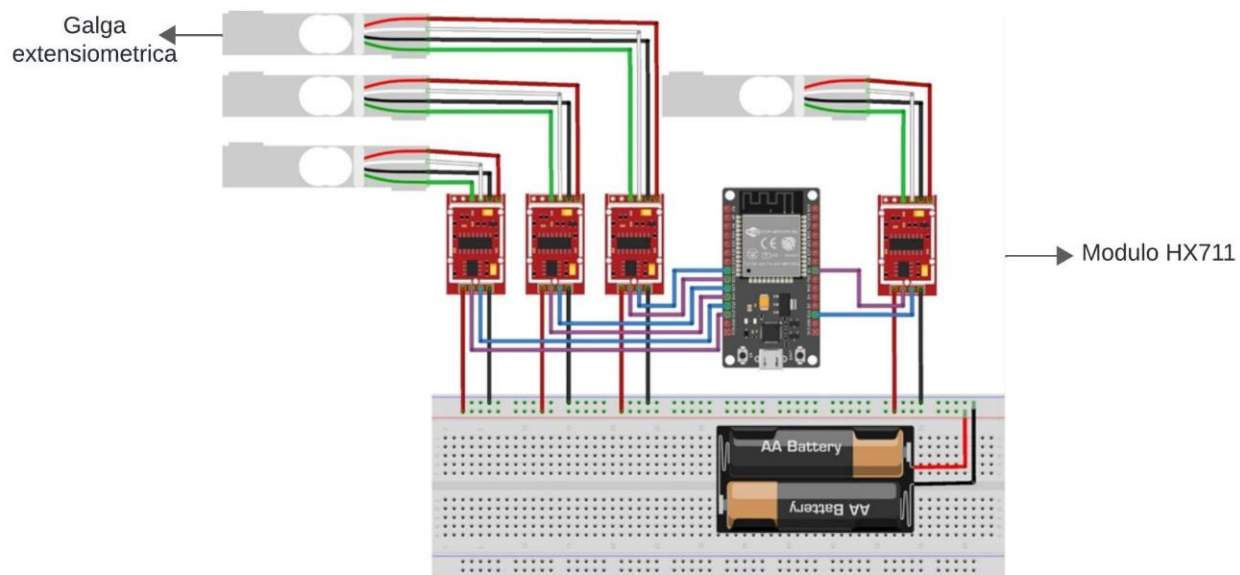


Figura 24. Diagrama de conexiones de los HX711

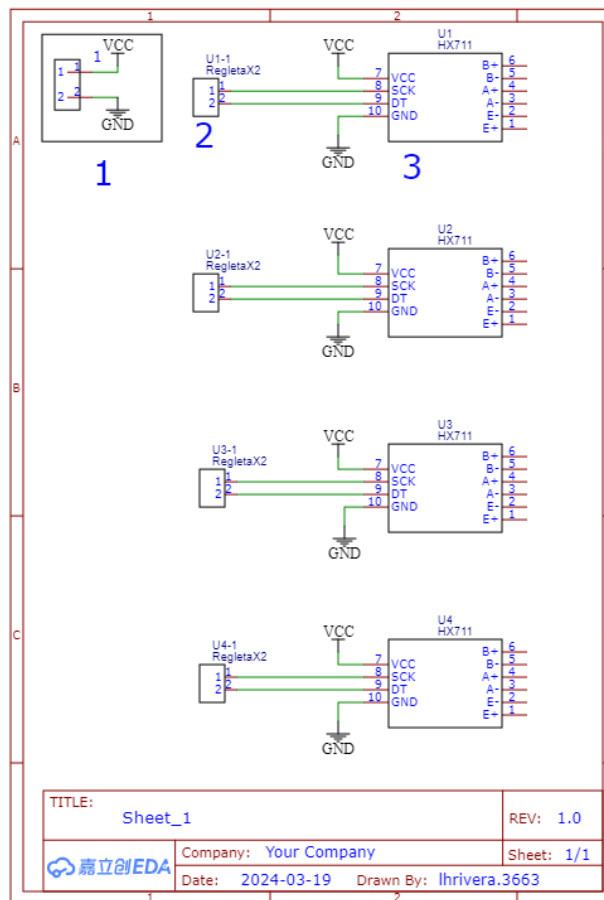


Figura 25. Diagrama esquemático de los HX711

En la anterior figura se puede observar el diagrama esquemático que contiene a los módulos HX711.

1. Bornera
2. Regletas
3. Módulos HX711

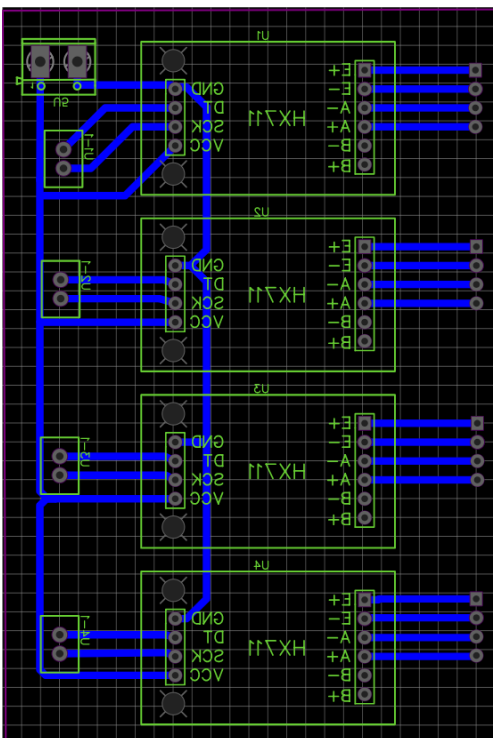


Figura 26. Diseño PCB de los HX711

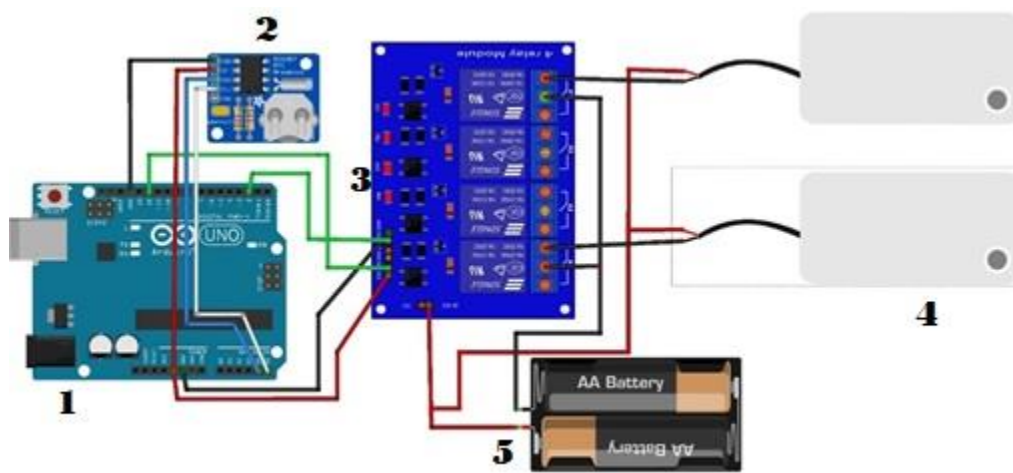


Figura 27. Diagrama de conexión del riego automatizado

La anterior figura se puede observar el diagrama del riego para el sistema hidropónico.

1. Arduino
2. Modulo clock
3. Modulo relé
4. Bomba de agua
5. Alimentación eléctrica

4.2.11 Implementación de las galgas extensiométricas

Para la implementación de las galgas extensiométricas se tuvo en cuenta que estas describen un comportamiento lineal frente a las deformaciones causadas por distintos tipos de peso. Teniendo en cuenta esto se procede a encontrar la ecuación que describe el peso con la ayuda de la ecuación de la recta:

Se obtuvo la medida de la galga sin peso

$$-8528 \rightarrow 0g$$

Luego se procedió a tomar la medida de la galga con un peso conocido de 295 gramos

$$53783 \rightarrow 295g$$

Con estas medidas se calcula cual es la pendiente de la recta:

$$m = \frac{y_f - y_i}{x_f - x_i}$$

Reemplazando

$$m = \frac{295 - 0}{53783 + 8528} = 0.004734$$

Reemplazamos en la ecuación de la recta

$$y = mx + b$$

$$295g = (0.004734)(53783) + b$$

$$b = 40.4g$$

Finalmente obtenemos el peso de la siguiente manera

$$\text{Peso} = 0.004734 * \text{medida de la galga} + b$$



Figura 28. Calibración de la galga con un peso de 295 gramos



Figura 29. Estructura para sostener la galga y el tubo

Para el diseño de la estructura metálica se optó por hacerlo de metal y con un ángulo de 90° , para que la galga pueda ir atornillada ahí y el tubo quede reposado encima y poder tomar peso.

4.2.12 Prueba del sistema de adquisición de datos de ESP32 a ThingSpeak/EXCEL

Para la prueba de adquisición de datos de los sensores se conectó todo debidamente al PCB y se utilizó un contenedor de plástico para los sensores como pH, conductividad eléctrica y temperatura, para la toma de datos se utilizó el microcontrolador ESP32 que cuenta con modulo WIFI y con el que se realiza el envío de datos a ThingSpeak, donde se puede visualizar las variables y descargar los datos en EXCEL.

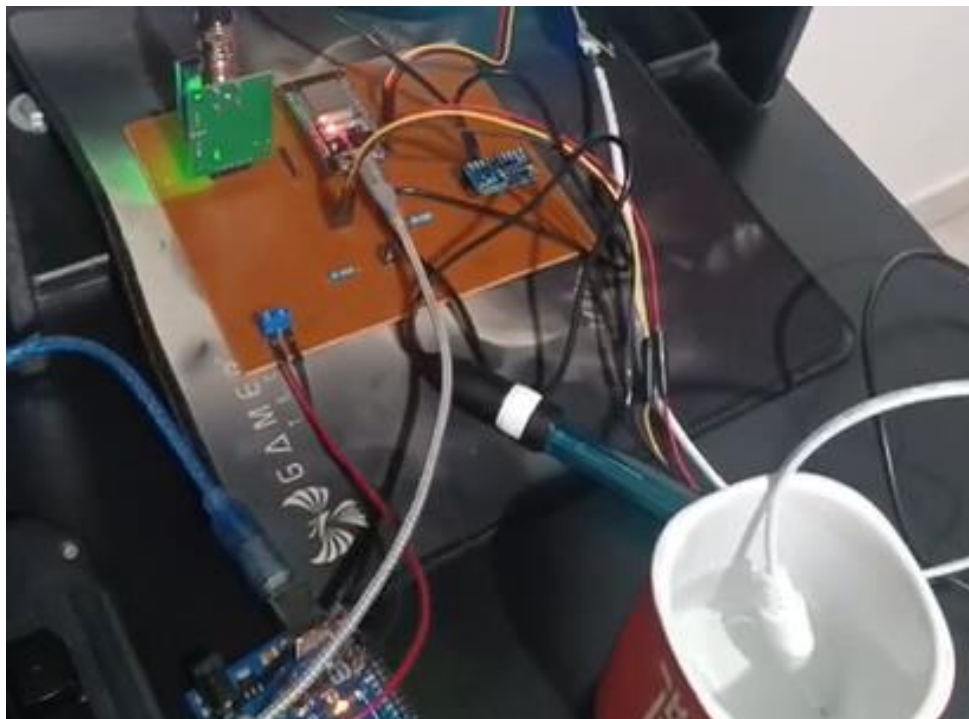


Figura 30. Conexión de los sensores para la adquisición de datos

To use ThingSpeak, you must sign in with your existing MathWorks account or create a new one.

Non-commercial users may use ThingSpeak for free. Free accounts offer limits on certain functionality. Commercial users are eligible for a time-limited free evaluation. To get full access to the MATLAB analysis features on ThingSpeak, log in to ThingSpeak using the email address associated with your university or organization.

To send data faster to ThingSpeak or to send more data from more devices, consider the [paid license options](#) for commercial, academic, home and student usage.

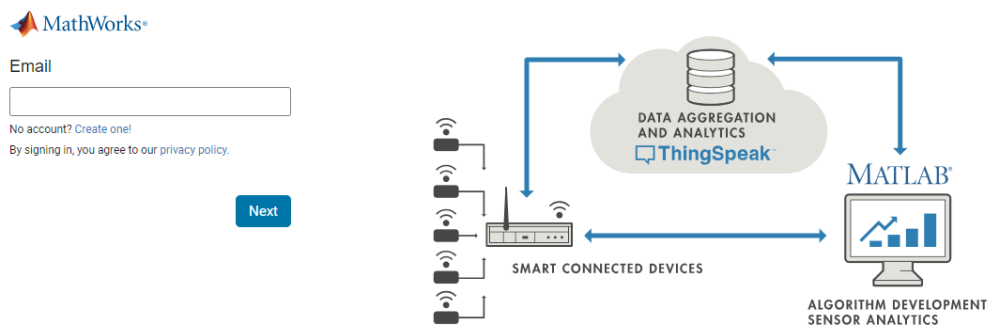


Figura 31. Página de ThingSpeak

ThingSpeak™ Channels Apps Devices Support Commercial Use How to Buy LR

Import

Upload a CSV file to import data into this channel.

File:

Time Zone:

Export

Download all of this Channel's feeds in CSV format.

Time Zone:

Help

The correct format for data import is provided in this [CSV Import Template File](#). Use the field names `field1`, `field2`, and so on, instead of custom field names.

CSV Import Format

```
created_at,field1,field3,field4,field8,elevation
2019-01-01T10:11:12-05:00,11,33,44,88,10
```

Other Import and Export Options

You can also use MATLAB, the REST API, or the MQTT API to import and export channel data.

[Read Data](#)
[Write Data](#)

Blog | Documentation | Tutorials | Terms | Privacy Policy © 2024The MathWorks, Inc.

Figura 32. Importación y exportación de datos de la plataforma de ThingSpeak



Figura 33. Datos enviados a ThingSpeak

	Conductividad eléctrica	Humedad	Temperatura	pH	T. Agua
entry_id	field1	field2	field3	field4	field5
1	0.00000	2147483647	2147483647	2.32273	21.62500
2	0.00000	78	22	2.33884	21.56250
3	0.00000	77	21	2.33884	21.50000
4	0.00000	78	22	2.33804	21.50000
5	0.00000	77	21	2.34448	21.50000
6	0.00000	77	21	2.34368	21.43750
7	0.00000	77	21	2.33643	21.50000
8	0.00000	77	21	2.33240	21.50000
9	0.00000	77	21	2.34851	21.43750
10	0.00000	78	22	2.34529	21.43750
11	0.00000	78	22	2.34529	21.50000
12	0.00000	77	21	2.35173	21.43750
13	0.00000	78	22	2.34690	21.43750
14	0.00000	78	22	2.34529	21.43750
15	0.55248	78	22	2.34207	21.37500
16	1.65665	78	22	2.33481	21.43750
17	1.65665	78	22	2.34851	21.43750
18	1.65665	77	21	2.34690	21.43750
19	30.00119	77	21	2.34126	21.37500
20	58.20300	77	21	2.33884	21.37500

Figura 34. Datos exportados de ThingSpeak a EXCEL

4.3 Introducción a los experimentos

Para el manejo de la conductividad se utilizó una solución concentrada, que está dividida en tres tipos: A, B y C. Donde el tipo A representa los elementos mayores, como son Nitrógeno, Fósforo y Potasio, el tipo B agrupa todos los elementos menores como son Boro, Hierro, Cloro, Cobre, Zinc, Manganeso y el tipo C el Calcio, información proporcionada por el ingeniero agrónomo José Vicente Ordoñez, además los elementos anteriormente mencionados son los únicos que están presentes en la solución nutritiva por lo tanto estos son los encargados de proporcionar la conductividad eléctrica medida en partes por millón [ppm].

El proyecto se desarrolló a través de dos cabinas de las cuales una se utilizó como control, para ello se mantuvo las variables de conductividad eléctrica iniciando 600 ppm y terminando el cultivo hasta 740 ppm, el pH se mantuvo en un rango de [6.0- 6.5], En la cabina de experimentación se modificó la conductividad eléctrica iniciando de 500 ppm hasta terminar el cultivo a 900 ppm con un pH dentro del rango de [5.0-6.0] con el fin de obtener datos para realizar la correlación entre peso y las variables de estudio.

Dado que el experimento quedo en estas condiciones las variables que podemos modificar son conductividad eléctrica y pH, sin embargo en un experimento realizado en abril, se trató de modificar la humedad con atomizadores, pero esta modificación hizo que el cultivo muriera ya que la exposición a humedades altas es muy perjudicial para el crecimiento del cultivo, de igual manera pasaba con la temperatura ambiente y la temperatura de la solución, ya que por un lado los plásticos de invernadero hacían incrementar demasiado la temperatura ambiente y aumentar o disminuir la temperatura de la solución hacía que se impida el desarrollo del cultivo.

Los valores de la cabina de control se tomaron por la asesoría brindada por el ingeniero Vicente Ordoñez quien se desempeña como técnico en el comité de cafeteros de Nariño y tiene un cultivo hidropónico de lechuga bajo la técnica NFT, contando con la experiencia necesaria en este tipo de cultivo.

Las dos cabinas tenían un horario de riego que se iniciaba a las 6:00 a.m. y su ciclo estaba establecido cada 30 minutos con una duración de cinco minutos hasta las 11:30 a.m. después de esta hora la duración aumentaba a diez minutos y finaliza a las 6:30 p.m.

Durante la ejecución del proyecto de grado se monitoreo diariamente la conductividad eléctrica y el pH de forma manual con equipos patrón con el fin de llevar un control de los sensores que estaban en campo, también para suplir la carencia o corregir el exceso de estas variables para que el cultivo siempre este dentro de los rangos que fueron mencionados anteriormente.

4.3.1 Obtención de peso en la estructura

Para obtener el peso de las lechugas, se hizo uso de galgas extensiométricas, las cuales se colocaron 2 en una hilera y otras 2 en otra hilera, estas por medio del módulo HX711 nos permitía saber el valor en gramos de lo que pesaba el tubo PVC en la cual estaban las plantas de lechuga. Lo cual se determinó llamar peso 1 a la primera hilera y peso 2 a la segunda hilera para que no existieran confusiones a la hora de examinar los datos.



Figura 35. Ubicación de Peso 1 y Peso 2

Para conocer el peso de la lechuga en primer lugar se procedió a realizar una toma de muestras en las cuales se pesó únicamente los tubos sin solución nutritiva y sin lechugas, con el fin de obtener dicho peso, se obtuvo los siguientes resultados:

Cabina	Peso 1 (g)	Peso 2 (g)
1	1113	1125
2	999	1027

Tabla 4 Peso de hileras cabina 1 y cabina 2

En segundo lugar, para determinar el peso del agua que queda en las hileras, por cuanto este va a estar presente en las mediciones que realice la galga, se decidió que cada cabina en sus hileras tenga una inclinación igual, manteniendo la misma cantidad de solución nutritiva por cabina de 20 litros cada una.

Además, se monitoreo diariamente, determinando cuanta solución quedaba el tanque de almacenamiento, llevando un registro de este restante con el cual se proyectó el peso del agua que contenía cada hilera.

Es de resaltar que el peso del agua no tuvo un comportamiento constante, variando en cada medición debido al consumo, edad, sistema radicular y fase de desarrollo de las plantas, esto se logró modificando el ángulo de rebose, es decir moviendo la tapa de cada tubo según la necesidad hídrica que hubiese, tomando como referencia que un litro de solución pesaba un kilogramo, proyectando así el consumo de la cabina el cual se dividió entre las cuatro hileras que la conforman.

4.3.2 Datos de las variables de estudio

Cada cabina contaba con un tanque con la capacidad suficiente para almacenar 20 litros de solución nutritiva, posterior a esto se procedió a realizar la medición de la conductividad eléctrica del agua con el instrumento patrón (conductímetro), la cual fue de 49 ppm.

Para la cabina 1 se agregaron 22 mililitros (ml) de cada solución concentrada de tipo A, B y C con lo cual la conductividad promedio fue de 613 ppm al inicio del cultivo.

Para la cabina 2 se agregaron 17 ml de cada solución concentrada de tipo A, B Y C con lo cual la conductividad promedio fue de 491 ppm al inicio del cultivo.

Además, durante estas semanas en ambas cabinas se realizaron calibraciones de las variables anteriormente mencionadas con el fin de que estas mantengan los valores dentro de los rangos establecidos.

Los datos de las variables de estudio obtenidos fueron tomados durante 30 días donde se realizó un promedio de cada tres días con el fin de observar cambios significativos en la lechuga con esto se consiguieron diez muestras.

4.3.3 Cabina 1

Muestra 1: Comprendida entre los días 27, 28 y 29 de junio, donde el 27 de junio se inició a tomar datos donde se ajustó por primera vez la conductividad eléctrica y el pH para esta cabina en 582 ppm y un pH de 5.46, se mantuvo esta concentración de nutrientes hasta el día 29 de junio donde este último día culminó con una conductividad de 643 ppm y un pH de 5.40.

Muestra 2: Comprendida entre los días 30 de junio, 1 y 2 de julio, donde el 30 de junio tuvo una conductividad de 669 ppm y un pH de 5.39, el 1 de julio se realizó un reajuste de conductividad con un valor de 766 ppm y se mantuvo un pH de 5.39, finalmente el 2 de julio la conductividad disminuyó porque las plantas consumieron los nutrientes suministrados con lo que la conductividad tuvo un valor de 667 ppm y un pH de 5.36.

Muestra 3: Comprendida entre los días 3, 4 y 6 de julio, donde el día 5 de julio no se realizó toma de datos porque hubo una falla técnica en esta cabina lo cual se solucionó en el transcurso de este día. Para el 3 de julio la conductividad estaba en 636 ppm y un pH de 5.29, el 4 de julio se obtuvo la medición de 638 ppm y un pH de 5.01, finalmente el 6 de julio se hizo un reajuste de conductividad a un valor de 676 ppm y no se corrigió el pH que estuvo en 4.74.

Muestra 4: Comprendida entre los días 7, 8 y 9 de julio, donde el día 7 de julio se obtuvo una conductividad de 626 ppm y se reajustó el pH a 6.23, el 8 de julio se obtuvo la medición de

655 ppm y un pH de 6.35, finalmente el 9 de julio se hizo un reajuste de conductividad a un valor de 684 ppm, el pH únicamente se monitoreo y este estuvo en un valor de 6.18.

Muestra 5: Comprendida entre los días 10, 11 y 12 de julio, donde el día 10 de julio se obtuvo una conductividad de 642 ppm y un pH de 6.11, el 11 de julio únicamente se monitorearon las variables estas estuvieron en 593 ppm para conductividad y un pH de 6.07, finalmente el 12 de julio se hizo un reajuste de conductividad a un valor de 637 ppm, y no se corrigió el pH que se mantuvo en 6.04.

Muestra 6: Comprendida entre los días 13, 14 y 15 de julio, donde el día 13 de julio se obtuvo una conductividad de 606 ppm y un pH de 5.87, el 14 de julio únicamente se monitorearon las variables estas estuvieron en 638 ppm para conductividad y un pH de 5.80, finalmente el 15 de julio se hizo un reajuste en ambas variables, en el cual la conductividad se estableció en un valor de 653 ppm y un pH de 5.73.

Muestra 7: Comprendida entre los días 16, 17 y 18 de julio, donde el día 16 de julio se monitoreo la conductividad que estuvo en 596 ppm, el pH se reajusto a 6.03, para los días restantes se monitorearon las variables obteniendo una conductividad inicial de 605 ppm y un pH de 6.32 y finalizando en 598 ppm con un pH de 6.29.

Muestra 8: Comprendida entre los días 19, 20 y 21 de julio, para estos días solo se monitorearon las variables obteniendo una conductividad inicial de 594 ppm con un pH de 6.19 y finalizando en 580 ppm y un pH 6.01.

Muestra 9: Comprendida entre los días 22, 23 y 24 de julio, donde el día 22 de julio se obtuvo una conductividad de 524 ppm y un pH de 6.00, el 23 de julio se obtuvo la medición de 460 ppm y un pH de 5.99, finalmente el 24 de julio se hizo un reajuste en el cual la conductividad se estableció en 605 ppm y no se corrigió el pH que se mantuvo en 5.98.

Muestra 10: Comprendida entre los días 25, 26 y 27 de julio, donde el día 25 de julio se monitorearon las variables en primer lugar la conductividad la cual aumento a 653 ppm esto se

dio porque los nutrientes se disolvieron completamente en la solución, en segundo lugar, el pH disminuyó a 5.97 por la misma razón, el día 26 de julio se monitoreo la conductividad que se mantuvo en 656 ppm, se reajusto el pH a 6.31, finalmente el 27 de julio se obtuvo la medición de 651 ppm con un pH de 6.31.

Muestra (n)	Días del Cultivo	Conductividad (ppm)	Humedad (%)	T. ambiente (°C)	pH	T. agua (°C)	Peso (g)
1	16 - 18	613,44	66,95	21,35	5,42	19,00	185,12
2	19 - 21	701,35	68,33	20,19	5,38	18,69	203,10
3	22 - 24	650,34	67,74	20,62	5,01	19,99	217,58
4	25 - 27	655,55	56,33	21,09	6,25	18,81	232,89
5	28 - 30	624,58	50,88	22,96	6,07	19,94	251,65
6	31 - 33	632,90	51,26	22,04	5,8	20,08	267,71
7	34 - 36	600,08	44,93	22,54	6,21	19,05	289,13
8	37 - 39	583,70	52,76	21,21	6,08	19,35	308,83
9	40 - 42	530,12	51,45	19,90	5,99	17,96	339,14
10	43 - 45	653,84	47,52	22,27	6,2	20,17	375,80

Tabla 5 Datos de las variables de estudio de la cabina 1

4.3.4 Cabina 2

Para esta cabina se tuvo que calcular el error del sensor de conductividad ya que no seguía el comportamiento del equipo patrón, para calcular el error se hicieron 14 mediciones

Conductividad Sensor (ppm)	Conductividad Equipo Patrón (ppm)	Error (%)
480,34	538	10,72
481,77	522	7,71
543,91	599	9,20
534,41	650	17,78
551,36	625	11,78
675,82	942	28,26
631,78	820	22,95

629,29	822	23,44
--------	-----	-------

Tabla 6 Error porcentual del sensor de conductividad eléctrica

Con lo anterior se pudo calcular un error porcentual promedio del 19%.

Muestra 1: Comprendida entre los días 27, 28 y 29 de junio, donde el 27 de junio se inició a tomar datos donde se ajustó por primera vez la conductividad para esta cabina en 451 ppm y un pH de 4.92, se mantuvo esta concentración de nutrientes, hasta el día 29 de junio donde se hizo un reajuste en los nutrientes, en el cual la conductividad quedo en 630 ppm y se hizo un reajuste de pH de 5.76

Muestra 2: Comprendida entre los días 30 de junio, 1 y 2 de julio, donde el 30 de junio se obtuvo una conductividad en 652 ppm, este incremento se dio debido a la recirculación de la solución nutritiva e hizo que los nutrientes se disolvieran completamente y se hizo un reajuste en el pH de 6.18, finalmente el día 2 de julio no se realizaron cambios en la solución donde culmino con una conductividad de 606 ppm y un pH de 5.18

Muestra 3: Comprendida entre los días 3, 4 y 5 de julio, donde el día 3 de julio se obtuvo una conductividad de 571 ppm y un pH de 5.2, el 4 de julio se obtuvo la medición de 573 ppm y un pH de 5.4, finalmente el 5 de julio se hizo un reajuste en el cual la conductividad quedo en 650 ppm y se mantuvo un pH de 5.21.

Muestra 4: Comprendida entre los días 6, 7 y 8 de julio, donde el día 6 de julio se obtuvo una conductividad de 647 ppm y se mantuvo un pH de 5.19, el 7 de julio se obtuvo la medición de 635 ppm y un pH de 5.1, finalmente el 8 de julio se hizo un reajuste en el cual la conductividad quedo en 656 ppm y un pH de 4.74.

Muestra 5: Comprendida entre los días 9, 10 y 11 de julio, donde el día 9 de julio se hizo un reajuste en el cual la conductividad quedo en 804 ppm y un pH de 4.8, 10 de julio se obtuvo una conductividad de 751 ppm y se hizo un reajuste en el pH de 5.5, finalmente el 11 de julio se obtuvo la medición de 748 ppm y se hizo un reajuste en el pH de 6.29.

Muestra 6: Comprendida entre los días 12, 13 y 14 de julio, donde el día 12 de julio se obtuvo una conductividad de 717 ppm y se mantuvo un pH de 6.3, el 13 de julio se obtuvo la medición de 759 ppm y un pH de 5.8, finalmente el 14 de julio se hizo un reajuste en el cual la conductividad quedo en 774 ppm y un pH de 4.85.

Muestra 7: Comprendida entre los días 15, 16 y 17 de julio, para estos días solo se monitoreo las variables obteniendo una conductividad inicial de 761 ppm y un pH de 4.9 y finalizando en 745 ppm y este último día se hizo un reajuste en el pH de 6.55.

Muestra 8: Comprendida entre los días 18, 19 y 20 de julio, para estos días solo se monitoreo las variables obteniendo una conductividad inicial de 727 ppm y un pH de 6.6 y finalizando en 715 ppm y un pH 5.33.

Muestra 9: Comprendida entre los días 21, 22 y 23 de julio, donde el día 21 de julio se obtuvo una conductividad de 700 ppm y un pH de 5.35, el 22 de julio se obtuvo la medición de 641 ppm y se hizo un reajuste en el pH de 6.1, finalmente el 23 de julio se hizo un reajuste en el cual la conductividad quedo en 1154 ppm y se mantuvo un pH de 6.31.

Muestra 10: Comprendida entre los días 24, 25 y 26 de julio, donde el 24 y 25 de julio el sensor de conductividad tuvo un comportamiento de saturación, pero el pH marco una lectura de 6.33 y 5.9 respectivamente. Finalmente se ajustó la solución para el 26 de julio obteniendo una conductividad de 722 ppm y un pH de 6.22.

Muestra (n)	Días del Cultivo	Conductividad (ppm)	Humedad (%)	T. ambiente (°C)	pH	T. agua (°C)	Peso (g)
1	16 - 18	516,43	70,86	22,30	5,2	19,15	194,01
2	19 - 21	637,50	74,07	21,20	5,62	19,53	225,83
3	22 - 24	598,37	84,10	20,30	5,27	19,02	243,61
4	25 - 27	646,44	62,50	21,98	5,01	19,15	258,30
5	28 - 30	768,31	59,19	23,38	5,53	20,09	278,68
6	31 - 33	750,79	63,71	22,46	5,65	19,62	301,11
7	34 - 36	748,83	53,26	23,09	5,73	20,82	306,07

8	37 - 39	723,61	58,38	22,08	5,91	19,41	322,03
9	40 - 42	832,14	58,24	21,75	5,92	19,21	361,19
10	43 - 45	2556,40	60,17	20,66	6,15	19,00	426,37

Tabla 7 Datos de las variables de estudio de la cabina 2

5. Análisis y discusión de resultados

En este último capítulo, se abordó los datos generalizados de los experimentos realizados, donde se presentó un análisis y se evaluó basado en los resultados obtenidos, el cálculo que estableció de la correlación entre el peso y las variables estudiadas del tiempo de producción. Esta perspectiva permitió realizar un estudio de los resultados de la correlación de variables presentes en esta investigación, evaluando su comportamiento ante los experimentos realizados.

5.1 Traslado a la estructura hidropónica

Pasados 15 días en los cuales la semilla germinó y la plántula se adaptó al cultivo, se procedió a trasplantar a la estructura, se debe manipular la planta con cuidado, sin realizar movimientos fuertes que afecten a la raíz, ya que son muy frágiles, el día en el cual se procedió a trasplantar fue el 26 de junio de 2024.

Cada plántula tenía una canastilla la cual le proporcionaba firmeza y un buen acople a la estructura y un peso promedio de 15 gr.

5.2 Coeficientes de correlación

Los datos se agruparon estadísticamente con promedios de cada tres días para ambas cabinas con estos se procedió a realizar la correlación por el método de Spearman el cual permite trabajar con las variables originales sin necesidad de realizar modificaciones las cuales se verían involucradas en perder valores significativos del proyecto de grado.

Para calcular los coeficientes de correlación de cada cabina a todos los datos se les realizó el delta ($X_{final} - X_{inicial}$), de cambio en el que se ve reflejado cuanto cambio la variable.

5.2.1 Coeficientes de correlación para la cabina 1 y 2

5.2.1.1 Cabina 1

Conductividad (ppm)	Peso (gr)	Rango de X	Rango de Y	di	di^2	
87,91	17,98	8	4	4	16	
-51,01	14,48	2	1	1	1	
5,21	15,31	6	2	4	16	
-30,97	18,76	4	5	-1	1	
8,33	16,06	7	3	4	16	
-32,82	21,42	3	7	-4	16	
-16,38	19,70	5	6	-1	1	
-53,58	30,31	1	8	-7	49	
123,72	36,66	9	9	0	0	
					116	$\sum di^2$

Tabla 8. Correlación entre conductividad y peso

El coeficiente de correlación de la conductividad eléctrica con relación al peso es de:

$$r_s = 1 - \frac{6 \times 116}{9 \times (9^2 - 1)}$$

$$r_s = 0.03$$

Según el método de Spearman para esta variable se obtuvo un $r_s = 0.03$ lo que se puede interpretar como una correlación débil entre el peso obtenido por la planta y la conductividad eléctrica que se aplicó a esta cabina.

El coeficiente de correlación de la humedad relativa con relación al peso es de:

$$r_s = 1 - \frac{6 \times 130}{9 \times (9^2 - 1)}$$

$$r_s = -0.08$$

Según el método de Spearman para esta variable se obtuvo un $r_s = -0.08$ lo que se puede interpretar como una correlación débil entre el peso obtenido por la planta y la humedad relativa de la cabina.

El coeficiente de correlación de la temperatura ambiente con relación al peso es de:

$$r_s = 1 - \frac{6 \times 104}{9 \times (9^2 - 1)}$$

$$r_s = 0.13$$

Según el método de Spearman para esta variable se obtuvo un $r_s = 0.13$ lo que se puede interpretar como una correlación débil entre el peso obtenido por la planta y la temperatura ambiente de la cabina.

El coeficiente de correlación del pH con relación al peso es de:

$$r_s = 1 - \frac{6 \times 76}{9 \times (9^2 - 1)}$$

$$r_s = 0.36$$

Según el método de Spearman para esta variable se obtuvo un $r_s = 0.36$ lo que se puede interpretar como una correlación moderada entre el peso obtenido por la planta y el pH suministrado en la cabina.

El coeficiente de correlación de la temperatura del agua con relación al peso es de:

$$r_s = 1 - \frac{6 \times 122}{9 \times (9^2 - 1)}$$

$$r_s = -0.01$$

Según el método de Spearman para esta variable se obtuvo un $r_s = -0.01$ lo que se puede interpretar como una correlación débil entre el peso obtenido por la planta y la temperatura del agua de la cabina.

5.2.1.2 *Cabina 2*

Conductividad (ppm)	Peso 1 (gr)	Rango de X	Rango de Y	di	di^2	
121,08	31,82	7	7	0	0	
-39,14	17,77	1	4	-3	9	
48,08	14,69	5	2	3	9	
121,86	20,38	8	5	3	9	
-17,51	22,44	3	6	-3	9	
-1,96	4,96	4	1	3	9	
-25,22	15,96	2	3	-1	1	
108,53	39,15	6	8	-2	4	
1724,26	65,18	9	9	0	0	
					50	$\sum di^2$

Tabla 9. Correlación entre conductividad y peso1

El coeficiente de correlación de la conductividad eléctrica con relación al peso es de:

$$r_s = 1 - \frac{6 \times 50}{9 \times (9^2 - 1)}$$

$$r_s = 0.58$$

Según el método de Spearman para esta variable se obtuvo un $r_s = 0.58$ lo que se puede interpretar como una correlación fuerte entre el peso obtenido por la planta y la conductividad eléctrica proporcionada a la cabina, lo que indica que el incremento de la una se ve directamente reflejado en la otra.

El coeficiente de correlación de la humedad relativa con relación al peso es de:

$$r_s = 1 - \frac{6 \times 90}{9 \times (9^2 - 1)}$$

$$r_s = 0.25$$

Según el método de Spearman para esta variable se obtuvo un $r_s = 0.25$ lo que se puede interpretar como una correlación débil entre el peso obtenido por la planta y la humedad relativa de la cabina.

El coeficiente de correlación de la temperatura ambiente con relación al peso es de:

$$r_s = 1 - \frac{6 \times 188}{9 \times (9^2 - 1)}$$

$$r_s = -0.56$$

Según el método de Spearman para esta variable se obtuvo un $r_s = -0.56$ lo que se puede interpretar como una correlación fuerte entre el peso obtenido por la planta y la temperatura ambiente de la cabina lo que indica que entre el rango de temperaturas comprendido entre [20.30 – 23.37] °C afecta al cultivo negativamente.

El coeficiente de correlación del pH con relación al peso es de:

$$r_s = 1 - \frac{6 \times 74}{9 \times (9^2 - 1)}$$

$$r_s = 0.38$$

Según el método de Spearman para esta variable se obtuvo un $r_s = 0.38$ lo que se puede interpretar como una correlación moderada entre el peso obtenido por la planta y el pH suministrado a la cabina.

El coeficiente de correlación de la temperatura del agua con relación al peso es de:

$$r_s = 1 - \frac{6 \times 140}{9 \times (9^2 - 1)}$$

$$r_s = -0.16$$

Según el método de Spearman para esta variable se obtuvo un $r_s = -0.16$ lo que se puede interpretar como una correlación débil entre el peso obtenido por la planta y la temperatura del agua de la cabina.

Cabinas	Coefficiente Conductividad	Coefficiente Humedad	Coefficiente T. ambiente	Coefficiente pH	Coefficiente T. agua
Cabina 1	0.03	-0.08	0.13	0.36	-0.016
Cabina 2	0.58	0.25	-0.56	0.38	-0.16

Tabla 10. Promedio de los coeficientes de las variables para cada una de las cabinas

En la anterior tabla podemos identificar el coeficiente de correlación que existe entre cada una de las variables con respecto al peso para cada una de las cabinas involucradas.

La conductividad eléctrica se destaca en la cabina 2 teniendo un coeficiente más alto con respecto a la cabina 1 que tiene un coeficiente de correlación más bajo, esto nos quiere decir que es la variable más influyente en el peso y crecimiento del cultivo. El valor de correlación obtenido en la cabina 2 indica una fuerte relación positiva entre la conductividad eléctrica y el peso del cultivo, lo que sugiere que mantener una conductividad eléctrica en los rangos anteriormente suministrados es crucial para el crecimiento de las plantas bajo las condiciones a las que el cultivo fue sometido.

En cultivos hidropónicos, donde las plantas dependen completamente de la solución nutritiva para obtener sus nutrientes, la conductividad eléctrica actúa como un indicador clave de la calidad de esta solución.

El pH es la segunda variable más significativa, donde a lo largo de la siembra se realizaron ajustes de este en la cabina de control la cual se lo mantuvo en un rango comprendido entre [6.0 – 6.5] y en la cabina donde se realizaron los experimentos se lo mantuvo en un rango más ácido comprendido entre [5.0 – 6.0], debido a que un pH entre [5.0 – 6.5] fue una recomendación que realizó el ingeniero Vicente Ordoñez para que el cultivo pueda asimilar los nutrientes presentes en la solución nutritiva, además un pH óptimo según (Lara Herrera, 1999) asegura la asimilación de nutrientes, favoreciendo el crecimiento del cultivo. Un pH óptimo facilita la solubilidad de los nutrientes, permitiendo una absorción más eficiente por parte de las plantas. Por lo tanto, ajustar y mantener el pH en este rango es esencial para potenciar el efecto positivo de la conductividad eléctrica y maximizar el rendimiento del cultivo.

La humedad es una de las variables que presenta coeficientes de correlación débil, sin embargo, no es una variable a la cual se le deba restar importancia ya que a valores altos de humedad afectan negativamente al cultivo, por lo tanto, mantener una humedad adecuada es importante para prevenir condiciones que podrían favorecer enfermedades.

La temperatura ambiente muestra una correlación débil frente al peso. No obstante, a temperaturas extremadamente bajas o altas pueden ser perjudiciales para el crecimiento de las plantas, llevándolas a no obtener un peso mayor o marchitarse si la exposición es prolongada. Es esencial mantener la temperatura ambiente dentro del rango que requiera el cultivo para evitar el estrés térmico en las plantas.

Por último, la temperatura del agua se muestra los coeficientes de correlación débil, en el presente proyecto de grado las variaciones de temperatura del agua no tienen un impacto significativo en el crecimiento de las plantas. Por ello es importante evitar los excesos para mantener las raíces sanas.

5.3 Comparación de la conductividad eléctrica y peso en las cabinas

Debido que la conductividad eléctrica es la variable que presento mayor coeficiente de correlación con respecto al peso presentamos la siguiente comparación:

Muestra (n)	Días del Cultivo	Conductividad Cabina 1 (ppm)	Conductividad Cabina 2 (ppm)	Peso Cabina 1 (g)	Peso Cabina 2 (g)
1	16 - 18	613,44	516,43	185,12	194,01
2	19 - 21	701,35	637,50	203,10	225,83
3	22 - 24	650,34	598,37	217,58	243,61
4	25 - 27	655,55	646,44	232,89	258,30
5	28 - 30	624,58	768,31	251,65	278,68
6	31 - 33	632,90	750,79	267,71	301,11
7	34 - 36	600,08	748,83	289,13	306,07
8	37 - 39	583,70	723,61	308,83	322,03
9	40 - 42	530,12	832,14	339,14	361,19
10	43 - 45	653,84	2556,40	375,80	426,37

Tabla 11 Comparación entre la conductividad eléctrica y el peso de las cabinas.

En la anterior tabla se puede observar la comparación de las cabinas sobre el efecto que tiene la conductividad eléctrica en el peso de las plantas, con lo cual se obtuvo un mayor

rendimiento en el peso de la cabina 2 debido a que en esta se fue aumentando la conductividad en el rango de [500 - 900] ppm a medida que el cultivo iba creciendo y en la cabina 1 se mantuvo la conductividad eléctrica en el rango de [600 - 740] ppm.

Conclusiones

Con respecto al tema de la estructura que se utilizó para realizar el proyecto de grado (tipo pirámide), se concluye que no es la más adecuada para cultivos que emplean la técnica NFT. Esto se debe a que cada canal se le debe hacer una inclinación individual para que circule la solución nutritiva. Durante el desarrollo del proyecto se tuvo que cambiar la inclinación en repetidas ocasiones porque el cultivo así lo requería, lo que resultó en una tarea que ocupó mucho tiempo. Este problema no se presenta en estructuras horizontales, que manejan una inclinación general para todos los canales.

El sistema de instrumentación de sensores demostró ser eficiente durante el transcurso del cultivo porque satisface las necesidades requeridas por los investigadores, no presentó problemas de pérdida de datos ni de señales adquiridas por los sensores puestos en campo.

La instalación de este tipo de sistemas instrumentados ayuda al agricultor a obtener mejores productos por cuanto el manejo de las variables ayuda a suplir las necesidades del cultivo y obtener mejor producción.

En lo referente a la conductividad eléctrica con relación al peso de las plantas, se encontró que en las dos cabinas existe una correlación positiva, diferenciándose en cuanto la cabina 1 presenta un nivel bajo de correlación comprendida entre los rangos [600 – 740]ppm, mientras que la cabina 2 presenta un nivel fuerte, esto debido a que estuvo entre los rangos de [500 – 900]ppm, según (Lara Herrera, 1999) la conductividad eléctrica es directamente proporcional a la cantidad de nutrientes por ende a mayor presencia de estos, bajo las condiciones a la que fue sometida la planta en la cabina 2 esta exterioriza un mayor desarrollo vegetativo respecto a la cabina 1.

En relación al pH que presenta la solución nutritiva frente al peso de las plantas se encontró que existe una correlación positiva moderada por cuanto el pH comprendido en los rangos de [5.0 – 6.5] influye en la estabilidad química de los nutrientes afectando su disponibilidad para la planta.

La temperatura ambiente presenta un índice de correlación negativo fuerte respecto al peso de las plantas en la cabina 2, porque esta presenta temperaturas que sobrepasan los 23°C lo cual hace que se atenué el crecimiento del cultivo.

La variable de humedad relativa con relación al peso de las plantas presenta una correlación débil dentro del rango comprendida entre [44 – 84]% a la que fue sometida la planta, por ende, no influyen directamente en el crecimiento vegetativo.

La temperatura del agua presenta una correlación débil frente al peso de las plantas a temperaturas comprendidas entre [18 – 20.8]°C.

Trabajos futuros

Implementación de un sistema automatizado que tenga un lazo de control que permita mantener la conductividad eléctrica y el pH en los rangos que requiera el cultivo para desarrollarse apropiadamente. Ayudando a una acción rápida para corregir la carencia o el exceso de estas que pueden desencadenarse en enfermedades o que el cultivo muera.

Referencias

- Conde, E. (2017). Diseño De Un Prototipo Para El Control Y Automatizacion De Un Sistema Hidropónico En Un Invernadero. *Biomédica*, 31(sup3.2), 102.
<https://repositorio.umsa.bo/xmlui/bitstream/handle/123456789/16833/T-3365.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cuellar, S., Medina, C., Mojica, P., & Tamayo, A. (2014). *TECNOLOGÍAS RELACIONADAS CON INVERNADEROS PARA FLORES*. 113. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.33724.03202>
- e-Gizmo Mechatronix Central. (2017). *PH Sensor E-201-C*. [https://www.e-gizmo.net/oc/kits/documents/PH Sensor E-201-C/PH Sensor E-201-C.pdf](https://www.e-gizmo.net/oc/kits/documents/PH%20Sensor%20E-201-C/PH%20Sensor%20E-201-C.pdf)
- Espressif. (2022). ESP32 Series Datasheet. *Espressif Systems*, 1–70.
https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf
- Hernández, C., & Diaz, L. (2003). *AUTOMATIZACIÓN DE CULTIVOS HIDROPONICOS*. UNIVERSIDAD DE LOS ANDES.
- Hernández, C., & Piñeros, J. (2013). *DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN TIPO AEROPÓNICO* (Issue 1) [EAN].
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2011.03.003>
<https://doi.org/10.1016/j.gr.2017.08.001>
<http://dx.doi.org/10.1016/j.precamres.2014.12.018>
<http://dx.doi.org/10.1016/j.precamres.2011.08.005>
<http://dx.doi.org/10.1080/00206814.2014.902757>
<http://dx.doi.org/10.1080/00206814.2014.902757>
- Lara Herrera, A. (1999). MANEJO DE LA SOLUCION NUTRITIVA EN LA PRODUCCION DE TOMATE EN HIDROPONIA. 221-229., 17(3), 221–229.
- Palacios, M. (2014). *PRODUCCIÓN DE VEGETALES EMPLEANDO LA TÉCNICA HIDROPÓNICA DE FLUJO LAMINAR DE NUTRIENTES (NFT)*.
https://es.slideshare.net/sergio_red02/expo-flujo-laminar
- Resh, H. M. (1989). *Cultivos hidropónicos*. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/11613>
- Rodas, J. (2020). *PARTICIPACIÓN EN LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA HIDROPÓNICO NFT (Nutrient Film Technique) Y RAÍZ FLOTANTE EN EL CULTIVO LECHUGA (Lactuca sativa L.) BAJO COBERTURA EN LA ESCUELA NACIONAL CENTRAL DE AGRICULTURA, ENCA BARCENAS VILLA NUEVA, GUATEMALA*.
- Rozo, G., Ruiz, J., Poveda, J., & Lobaton, H. (2020). Sistema de supervisión y alertas de un cultivo hidropónico NFT de lechuga a través del Internet de las cosas. In *Compensar*

Unipanamericana Fundación Unuversitaria.

UNIT ELECTRONICS. (2016). *UNIT ELECTRONICS*. <https://uelectronics.com/>

Walpole, R. E., Myers, R. H., Myers, S. L., & Ye, K. (2012). *Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias* (Novena ed).

Zambrano Cortés, N. H., & Behrentz Pfalz, M. C. (2014). Automatización de un cultivo hidropónico para el control de variables. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 1, 11. <https://doi.org/10.23850/24220582.114>

Anexos

Anexo 1. Código fuente del sistema de instrumentación de las cabinas.

[Link: Código fuente](#)

Anexo 2. Código del riego automatizado.

[Link: Código del riego](#)

Anexo 3. Coeficientes de correlación de la cabina 1.

[Link: Coeficientes cabina 1](#)

Anexo 4. Coeficientes de correlación de la cabina 2.

[Link: Coeficientes cabina 2](#)

 <p>UNIVERSIDAD CESMAG NIT: 800.109.387-7 VIGILADA MINEDUCACIÓN</p>	CARTA DE ENTREGA TRABAJO DE GRADO O TRABAJO DE APLICACIÓN – ASESOR(A)	CÓDIGO: AAC-BL-FR-032
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 09/JUN/2022

San Juan de Pasto, 10 de septiembre de 2024

Biblioteca
REMIGIO FIORE FORTEZZA OFM. CAP.
Universidad CESMAG
Pasto


Saludo de paz y bien.

Por medio de la presente se hace entrega del Trabajo de Grado / Trabajo de Aplicación denominado Estudio de Correlación Entre Variables Principales Presentes en un Sistema de Cultivo Hidropónico NFT, presentado por el (los) autor(es) Elkin Mario Ortiz Lopez, y Luis Hernando Rivera Chalapud del Programa Académico de Ingeniería Electrónica al correo electrónico biblioteca.trabajosdegrado@unicesmag.edu.co. Manifiesto como asesor(a), que su contenido, resumen, anexos y formato PDF cumple con las especificaciones de calidad, guía de presentación de Trabajos de Grado o de Aplicación, establecidos por la Universidad CESMAG, por lo tanto, se solicita el paz y salvo respectivo.

Atentamente,




William Andrés Arévalo Terán
1085254372
Ingeniería Electrónica
3173008497
waarevalo@unicesmag.edu.co

 UNIVERSIDAD CESMAG <small>NIT: 800.109.387-7 VIGILADA Mineducación</small>	AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE GRADO O TRABAJOS DE APLICACIÓN EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL	CÓDIGO: AAC-BL-FR-031
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 09/JUN/2022

INFORMACIÓN DEL (LOS) AUTOR(ES)	
Nombres y apellidos del autor: Elkin Mario Ortiz Lopez	Documento de identidad: 1193141930
Correo electrónico: emortiz.1930@unicesmag.edu.co	Número de contacto: 3162061491
Nombres y apellidos del autor: Luis Hernando Rivera Chalapud	Documento de identidad: 1233193663
Correo electrónico: lhrivera.3663@unicesmag.edu.co	Número de contacto: 3122849218
Nombres y apellidos del autor:	Documento de identidad:
Correo electrónico:	Número de contacto:
Nombres y apellidos del autor:	Documento de identidad:
Correo electrónico:	Número de contacto:
Nombres y apellidos del asesor: William Andrés Arévalo Terán	Documento de identidad: 1085254372
Correo electrónico: waarevalo@unicesmag.edu.co	Número de contacto: 3173008497
Título del trabajo de grado: Estudio de Correlación Entre Variables Principales Presentes en un Sistema de Cultivo Hidropónico NFT	
Facultad y Programa Académico: Facultad de Ingeniería – Programa de Ingeniería Electrónica	

En mi (nuestra) calidad de autor(es) y/o titular (es) del derecho de autor del Trabajo de Grado o de Aplicación señalado en el encabezado, confiero (conferimos) a la Universidad CESMAG una licencia no exclusiva, limitada y gratuita, para la inclusión del trabajo de grado en el repositorio institucional. Por consiguiente, el alcance de la licencia que se otorga a través del presente documento, abarca las siguientes características:

- a) La autorización se otorga desde la fecha de suscripción del presente documento y durante todo el termino en el que el (los) firmante(s) del presente documento conserve(mos) la titularidad de los derechos patrimoniales de autor. En el evento en el que deje(mos) de tener la titularidad de los derechos patrimoniales sobre el Trabajo de Grado o de Aplicación, me (nos) comprometo (comprometemos) a informar de manera inmediata sobre dicha situación a la Universidad CESMAG. Por consiguiente, hasta que no exista comunicación escrita de mi(nuestra) parte informando sobre dicha situación, la Universidad CESMAG se encontrará debidamente habilitada para continuar con la publicación del Trabajo de Grado o de Aplicación dentro del repositorio institucional. Conozco(conocemos) que esta autorización podrá revocarse en cualquier momento, siempre y cuando se eleve la solicitud por escrito para dicho fin ante la Universidad CESMAG. En estos eventos, la Universidad CESMAG cuenta con el plazo de un mes después de recibida la petición, para desmarcar la visualización del Trabajo de Grado o de Aplicación del repositorio institucional.

 <p>UNIVERSIDAD CESMAG NIT: 800.109.387-7 VIGILADA Mineducación</p>	AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE GRADO O TRABAJOS DE APLICACIÓN EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL	CÓDIGO: AAC-BL-FR-031
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 09/JUN/2022



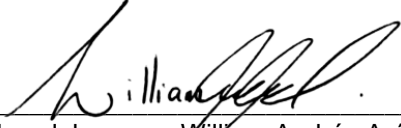
- b) Se autoriza a la Universidad CESMAG para publicar el Trabajo de Grado o de Aplicación en formato digital y teniendo en cuenta que uno de los medios de publicación del repositorio institucional es el internet, acepto(amos) que el Trabajo de Grado o de Aplicación circulará con un alcance mundial.
- c) Acepto (aceptamos) que la autorización que se otorga a través del presente documento se realiza a título gratuito, por lo tanto, renuncio(amos) a recibir emolumento alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y/o cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente autorización y de la licencia o programa a través del cual sea publicado el Trabajo de grado o de Aplicación.
- d) Manifiesto (manifestamos) que el Trabajo de Grado o de Aplicación es original realizado sin violar o usurpar derechos de autor de terceros y que ostento(amos) los derechos patrimoniales de autor sobre la misma. Por consiguiente, asumo(asumimos) toda la responsabilidad sobre su contenido ante la Universidad CESMAG y frente a terceros, manteniéndola indemne de cualquier reclamación que surja en virtud de la misma. En todo caso, la Universidad CESMAG se compromete a indicar siempre la autoría del escrito incluyendo nombre de(los) autor(es) y la fecha de publicación.
- e) Autorizo(autorizamos) a la Universidad CESMAG para incluir el Trabajo de Grado o de Aplicación en los índices y buscadores que se estimen necesarios para promover su difusión. Así mismo autorizo (autorizamos) a la Universidad CESMAG para que pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.

NOTA: En los eventos en los que el trabajo de grado o de aplicación haya sido trabajado con el apoyo o patrocinio de una agencia, organización o cualquier otra entidad diferente a la Universidad CESMAG. Como autor(es) garantizo(amos) que he(hemos) cumplido con los derechos y obligaciones asumidos con dicha entidad y como consecuencia de ello dejo(dejamos) constancia que la autorización que se concede a través del presente escrito no interfiere ni transgrede derechos de terceros.

Como consecuencia de lo anterior, autorizo(autorizamos) la publicación, difusión, consulta y uso del Trabajo de Grado o de Aplicación por parte de la Universidad CESMAG y sus usuarios así:

- Permiso(permitimos) que mi(nuestro) Trabajo de Grado o de Aplicación haga parte del catálogo de colección del repositorio digital de la Universidad CESMAG por lo tanto, su contenido será de acceso abierto donde podrá ser consultado, descargado y compartido con otras personas, siempre que se reconozca su autoría o reconocimiento con fines no comerciales.

En señal de conformidad, se suscribe este documento en San Juan de Pasto a los 10 días del mes de septiembre del año 2024

	
Nombre del autor: Elkin Mario Ortiz Lopez	Nombre del autor: Luis Hernando Rivera Chalapud
 Nombre del asesor: William Andrés Arévalo Terán	