



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL
DE HUMEDAD BASADO EN UN CONTROLADOR LÓGICO
PROGRAMABLE PARA PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE
HIDROPÓNICO EN LA COMUNIDAD SANTA ROSA DE
CHACCHA - DISTRITO DE QUILCAPUNCU – PROVINCIA DE
SAN ANTONIO DE PUTINA - REGIÓN PUNO 2022**

TESIS

PRESENTADA POR:

ELMER MOYA CONDORI

JOSÉ DOMINGO HUAMÁN QUISPE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRÓNICO

PUNO – PERÚ

2024



ELMER MOYA CONDORI JOSE D. HUAMAN QUISPE

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE HUMEDAD BASADO EN UN CONTROLADOR LÓGICO PROG...

 Universidad Nacional del Altiplano

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid::8254:415414668

141 Páginas

Fecha de entrega
12 dic 2024, 10:12 a.m. GMT-5

20,766 Palabras

Fecha de descarga
12 dic 2024, 11:20 a.m. GMT-5

111,432 Caracteres

Nombre de archivo
REPOSITORIO TESIS - ELMER Y JOSE[1].docx

Tamaño de archivo
9.6 MB





15% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para el documento.

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 12 palabras)

Fuentes principales

- 13% Fuentes de Internet
- 1% Publicaciones
- 5% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

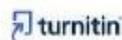
No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Dr. James Rolando Arredondo Mamani
INGENIERO ELECTRONICO
CIP. 122404

MIGUEL LUIS VALENCIA VILCA
SUB DIRECTOR DE INVESTIGACION
EPIE





DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo investigativo a mis padres Senovio Moya Mamani y Carmen Condori de Moya, quienes siempre han estado conmigo apoyándome en las buenas y en las malas, por su sacrificio, amor y apoyo incondicional en todos estos años y gracias a ellos, que, con sus enseñanzas, y consejos he logrado llegar hasta aquí y cumplir una de mis tantas metas anheladas.

Elmer Moya Condori



DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres Pedro Huamán Choquepata y Nicolaza Quispe Turpo, por su amor, apoyo y aliento en todo momento. Gracias por ser mi fuente de inspiración y por enseñarme a perseguir mis sueños con pasión y determinación. Este logro no habría sido posible sin su constante apoyo y confianza en mí.

A la Universidad Nacional del Altiplano y a sus docentes que impartieron clases en las aulas. Se mostraron todos sus conocimientos y valores, permitiendo una información completa. En mí y en muchos de mis compañeros, por eso agradezco mucho a ustedes, nuestros docentes.

José Domingo Huamán Quispe



AGRADECIMIENTOS

A la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica por forjarnos profesionalmente, en especial a los docentes, compañeros que impartieron conocimientos y compartieron grandes vivencias que quizás no se vuelvan a repetir, pero siempre quedaran en un hermoso recuerdo de nuestros mejores años vividos, por eso y más mil gracias a ustedes. Principalmente agradecemos a Dios quien nos ha guiado, también agradecemos a nuestras familias por su comprensión y apoyo incondicional a lo largo de nuestros estudios universitarios. Y a todas las personas de una u otra forma nos apoyaron en la realización de este trabajo.

José Domingo Huamán Quispe

Elmer Moya Condori



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	19
ABSTRACT.....	20
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	22
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	23
1.2.1. Problema general.....	23
1.2.2. Problema específico	23
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	23
1.3.1. Objetivo general	23
1.3.2. Objetivos específicos.....	23
1.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	24
1.4.1. Hipotesis general	23
1.4.2. Hipotesis específicos.....	23
1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	24



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1.	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	26
2.1.1.	Nivel internacional	26
2.1.2.	Nivel nacional	29
2.1.3.	Nivel local	30
2.2.	MARCO TEÓRICO	31
2.2.1.	La hidroponía	31
2.2.2.	Ventajas y desventajas de la hidroponía	32
2.2.3.	Tipos de sistemas en hidroponía	33
2.2.4.	Sistema de invernadero	37
2.2.5.	Condiciones para mantener en un invernadero	38
2.2.6.	Sistemas de control de elementos en un invernadero.....	39
2.2.7.	Tecnología electrónica en la hidroponía	41
2.2.8.	Sistemas de control de humedad en un invernadero	42
2.2.9.	Controlador lógico programable (PLC)	43
2.2.10.	Componentes de un PLC.....	45
2.2.11.	Programación de los PLC.....	55
2.2.12.	Producción de forraje Hidropónico	57
2.2.13.	Tiempo de producción.....	58
2.2.14.	Humedad relativa óptima para la producción de forraje verde hidropónico	58
2.3.	MARCO CONCEPTUAL	59
2.3.1.	Invernadero.....	59
2.3.2.	Agua	59



2.3.3. Sistema de control	60
2.3.4. Automatización	60
2.3.5. Forraje	60
2.3.6. voltaje de 0 a 10 V.....	60

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO	62
3.1.1. Ubicación geográfica.....	62
3.1.2. Accesibilidad.....	62
3.2. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	63
3.2.1. Tipo de investigación	63
3.2.2. Diseño de la investigación.....	64
3.2.3. Nivel de investigación.....	65
3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	66
3.3.1. Población.....	66
3.3.2. Muestra.....	66
3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	67
3.4.1. Instrumentos de recolección de datos.....	67
3.4.2. Procedimiento de recolección de datos	70
3.4.3. Datos de humedad mediante riego convencional	72
3.4.4. Datos de humedad mediante riego automático implementado.....	74
3.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS	78



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. PONER EN FUNCIONAMIENTO EL SISTEMA DE CONTROL DE HUMEDAD DE LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE HIDROPÓNICO	80
4.1.1. Diagrama eléctrico 2D del sistema.....	81
4.1.2. Plano P&ID	84
4.1.3. Escalamiento de datos para el PLC	86
4.1.4. Normalización de datos para del PLC.....	87
4.1.5. Comunicación y configuración de dispositivos	87
4.1.6. Obtención de datos mínimos y máximos del sensor para el sistema a automatizar	88
4.1.7. Descripción del diagrama de flujo	94
4.1.8. Diseño de programa Ladder para PLC.....	95
4.1.9. Programación Ladder para el PLC	96
4.1.10. Descripción del programa Ladder	97
4.2. COMPROBAR LA EFICIENCIA EN LA OBTENCIÓN EN CANTIDAD DEL FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO FRENTE AL RIEGO CONVENCIONAL	99
4.2.1. Control de peso (gr) con riego automático de los forrajes hidropónicos	99
4.2.2. Control de peso (GR) con riego convencional de los forrajes hidropónicos	102
4.2.3. Comprobación de mejora peso del forraje verde hidropónico con diferentes tipos de riego	105
4.2.4. Control de tamaño (cm) con riego automático de los forrajes hidropónicos	108



4.2.5. Control de tamaño (cm) con riego convencional de los forrajes hidropónicos	110
4.2.6. Comprobación de mejora de tamaño (cm) según el tiempo de producción del Forraje Verde Hidropónico.	112
4.3. DISCUSIÓN	115
V. CONCLUSIONES.....	118
VI. RECOMENDACIONES	120
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	122
ANEXOS.....	127

Área: Ingeniería electrónica

Tema: Automatización e instrumentación

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 20 de diciembre del 2024



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Rutas de acceso al lugar de estudio.....	63
Tabla 2 Valores de humedad de un riego convencional en promedio de 15 días	72
Tabla 3 Valores de humedad en términos de voltios (VDC) y porcentaje a lo largo de 24 horas.	74
Tabla 4 Valores de humedad en términos de voltios (VDC) y porcentaje a lo largo de 15 días	76
Tabla 5 Dirección de variables digitales	95
Tabla 6 Resultado de peso en gramos de producción de forraje con riego automático	99
Tabla 7 Resultado de peso en gramos de producción del forraje con riego convencional	102
Tabla 8 Comportamiento del peso de las plantas con riego convencional hidropónico	104
Tabla 9 Estadística de comparación de medias del peso de forraje hidropónico en gramos.....	105
Tabla 10 Comparación de peso de forraje de hidropónico (gr) según tipos de riegos mediante T de Student	106
Tabla 11 Comportamiento del peso de las plantas con riego automatizado hidropónico	108
Tabla 12 Resultado de talla promedio de producción del forraje con riego convencional	110
Tabla 13 Estadística de comparación de medias del tamaño de forraje hidropónico en centímetros.....	112



Tabla 14	Comparación del tamaño de forraje de hidropónico (cm) según tipos de riegos mediante T de Student.....	113
-----------------	--	-----



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Sistema de hidroponía en flotación.....	34
Figura 2 Sistema NFT	35
Figura 3 Sistema en Aeroponía	35
Figura 4 Técnica de flujo y reflujó.....	36
Figura 5 Estructura general del sistema invernadero	38
Figura 6 Esquema de bloques del sistema de control a lazo abierto	40
Figura 7 Esquema de bloques del sistema de control a lazo cerrado	40
Figura 8 Tecnología electrónica	42
Figura 9 La estructura física del PLC s7-1200 CPU	44
Figura 10 Sensor de humedad del suelo HTC SOIL Moisture Integrated Sensor.....	48
Figura 11 Micro aspersor de riego 360°	49
Figura 12 Bandeja	50
Figura 13 Llave Termo magnético bipolar 16.....	51
Figura 14 Contactor CHINT 12A y relé térmico CHINT	52
Figura 15 Selector y Pulsador	53
Figura 16 Pilotos leds y Pulsador de tipo hongo	54
Figura 17 Electrobomba de 1/2 HP	55
Figura 18 Instalación del sensor de humedad en campo	68
Figura 19 Instalación del controlador lógico programable (PLC) en campo.....	69
Figura 20 Extracción de datos del controlador lógico programable (PLC) al Microsoft Excel	70
Figura 21 Valores del promedio de la humedad relativa en 15 días	73
Figura 22 Humedad relativa con el control automático durante 24 horas.....	75



Figura 23	Humedad relativa con el control automático durante 15 días	78
Figura 24	Diagrama de bloques para el sistema de control de humedad para el riego del forraje verde hidropónico.....	80
Figura 25	Plano eléctrico para un sistema automatizado de control de humedad.....	82
Figura 26	Plano eléctrico para sistema de fuerza.	83
Figura 27	Plano P&ID	85
Figura 28	Escalamiento de datos para el PLC.....	86
Figura 29	Normalización de datos para del PLC.....	87
Figura 30	Comunicación y configuración de dispositivos	87
Figura 31	Configuración, definición de la IP para PLC.....	88
Figura 32	Respuesta del sensor de humedad a una bandeja seca.	89
Figura 33	Respuesta del sensor de humedad a una bandeja sumergida en agua	89
Figura 34	Control ON-OFF con hysteresis y sin hysteresis	90
Figura 35	Definición de SET POINTS.....	91
Figura 36	PV respecto al control ON-OFF.	92
Figura 37	Respuesta del sensor al control ON-OFF con histéresis escalado	92
Figura 38	Diagrama de flujo de automatización	93
Figura 39	Interfaz del software TIA PORTAL V16	96
Figura 40	Programación Ladder para el PLC Main [OB1]	96
Figura 41	Programación Ladder para el PLC - SCALE [FB1]	97
Figura 42	Programación Ladder para el PLC - HISTERESIS [FB2].....	97
Figura 43	Comportamiento del peso de las plantas con riego automatizado hidropónico	101
Figura 44	Evidencia de crecimiento homogéneo y pesado en los forrajes.....	102



Figura 45 Evidencia de irregularidades en el crecimiento y otras falencias en el riego convencional	104
Figura 46 Comportamiento del peso de las plantas con riego automatizado hidropónico	109
Figura 47 Proceso de medición y homogeneidad de las plantas	109
Figura 48 Comportamiento de la talla promedio de las plantas con riego convencional hidropónico	111
Figura 49 Irregularidades en el crecimiento de los forrajes con riego convencional.	111



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexos 1 Plano general de diseño de invernadero.....	127
Anexos 2 Costo total de construcción de material hidropónica.....	128
Anexos 3 Costo total de construcción de material parte eléctrica.....	129
Anexos 4 Costo total de construcción de material infraestructura del invernadero...	130
Anexos 5 Intervalos de confianza de análisis de varianza (T de Student), para peso de forraje.....	132
Anexos 6 Intervalos de confianza de análisis de varianza (T de Student), para talla promedio de forraje.....	133
Anexos 7 Evidencias fotográficas de sembrío del forraje a sembrar.....	134
Anexos 8 Evidencias fotográficas de configuración y puesta en funcionamiento.....	136
Anexos 9 Declaración jurada de autenticidad de tesis.....	138
Anexos 10 Autorización para el depósito de tesis en el Repositorio Institucional.....	140



ACRÓNIMOS

PLC:	Controlador Lógico Programable
FVH:	Forraje Verde Hidropónico



RESUMEN

El cultivo de forraje verde hidropónico debe optimizarse en términos de producción y calidad, considerando los métodos de riego empleados. La elección entre riego automático y convencional es importante, por lo cual se plantea como objetivo general diseñar e implementar un sistema de control de humedad basado en un controlador lógico programable para producción de Forraje Verde Hidropónico en la Comunidad Santa Rosa de Chaccha. Siendo una investigación de tipo aplicada de diseño experimental, nivel experimental basado en un diseño de Controlador Lógico Programable (PLC) para el control de humedad al interior de un invernadero el cual nos permite controlar la variable dependiente de la humedad que varía de acuerdo con el Forraje Verde Hidropónico (FVH). El procesamiento de información se realizó mediante la prueba de T de Student. Demostrando en los resultados una mejora significativa ($p < 0,05$) en el peso, siendo el mejor peso con riego automático a los 15 días con 2876 gr. a diferencia de 1372 gr. con riego convencional en la misma cantidad de días. De la misma forma en altura o tamaño de forraje, en lo cual se obtuvo con riego automático a los 15 días con una altura de 22.4 cm a diferencia de 13 cm con riego convencional en el tiempo de producción del Forraje Verde Hidropónico. Concluyendo que: La implementación del sistema de control de humedad basado en un PLC para la producción de Forraje Verde Hidropónico en la Comunidad Santa Rosa de Chaccha ha demostrado no solo ser un enfoque innovador y eficiente para la automatización del riego, sino que también ha resultado en mejoras significativas en la producción de forraje.

Palabras Clave: Control, Forraje Verde Hidropónico, Humedad, PLC, Temperatura.



ABSTRACT

The cultivation of hydroponic green fodder must be optimized in terms of production and quality, considering the irrigation methods employed. The choice between automatic and conventional irrigation is important, which is why the general objective is to design and implement a humidity control system based on a programmable logic controller for the production of Hydroponic Green Forage in the Santa Rosa de Chaccha Community. Being applied research of experimental design, at the experimental level based on a Programmable Logic Controller (PLC) design for humidity control inside a greenhouse, which allows us to control the dependent variable of humidity that varies according to Hydroponic Green Fodder. (FVH). The information processing was carried out using the Student's T-test. Demonstrating in the results a significant improvement ($p < 0.05$) in weight, with the best weight being with automatic irrigation at 15 days with 2876 g, compared to 1372 g with conventional irrigation in the same number of days. Similarly, in terms of height or size of the forage, it was obtained with automatic irrigation at 15 days with a height of 22.4 cm compared to 13 cm with conventional irrigation during the production time of Hydroponic Green Forage. Concluding that: The implementation of the PLC-based humidity control system for the production of Hydroponic Green Forage in the Santa Rosa de Chaccha Community has proven to be not only an innovative and efficient approach to irrigation automation but has also resulted in significant improvements in forage production.

Key Words: Control, Hydroponic Green Forage, Humidity, PLC, Temperature.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La producción de forraje verde hidropónico se ha consolidado como una estrategia innovadora y sostenible en la agricultura moderna, especialmente en regiones donde los recursos hídricos son limitados. En este contexto, la adecuada gestión de la humedad se convierte en un factor crítico para garantizar el óptimo crecimiento y desarrollo del forraje, lo que repercute directamente en la calidad y cantidad del alimento disponible para el ganado. La comunidad de Santa Rosa de Chaccha, ubicada en el distrito de Quilcapuncu en la provincia de San Antonio de Putina, en la región de Puno, enfrenta desafíos significativos relacionados con la producción agrícola en un entorno con condiciones climáticas variables y limitaciones hídricas. Este proyecto propone el diseño e implementación de un sistema de control de humedad basado en un controlador lógico programable (PLC), que permitirá automatizar y optimizar el riego en la producción de forraje verde hidropónico. El uso de tecnología avanzada no solo busca mejorar la eficiencia en la utilización del agua, sino también aumentar la productividad del cultivo, brindando así un aporte significativo a la seguridad alimentaria de la comunidad. A través de esta investigación, se pretende contribuir al desarrollo de prácticas agrícolas más sostenibles y tecnificadas, que respondan a las necesidades de los agricultores locales y fomenten el bienestar del ganado en la región.

La investigación se presenta bajo la estructura siguiente:

En el capítulo I: Introducción, se presenta el planteamiento del problema, formulación, objetivos e hipótesis de investigación.



En Capítulo II: Revisión de literatura, presentando los antecedentes de investigación, marco teórico y conceptual.

En el Capítulo III: Materiales y métodos, donde se especifica la ubicación de estudio la metodología, la población, las técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Capítulo IV: Se presenta los resultados y discusiones

Y finalmente, las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Uno de los problemas más ineficientes en el riego convencional aplicado a la producción del forraje verde hidropónico en la comunidad de Santa Rosa de Chaccha, distrito de Quilcapuncu, provincia de San Antonio de Putina, región Puno. específicamente en el cultivo de forraje verde hidropónico, hay una notable carencia de estudios relacionados con la implementación de sistemas automatizados que regulen y optimicen las medidas de humedad. Esta falta de información resulta un obstáculo considerable, ya que la gestión adecuada de la humedad es crucial para el crecimiento y desarrollo óptimo del forraje verde hidropónico.

Actualmente, los métodos empleados por los pobladores de esta zona para cultivar forraje verde hidropónico son predominantemente tradicionales; provocando este mal uso de recursos hídrico, escasa producción y la presencia indispensable de un operador que tenga que realizar dicha procesó de manera manual todos los días generando carga de tiempo en ellos.

Por ello se pretende implementar un sistema de control de humedad en dicho invernadero es una necesidad para obtener mejores resultados, además este proyecto ayudara el rendimiento y el tiempo de producción de Forraje Verde Hidropónico,



mediante la implementación de este sistema de control nos ayudara a disminuir el trabajo de mano de obra, consiguiendo resultados en poco tiempo.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema general

¿Cómo es un sistema de control de humedad basado en un controlador lógico programable para mejorar la obtención de forraje verde hidropónico en la Comunidad Santa Rosa de Chaccha?

1.2.2. Problema específico

- ¿Es posible poner en funcionamiento el sistema de control de humedad en la obtención del Forraje Verde Hidropónico?
- ¿De qué manera se optimiza la obtención de la cantidad del forraje verde hidropónico frente al riego convencional?

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Objetivo general

Diseñar e implementar un sistema de control de humedad basado en un controlador lógico programable para obtención de Forraje Verde Hidropónico en la Comunidad Santa Rosa de Chaccha.

1.3.2. Objetivos específicos

- Poner en funcionamiento el sistema de control en la obtención del Forraje Verde Hidropónico.
- Comprobar la eficiencia en la obtención en cantidad del forraje verde hidropónico frente al riego convencional.



1.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Hipótesis general

El diseño e implementación de un sistema de control de humedad al interior de un invernadero permitirá controlar la variable dependiente como la humedad de acuerdo con el Forraje Verde Hidropónico.

1.4.2. Hipótesis específico

- El funcionamiento del sistema de control mejorará en la obtención del Forraje Verde Hidropónico.
- Con la implementación se comprobó la eficiencia en la obtención en cantidad del forraje verde hidropónico frente al riego convencional.

1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño práctico y la implementación del control de humedad basado en Controlador Lógico Programable (PLC), en la comunidad de Santa Rosa de Chaccha ofrecerán de alguna manera una solución a las urgencias locales que exigen una mejor producción de forrajes. La ausencia de medios eficientes de riego y las variaciones en el clima son problemas importantes para los agricultores de la región. Al instalar un sistema automatizado, se minimiza el consumo de agua y, por lo tanto, los costos operativos, y se pueden optimizar los rendimientos de los cultivos, lo que tiene un impacto positivo en la economía local. La instalación de esta tecnología motivará a los agricultores a adoptar prácticas agrícolas sostenibles y mejorará la seguridad alimentaria en la comunidad al aumentar el nivel de producción de alimentos.

El proyecto seguirá varias etapas: comenzando con la medición y evaluación de las condiciones locales, diseño del sistema de control, instalación y finalmente puesta en



funcionamiento. Las pruebas incorporarán un enfoque experimental hacia varias configuraciones del sistema de control de humedad, Esto también se complementará con mediciones y análisis constantes que ajustarán el sistema a parámetros óptimos de riego y humedad. La metodología que se seguirá no solo garantizará la facilidad de implementación del proyecto, sino que también será un aporte para la generación de conocimientos para futuras iniciativas tecnológicas en la agricultura de la zona.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. Nivel internacional

Oñate (2022), realizó un estudio denominado “Implementación de un sistema de integración curricular presentado como requisito para la obtención del título de tecnólogo superior de electromecánica” cuyo objetivo fue “desarrollar e implementar un sistema piloto de forrajes verdes de hidropónico vertical”, estudio desarrollado desde la metodología de tipo aplicada y experimental, donde realizó el levantamiento de información de pastizales, dimensionamiento del sistema de riego y el diseño del programa y sistema de control elaborados de acuerdo a los requerimientos y riesgos automatizados, concluyendo que se determinó que los cultivos hidropónicos con una alternativa buena tanto para la siembra como la producción de forrajes verdes en lugares que se dedican a la ganadería donde existen diversos factores como es la clima donde existen periodos de lluviosa y segúas entre otros por lo que el forraje verde con hidropónico es una alternativa adecuada de esta manera pueden tener forraje verde en todo el año, además es importante resaltar que esta técnica brinda productos de calidad con valores proteicos elevados.

Espinosa y Cerón (2022), realizaron una investigación denominada “Diseño e implementación de un sistema electrónico para cultivo hidropónico autónomo utilizando energía solar” cuyo objetivo fue “elaborar e implementar un sistema electrónico para cultivo hidropónico automatizado empleando energía



solar que facilite el ahorro de recursos y mejorar la producción de cultivos” estudio elaborado desde la metodología de tipo mixto, aplicada y de campo, experimental, donde siguieron fases, llegando a concluir que el sistema electrónico empleado demostró factibilidad a nivel económico como tecnológico, dado que redujo gastos los gastos al mínimo como el consumo eléctrico, asimismo permitió desarrollar un sistema de control facilitando obtener datos sincronizados, cultivos y procesar a través de una plataforma web IoT por lo que puede aplicar a cultivos hidropónicos.

Llugsha y Moreno (2020), realizaron un estudio titulado “Diseño de un módulo de cultivos Hidropónico de forrajes verdes para la crianza de animales de corral sustentado en IoT”, cuyo objetivo fue “elaborar un módulo de cultivos hidropónicos automatizados sustentado en IoT para mejoramiento de producción de Forrajes verdes a través del control de humedad y temperatura”, estudio elaborado desde la metodología de tipo mixto, experimental, descriptivo y de campo, concluyendo que se logró elaborar y automatizar un sistema de monitoreo que tengan control de determinantes como la luz, humedad, temperatura y CO₂ en las márgenes establecidos para el crecimiento adecuado del Forraje verde hidropónico mediante el control de determinantes climatológicas donde se optimicen y mejore el crecimiento de los forrajes debido que las intervenciones facilitan prevenir el proliferación de placa, quemadura, deshidratación de los cultivos, asimismo, mediante los ensayos ejecutados se evidenció ventajas importantes de esta técnica dado que aporta al mejoramiento de producción en periodo corto y de esta manera lograr ganancias altos.

Lizcano y Santos (2019), en su artículo de investigación titulado “Automatización de la producción de Forraje verde hidropónico y abono orgánico



en la granja Cunícola Autosustentable en el Municipio de Mutiscua - Colombia” cuyo objetivo fue “implementar la automatización de una granja cunícola autosustentable localizada en el municipio de Mutisca – Norte de Santander” donde la metodología empleada fue pre experimental, donde el proceso de automatización involucra dos procedimientos, concluyendo que el sistema de automatización tuvo valores esperados y con ello resultados favorables, dado que facilitó el suministro la cantidad agua de forma automática en el invernadero, asimismo mediante esta técnica no es necesario aplicar químicos en gran cantidad por lo que esta debe ser mínima al momento de implementar un lombricultivo para producir forrajes verdes hidropónicos, además, solo se necesitó un panel solar para el ahorro de energía por tanto es una alternativa ecológica.

Murcia y chacón (2018), realizó un estudio denominado “Diseño del sistema automático de cultivo hidropónico para la producción del forraje verde” cuyo propósito fue “diseñar un sistema automatizado de cultivos hidropónico para la producción de forrajes verdes de calidad alta, de esta manera brindar a los productores como una técnica alternativo” cuya metodología fue analítico – aplicada donde se elaboró un invernadero en la cual consideró factores ambientales como la humedad, temperatura, luz y CO₂ y el sistema de rehusó de aguas estimando una producción de 64 bandejas de forraje verde, de tal manera que se obtenga producción de 4 bandejas al día, considerando que el crecimiento de forrajes es de 15 días, concluyendo que el diseño de sistema automático es apto, debido que evidenció resultados favorables en cuanto a la producción de forrajes verdes, donde se encontró que el sistema de control empleado se encontró en medidas esperados, asimismo se localizó que el punto de referencia de control de humedad que intervino de manera significativa en la bandeja productiva de



forrajes verdes, donde se encontró un 50% de humedad aspectos que apporto de manera favorable en los resultados, en el primer ensayo se desarrolló mediante la ubicación de semillas de manera uniforme en las bandejas obteniendo resultados favorables producto de la radicular de semillas logrando pesos de 6.44 kg y 6.20 kg.

2.1.2. Nivel nacional

Parra (2019), en su estudio titulado “Implementación de un sistema controlador de factores climatológicos y cultivos de pitahaya hidropónica” cuyo objetivo fue “implementar un sistema de control de determinantes climatológicos y cultivos de pitahaya hidropónica” cuya metodología fue experimental – aplicada donde se utilizó software, sensores de control, concluyendo que se logró implementar un sistema hidropónico diseñado para controlar la utilización del agua y sus nutrientes a través de un medio recirculante de riegos, que permitió contribuir a posicionar los cultivos de las plantas en lugares reducidos donde el productor pudo observar y controlar de forma eficientes su crecimiento progresivo, convirtiéndose además como una oportunidad para ejecutar el control automático de los determinantes climatológicos que repercuten al cultivo, entre el sistema de control se eligió el sistema de realimentado debido que el proyecto fue sometido a evaluaciones y monitoreo constante al día por lo que necesita la actualización de valores de sensores con la finalidad de que el software elaborado intervenga y actúe en el periodo para reajustar el grado de humedad, temperatura que repercute los cultivos hidropónicos de forma directa, de esta manera se logró tener un sistema de control optimo y fiable.



Astudillo (2016), realizó un estudio titulado “Diseño e implementación de un sistema de control de temperatura y humedad para el cultivo de lechuga Hidropónico” cuyo objetivo fue “elaborar y ejecutar un sistema que permita controlar la humedad y temperatura para los cultivos de lechugas hidropónicas, asimismo un sistema de carga de paneles solares para el sistema tenga autosostenibilidad”, elaborado desde la metodología aplicada, experimental donde se empleó ensayos, concluyendo que la elaboración y diseño del sistema de control tuvo resultados favorables, dado que permitió realizar operaciones con fiabilidad mayor y sencilla, asimismo permitió describir el proceso de comúnmente son desarrollado para la automatización de los proceso, asimismo es importante el conocimiento de los componentes, características, restricciones y funciones de los proceso que serán automatizados, respecto al control de cascada este presentó mejoras en cuanto a la estabilidad de variables de proceso como una sintonización óptima del controlador en el retroalimentado.

2.1.3. Nivel local

Pacco (2018), realizo un estudio denominado “Producción de forraje verde hidropónico de cebada y avena con adición de fitohormonas en Cabana - Puno” cuyo propósito fue “identificar la mejor especie forrajera entre la producción de forraje verde hidropónico de cebada y avena, con adición de fitorreguladores orgánicos en Cabana - Puno” estudio de carácter cuantitativo, experimental, concluyendo que la cebada tiene valor de forraje verde hidropónico mediante la aplicación de Biogyz (F3) con 96,04%, seguido de 95.22% de F1 Seaweed Creme, con relación a la avena, con Seaweed Creme (F1) se tuvo 81.47%, seguido de Biogyz (F3) con 80.68%. En altura de planta, la cebada con la aplicación de Biogyz (F3) se tuvo 17.47 cm, seguido de Seaweed Creme (F1) con 16.83 cm;



mientras en avena, con la aplicación de Biogyz (F3) se tuvo 15.27 cm, seguido de Seaweed Creme (F1) con 14.30 cm.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. La hidroponía

Es definido como la técnica de cultivos sin hacer uso de la tierra, es decir, es una técnica donde la tierra es reemplazado por un sistema de regadíos con agua y mineral, por tanto la hidroponía involucra el uso de sustratos inertes como cascarillas y arenas, entre otros elementos, que permiten dar el soporte al proceso de siembra de forrajes verdes y cultivos, dado que comprende llevar agua con soluciones nutritivas que son regadas continuamente en las raíces de las plantas a través del cual se dota los nutrientes que requeridos para que puedan desarrollarse y crecer (Parra, 2019). Asimismo, Beltrano y Gimenez (2015), agregan que la hidroponía es una modalidad de manejo de cultivos sin el uso del suelo, a través del cual se cultivan plantas aprovechando áreas y lugares no convencionales como invernaderos, suelos infértiles, azoteas, suelos escabrosos, entre otros, sin dejar de considerar los requerimientos como agua, luz, sol, temperatura y nutrientes.

Por otro lado, Barbado (2005), menciona que la hidroponía es catalogado como la ciencia de cultivos de arbustos y forrajes sin utilizar la tierra, en lugares inertes como es las turbas, arenas gruesas, aserrín, vermiculita, entre otros, donde se agregan ciertos nutrientes que contienen la totalidad de componentes importantes necesarios por la planta para su crecimiento adecuado, por tanto, es una actividad que tiene contribución importante en lugares en áreas reducidos. Asimismo, Mateus, et al. (2022), agrega que la hidroponía es una metodología de cultivos que es desarrollado como una forma de evitar que el suelo agrícola del



suelo se desgaste, por lo que facilita a las familias a cultivar algunos cultivos o forrajes verdes.

2.2.2. Ventajas y desventajas de la hidroponía

Diversos autores determinan que la hidroponía posee ventajas importantes, tal es así que Inga (2020), resalta los siguientes:

- Requiere de dedicar tiempo menor y no requiere esfuerzo mayor.
- La rotación de cultivos no es necesario.
- Las competencias nutricionales no existen.
- El desarrollo de la raíz cuenta con condiciones necesario para su crecimiento.
- Ya no existe perdida de agua en cantidad mayor, por lo que esta es mínima.
- Existe probabilidad menor de presentar malezas.
- El empleo de agroquímicos en menor.
- Un sistema que se adapta a lugares y sectores productivos no comunes.

Asimismo, es importante resaltar las ventajas que consideran Beltrano y Gimenez (2015), quienes determinaron lo siguiente:

- Existe reducción de costos.
- Los cultivos se encuentran libres de insectos, bacterias y de contaminación.
- Los fenómenos naturales son controlados.
- Facilita la producción de cultivos en todas las estaciones del año.
- Requiere de un lugar corto para su producción.



- Presenta ahorro en cuanto a costos de fertilizantes y plagas.
- Ya no es necesario la intervención de maquinarias como rastras, tractores, entre otros.
- El cultivo es manejo con higiene y limpieza correspondiente.
- Los cultivos producen lo antes posible.
- Los productos son de calidad alta.
- Existe el aceleramiento del cultivo.

Entre las desventajas que se determinaron de acuerdo a Gilsanz (2007), quien determinó los siguientes:

- Existe un costo mayor para su instalación.
- Se necesita tener conocimiento de la nutrición y fisiología de las plantas.
- Se necesita de agua de calidad para su riego.
- En caso de desbalances de nutrientes conllevan a impactos negativos al cultivo.

2.2.3. Tipos de sistemas en hidroponía

Considerando a López – Anchondo, et al. (2016), los sistemas de hidroponía agrupan los siguientes tipos:

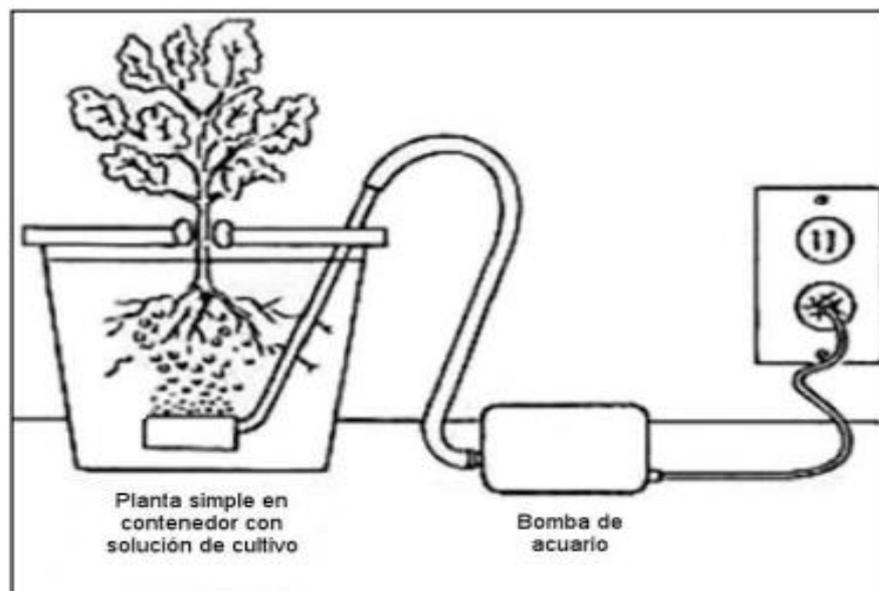
1.7.3.1. Sistemas abiertos

es uno de los sistemas tradicionales y antiguas que se empleaba para determinar los nutrientes que requería una planta, de manera general esta tipología de sistema comprende a aquellos sistemas caracterizadas por contar con raíces de cultivos al aire libre o sumergidos en las composiciones del agua, por lo que se hace uso de riesgo de aspersión.

Raíz flotante: es una de la metodología se emplea cuando la raíz se encuentra libre en el ambiente en la cual es cultivado, tal como Parra (2019), menciona que este sistema alude a la técnica donde se la raíz se mantiene inmersa de forma directa en la solución nutricional, por lo que debe ser aireada de manera periodos de esta forma brindar oxígeno a las raíces.

Figura 1

Sistema de hidroponía en flotación

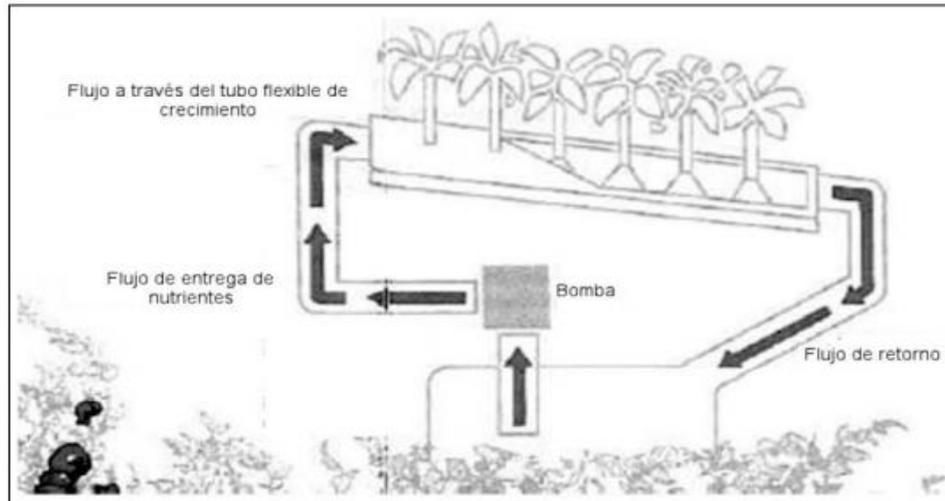


Fuente: López – Anchondo, et al. (2016).

Técnica de película de nutrientes: es otro de los sistemas reconocidos en la década de los 60, este sistema comprende en conservar una delgada capa de solución de nutrientes que recircula de manera continua en la raíz de la planta, por lo que estas crecen en canales de polietileno que presentan forma opaca para prevenir crecimiento de algas, donde las raíces son colocados en las raíces y se cubren de la luz donde la solución nutricional se pasa mediante el canal de flujo de 60 a 120 L.h⁻¹.

Figura 2

Sistema NFT

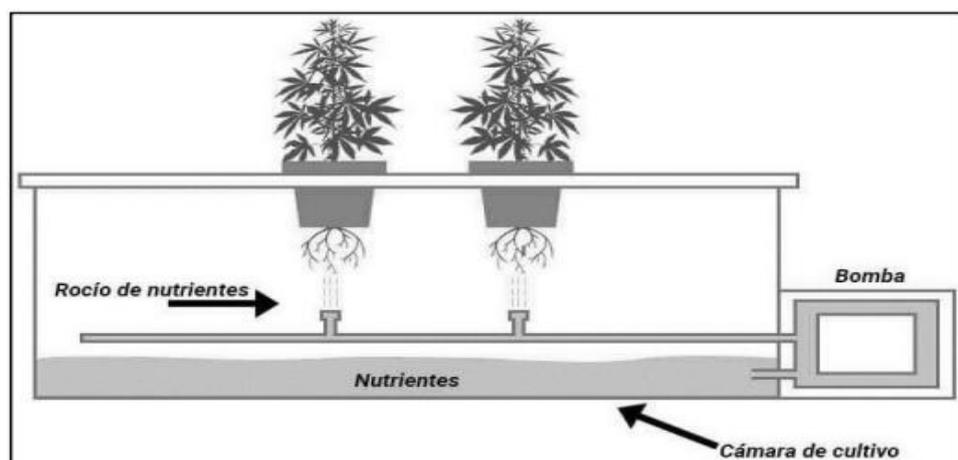


Fuente: López – Anchondo, et al. (2016).

Aeroponía: alude al sistema donde la raíz se encuentra al aire libre colgadas de la planta, las cuales pueden ser protegidos por cajas de vidrios o materiales parecidos a esta, además requieren de rociadores de manera periódica con la solución nutritiva a través de aspersión, entre su ventaja importante se encuentra maximización en cuanto al ahorro del agua.

Figura 3

Sistema en Aeroponía



Fuente: Parra (2019).

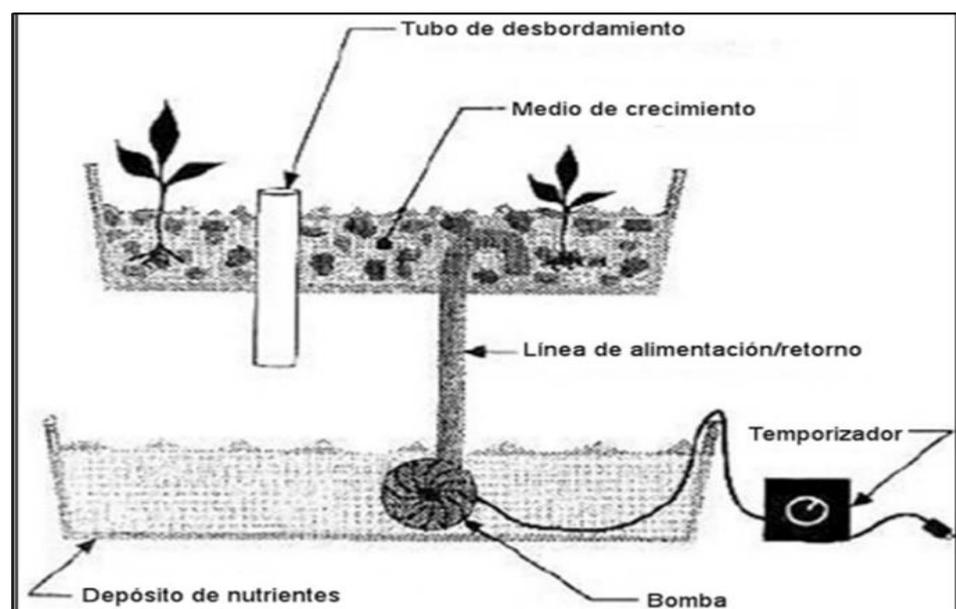
1.7.3.2. Sistemas cerrados

Comprende aquellos sistemas que son aplicados comúnmente, debido que emplea diversos tipos de sustratos inorgánicos y orgánicos demostrando factibilidad mayor para cultivos de tamaño menor y crecimiento rápido, asimismo, gracias a la forma de ejecución facilita la recuperación de masas nutrientes que son regados en las raíces para su circulación o reúso (Lacarra & García, 2011).

Técnicas de flujo y reflujo: es un sistema que comprende tener una cama de raíces, los que poseen un enraizamiento medio como arena, grava y un sumidero de solución nutricional en la cual aumenta de manera continua y de manera periódica para posterior ser frenado a través de la bomba eléctrica, para el proceso de drenaje se debe considerar equilibrios entre aire, agua y nutrientes el cual puede ocurrir varias veces por día.

Figura 4

Técnica de flujo y reflujo



Fuente: López – Anchondo, et al. (2016).



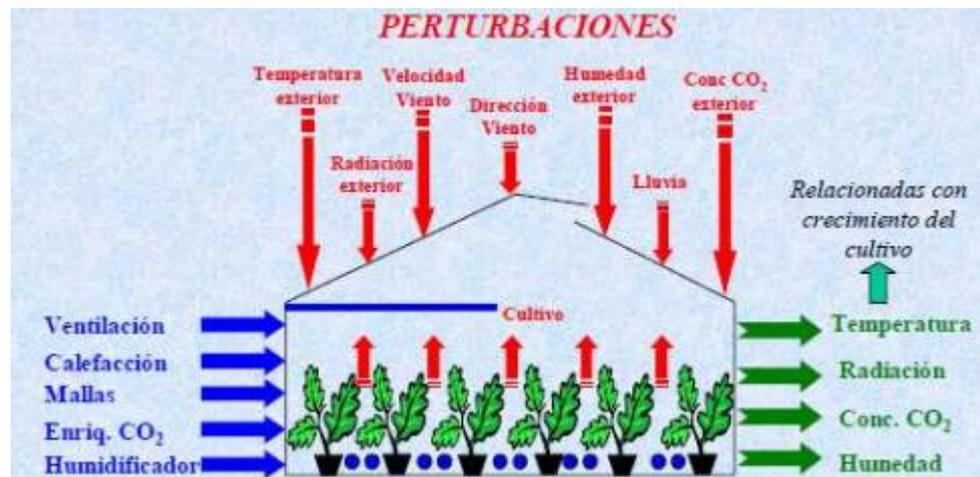
2.2.4. Sistema de invernadero

De manera general un invernadero es definido como un sistema alternativo para cultivar, dado que un invernadero como tal es un recinto cerrado donde se cultivan y es diseñado para proteger de diversos factores climatológicos que pueden afectar a los cultivos permitiendo tener control de estos determinantes generando un clima favorable. Asimismo, es un sistema que se emplea en la actualidad debido que generó un incremento de la producción de cultivos en diferentes estaciones del año, dado que su ventaja principal es que por su estructura protege de factores y determinantes que afectan a la producción, que en sus inicios se empleaba como una forma de proteger de plaga e insectos, pero actualmente es utilizado para diferentes fines (Mamani y otros, 2017). De igual forma, Llugsha y Moreno (2020), mencionaron que el sistema invernadero al igual que los demás sistemas facilita proteger cultivos, a través del control de determinantes climáticos que afectan el desarrollo normal de los cultivos, comprendiendo que crecimiento óptimo y equilibrado de cultivos depende mucho de la manera en cómo inciden los determinantes como iluminación, humedad, temperatura que pueden favorecer o no.

Por otro lado, Moreno (2011), menciona que un sistema invernadero comprende la construcción e instalación de una estructura cubierta donde el ambiente interno es controlado gracias a los recursos empleados y facilitan el paso de la luz solar, el hecho de controlar determinantes externos hace que este sistema proteja a los cultivos, se factores exógenos como de insecticidas y plagas, de esta manera cultivar en todo el año.

Figura 5

Estructura general del sistema invernadero



Fuente: Moreno (2011).

2.2.5. Condiciones para mantener en un invernadero

De acuerdo a Astudillo (2016), menciona que las condiciones para mantener un invernadero son las siguientes:

Temperatura: para que el invernadero tenga resultados óptimos es importante que la temperatura sea la adecuada de acuerdo al proceso de crecimiento del cultivo, como es en la germinación algunas situaciones germinan de manera relativa con la temperatura, por tanto, es importante conservar una temperatura optima debido que un cambio o alteración de la misma puede interrumpir el proceso de germinación e inclusive su crecimiento.

Humedad: es otra de las condiciones necesarios para conservar un invernadero, específicamente de la humedad de sustrato, es importante medir la humedad para el proceso de crecimiento de cultivos, debido que mantener humedad estable permitirá que la germinación sea optima y con ello existirá un crecimiento adecuado de la planta, asimismo, es importante considerar el riego que se emplea siendo favorables los pulverizadores o aspersores dado que este



tipo de riego no desplazan las semillas ni afectar los tallos débiles, pero es importante medirlos dado que su excesivo puede generar podredumbres.

Luz: otro de las condiciones para conservar un invernadero optimo es la luz, el cual dependerá del proceso de crecimiento del cultivo, entendiendo que el proceso germinación no requieren de luz par germinar, por tanto necesitan de oscuridad o luz neutra, en el proceso donde aparecen las cotiledones se requieren de luz, en caso de que exista insuficiencia de luz los cultivos crecen de manera débil y solo se alarga el tallo y en caso de que la luz sea excesivo pueden generar quemaduras posterior secarse por lo que una luz adecuada es importante.

2.2.6. Sistemas de control de elementos en un invernadero

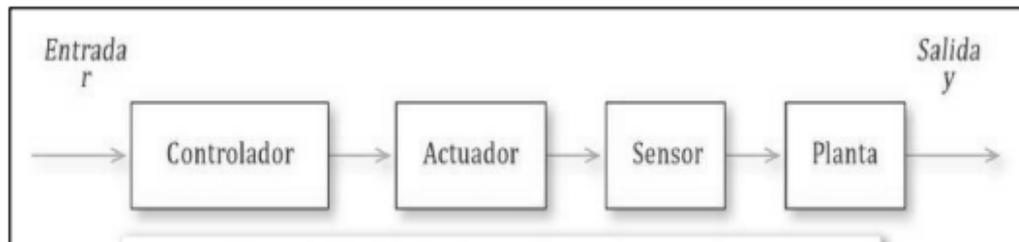
Al respecto, Parra (2019) menciona que los sistemas de control se encuentran conformados por una serie de elementos físicos las cuales se vinculan y se asocian entre sí, dado que están orientados a trabajar de forma conjunto sin que exista intervención de determinantes externos al grupo, dado que mediante estos sistemas de control se dirige y regula los cambios y alteraciones del funcionamiento de elementos, es decir, se busca el desarrollo del funcionamiento del sistema reduciendo el impacto originado por diversos determinados exógenos. Por lo tanto, el sistema de control debe ser estable contra las alteraciones que quieren variar el comportamiento establecido del sistema controlado, por tanto, estas deben ser eficientes en su desarrollo.

Sistema de lazo abierto: comúnmente es conocido como sistema simple debido que no consideran la retroalimentación de variables controladas hacia el controlador, realiza procedimientos sin emplear señales de salida garantizando la

estabilidad del sistema, lo que significa que no desarrolla comparaciones de las señales de salida y entrada.

Figura 6

Esquema de bloques del sistema de control a lazo abierto

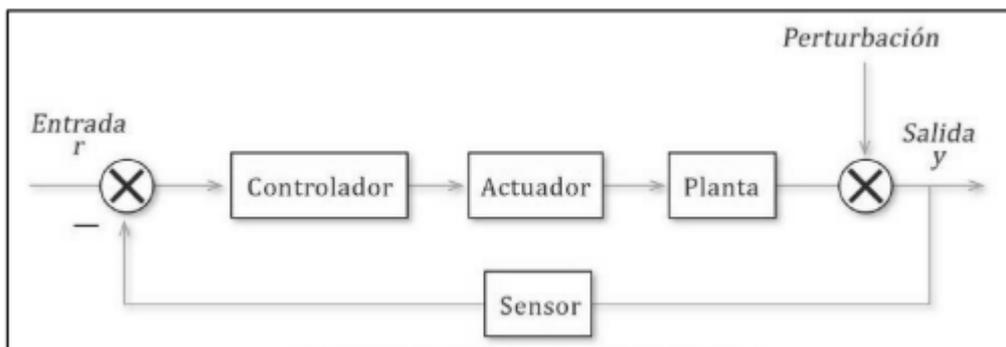


Fuente: Parra (2019)

Sistema de lazo cerrado: este tipo de sistema se diferencia de los demás por el análisis continua de variables sensadas realizando feedback para identificar de forma oportuna irregularidades que pueden presentarse y corregirla. Este sistema emplea una realimentación de datos, que se localiza desde el proceso hasta el sistema de control el cual facilita identificar una serie de actividades que requieran de acciones correctivas por lo que esta debe ejecutarse de forma eficiente.

Figura 7

Esquema de bloques del sistema de control a lazo cerrado



Fuente: Parra (2019).



Control por realimentación: este tipo de control es denominado también como el control de lazo cerrado que posee el propósito de ejecutar una comparación entre el valor de salida y controlado, que se caracteriza por realizar monitoreos correctivos de variables de estados de valores requeridos, por lo tanto, el control de sistemas autocorrectivos, debido que si existe alteraciones de valores de forma imprevista la realimentación identifica la alteración buscando su corrección.

2.2.7. Tecnología electrónica en la hidroponía

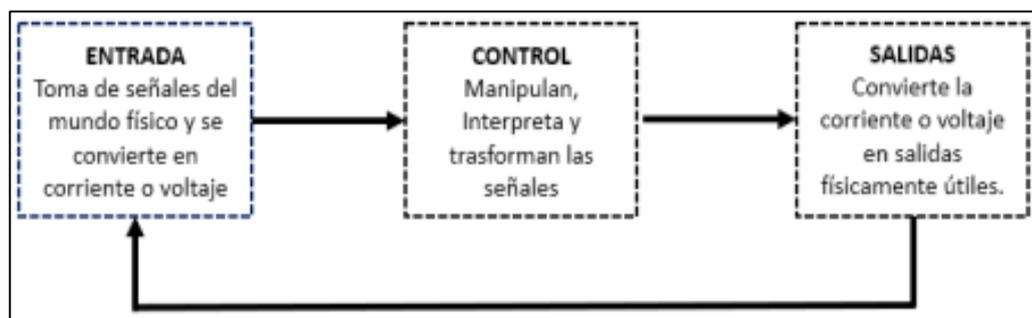
La tecnología cobra relevancia mayor en diferentes ámbitos y sectores, como es la agricultura dado que actualmente se incorpora tecnologías como una técnica que permite automatizar sistemas y procesos, además de que permite medir y monitorear variaciones y alteraciones que pueden darse en las propiedades del suelo de los cultivos a través de sensores (Paggi, 2013). Asimismo, Pérez (2018), quien mencionó que la implementación de tecnología electrónica en ámbito agrícola es una alternativa fundamental en la actualidad, una era donde existe avance de Tics a pasos agigantados, por tanto, puede tener impactos positivos en diferentes sectores como la agricultura donde puede mejorar condiciones en cuanto a la producción de cultivos y forrajes verdes. Urdiales – Ponce y Espín – Ortega (2018), agrega que la hidroponía facilita una alternativa de producción a costo bajo y mínimo, no obstante, para obtener resultados óptimos es importante tener un monitoreo, seguimiento y control constante que facilita la verificación de cuantificaciones propias de la producción.

Por otro lado, Beltrano y Gimenez (2015) agrega que la tecnología electrónica asume un rol importante en el proceso de hidroponía, dado que permite

monitorear su funcionamiento, por lo que este debe ser aprovechado dado que brinda softwares que permiten el control y desarrollo de tareas, asimismo las nuevas tecnologías están automatizando el cultivo hidropónico. Asimismo, Jinde (2022), agrega que la tecnología electrónica de en hidroponía comprende a una serie de circuitos que se asocian con la finalidad de emitir señales eléctricas, que comprende desde la etapa de entrada, el recojo de información externa como es la luz, humedad, temperatura, entre otros, asimismo la etapa de proceso en la cual se realizan las interpretaciones, en la cual se sistematizan , elaborar resultados que facilitan tomar decisiones de si activar o no los dispositivos de salida siendo esto la etapa final.

Figura 8

Tecnología electrónica



Fuente: Jinde (2022).

2.2.8. Sistemas de control de humedad en un invernadero

Por otro lado, es importante resaltar a Andrango (2020) quien resalta los siguientes sistemas de control de humedad:

Sensores mecánicos (por deformación) hace referencia al sensor que tiene ciertas particularidades en su funcionamiento debido que emplean recursos que reaccionan frente a la presencia de humedad. En caso de que se presenta el incremento de humedad dentro de las fibras de sensor estas cambian de tamaño



de manera considerable, es decir, se alargan generando deformación en los filamentos por lo que se requiere tomar datos con circuitos electrónicos o placas mecánicas buscando calibrar de acuerdo a la humedad existente en los filamentos.

Sensor de humedad volumétrica y temperatura de suelos: es otro de los aparatos que comprende una parte electromecánica que se pone comúnmente en el suelo donde se requiere la medición de temperatura y humedad, comprende en un capacitador de placas metálicas donde su capacitancia cambia de acuerdo a la humedad del ambiente y otro elemento importante a considerar es el circuito electrónico que facilita ejecutar las conversiones de valores de capacitancia a señales eléctricas pequeñas que deben ser procesados y transmitidos digitalmente.

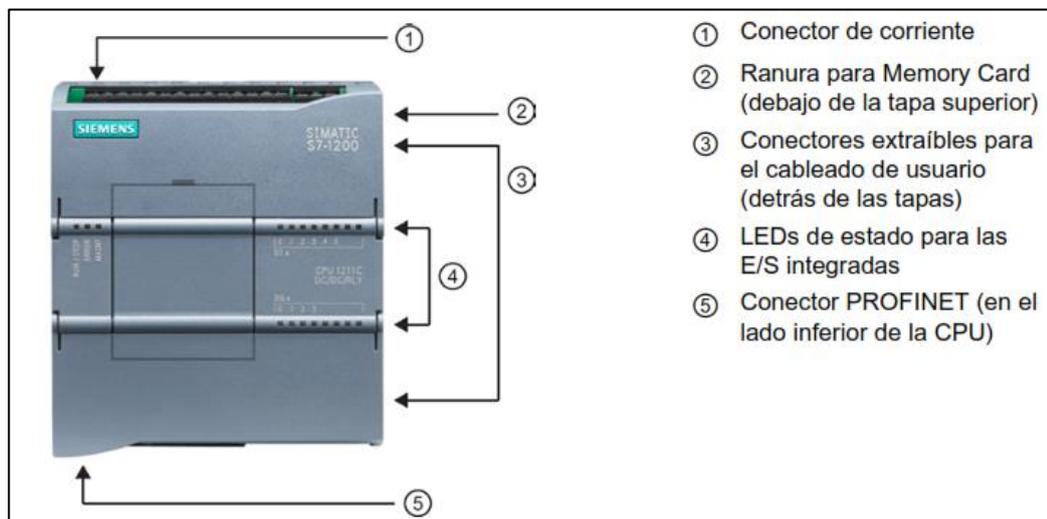
2.2.9. Controlador lógico programable (PLC)

Un PLC (controlador lógico programable) también conocido como autómatas programables es básicamente una computadora industrial la cual procesa todos los datos de una máquina como pueden ser sensores, botones, temporizadores y cualquier señal de entrada. Para posteriormente controlar los actuadores como pistones, motores, válvulas, etc. y así poder controlar cualquier proceso industrial de manera automática (Securitech, 2023).

La estructura física del PLC se detallan las diferentes partes en la figura:

Figura 9

La estructura física del PLC s7-1200 CPU



Fuente: extraída de SMATIC (2014).

1. Conector de corriente. - Es la entrada de la alimentación del PLC, el cual se va alimentar de 210-240 V en AC, también el PLC internamente cuenta con una fuente inversora para convertir la tensión de la red, de 220 V corriente alterna, a 24 V corriente continua. Siendo este la tensión de funcionamiento del circuito electrónico del PLC.
2. Ranura para memory card. - Se utiliza para insertar una tarjeta de memoria que permite almacenar programas, guardar copia de seguridad, transferir programas.
3. Conectores extraíbles o entradas y salidas. - Las borneras de entrada se encargan de la interconexión con los dispositivos industriales y los circuitos electrónicos de baja potencia. Mediante el cual se ejecuta el programa de control y Las borneras de salida es por donde se conectan los actuadores.
4. Leds de estado para las E/S integradas. - Son las luces que indican el estado o acción que está ejecutando el PLC



5. interface de comunicación. - nos permite la conexión y transporte de datos entre el PLC y otros equipos o sistemas, en la actualidad tenemos varios tipos de interfaces y protocolos que son; interfaz física RS-232, RS-485, ETHERNET y USB. Protocolos de comunicación: Modbus, Profibus, Profinet, EtherNet/IP y DeviceNet.

2.2.10. Componentes de un PLC

La procedencia de materiales utilizados fue financiada en su totalidad por los responsables de la investigación, siendo los siguientes los principales.

1.7.10.1. Tensión de alimentación

Se refiere a la diferencia de potencial eléctrico que se suministra a un dispositivo o sistema para que funcione. Es un término común en el campo de la electricidad y la electrónica. La tensión de alimentación que se utilizó fue de 120 V AC y 230 V AC

1.7.10.2. CPU-bloques

N.º de bloques (total) DBs, FCs, FBs, contadores y temporizadores. El número máximo de bloques direccionables es de 1 a 27648. No hay ninguna restricción, uso de toda la memoria de trabajo

1.7.10.3. Área de direcciones

El área de direcciones en electrónica se refiere a la manera en que los dispositivos electrónicos acceden y gestionan datos en la memoria o en otros componentes. Este concepto es fundamental en el funcionamiento de sistemas digitales, como computadoras y microcontroladores, y se



relaciona con cómo se organizan y utilizan las direcciones de memoria. En la investigación se usó entradas 1 024 byte y salidas 1 024 byte

1.7.10.4.Salidas digitales

Esto se refiere a la cantidad de señales de salida que el dispositivo puede generar. Las salidas digitales son señales que tienen solo dos estados posibles: encendido (alto) o apagado (bajo). Se utilizan para controlar dispositivos como relés, lámparas, motores, etc.

- Número de salidas 10.
- Relé Canales integrados (DO) 10.
- Protección contra cortocircuito No; a prever externamente.

1.7.10.5.Poder de corte de las salidas

Capacidad de un dispositivo para desconectar su salida cuando se supera un umbral establecido, protegiendo así el equipo y/o la carga conectada.

- Con carga resistiva, máx. 2 A.
- Con carga tipo lámpara, máx. 30 W con DC, 200 W con AC.

1.7.10.6.Longitud del cable

Especificaciones sobre la máxima longitud permitida para diferentes tipos de cables en un determinado sistema, posiblemente relacionado con la transmisión de datos o señales eléctricas. Aquí se desglosa cada punto:

- Longitud del cable apantallado, máx. 500 m.



- Longitud de cable no apantallado, máx. 150 m.

1.7.10.7. Entradas analógicas

Son interfaces que permiten que un dispositivo reciba señales continuas (en contraste con señales digitales, que son discretas). Estas señales pueden variar en un rango específico y son utilizadas comúnmente para medir variables físicas como temperatura, presión, desplazamiento, etc.

- N.º de entradas analógicas 2.
- Canales integrados (AI) 2; 0 a 10 V.
- tensiones 0 a +10 V.
- Longitud del cable apantallado, máx. 100 m.
- Dimensiones.
- Ancho 110 mm.
- Alto 100 mm.
- Profundidad 75 mm.

1.7.10.8. HTC SOIL Moisture Integrated Sensor

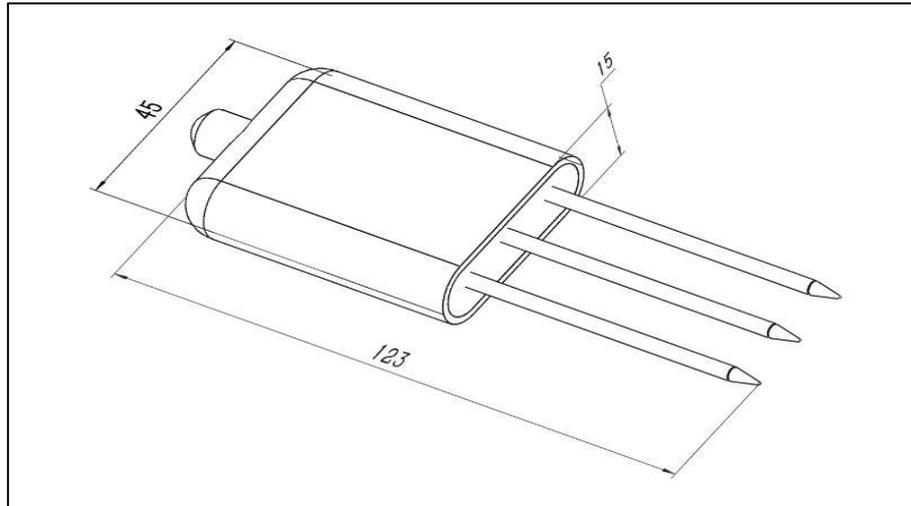
Es un dispositivo utilizado para medir la humedad en el suelo y que puede ser particularmente útil en aplicaciones agrícolas, ambientales y de jardinería. A continuación, se explican los diferentes puntos mencionados en la descripción:

- Voltaje de alimentación 10 - 30V DC.
- Señal de Salida. 0-10 V.
- Tiempo de respuesta <1s.

- Temperatura del suelo rango de medición - 40~80°C.
- Humedad del suelo rango de medición 0-100%HR.
- Conexión.

Figura 10

Sensor de humedad del suelo HTC SOIL Moisture Integrated Sensor



1.7.10.9. Brown (V +)

Este es el terminal positivo que se conecta a la fuente de alimentación. Black (GND): Este es el terminal de tierra (ground), que se conecta a la referencia de tierra del sistema. Yellow (O1): Este es el terminal de salida de la señal de humedad. Es donde se obtiene la señal que indica el nivel de humedad del suelo.

1.7.10.10. Electrobomba

Dispositivo diseñado para bombear agua u otros líquidos en diversas aplicaciones, como en sistemas de riego, suministro de agua potable, o en procesos industriales.

- Voltaje: 220v / 60 Hz.

- Potencia: monofásica de 0.5 HP.
- Caudal máximo: 130 L/min.
- Altura máxima de bombeo: 38 m.
- succión máxima: 7 m.
- presión máxima: 38 m.
- temperatura máxima de agua: 40 °C.
- Caudal máximo.

1.7.10.11. Micro aspersor de riego 360°

Es un dispositivo de riego que emite agua en un patrón circular, cubriendo un área completa alrededor de su punto de instalación. Es comúnmente utilizado en sistemas de riego por microaspersión para jardines, huertos, invernaderos y áreas agrícolas que requieren una cobertura uniforme con baja presión de agua.

Figura 11

Micro aspersor de riego 360°



1.7.10.12. Bandeja

Es un recipiente diseñado para cultivar forraje (como cebada, maíz, trigo o avena) sin necesidad de tierra, utilizando solo agua y nutrientes. Este sistema es ideal para producir alimento fresco y nutritivo para el ganado en un espacio reducido y con recursos mínimos.

- Material: Plástico resistente, generalmente de polipropileno, para mayor durabilidad y resistencia a la humedad.
- Tamaño: 53 x 32 x 4 cm.
- Perforaciones: todas bandejas tienen agujeros en el fondo para facilitar el drenaje del exceso de agua.

Figura 12

Bandeja



Fuente: <https://hydrocultura.com/collections/charolas-semilleros/charola-para-forraje-verde-hidroponico>.

1.7.10.13. Llave Termo magnético bipolar 16A

Es una llave termomagnética, también conocida como interruptor automático, es un dispositivo de protección eléctrica diseñado para interrumpir el flujo de corriente en un circuito eléctrico cuando detecta una sobrecarga o un cortocircuito. Su función principal es proteger tanto los

equipos eléctricos como a las personas de posibles daños causados por anomalías en la corriente eléctrica.

Figura 13

Llave Termo magnético bipolar 16



Fuente: Cludtec (2024).

1.7.10.14. Contactor

El contactor es uno de los componentes muy importantes para el control de la electrobomba, su función principal es la de cerrar unos contactos, para permitir el paso de la corriente de la corriente.

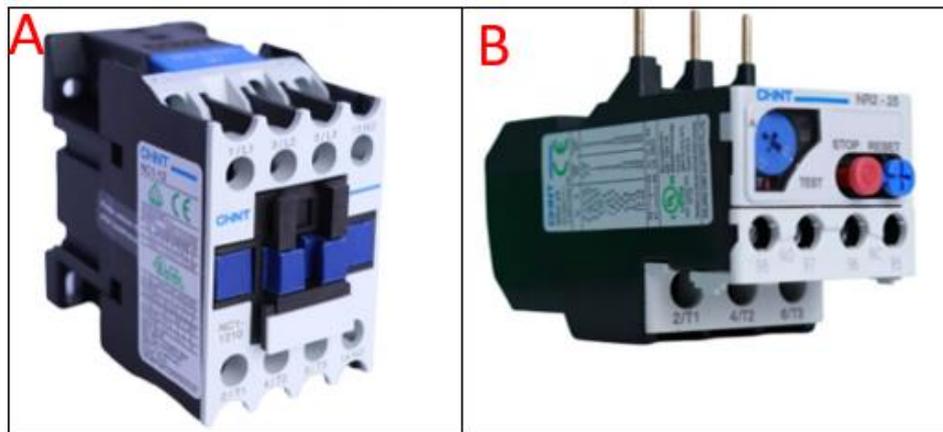
- Tensión nominal de la bobina.
- Corriente de carga inductiva.
- Corriente de carga resistiva.
- Montaje de relé.
- Número de polos.

1.7.10.15. Relé termino

Es uno los componentes indispensables para la protección del motor de sobrecargas y calentamientos excesivos.

Figura 14

Contactor CHINT 12A y relé térmico CHINT



Fuente: Cludtec (2024) A: Contactor CHINT 12A - 220V - NC1-1210, B: Relé Térmico CHINT - rango 0.63-1A - NR2-25.

1.7.10.16. Selector

Es un dispositivo electromecánico utilizado para controlar el flujo de corriente eléctrica en un circuito. Funciona como un interruptor multiposición, permitiendo seleccionar diferentes estados o configuraciones dentro de un sistema. En este caso, estamos hablando de un selector con 3 posiciones fijas.

1.7.10.17. Pulsador Eléctrico Verde – CHINT

Es un dispositivo electromecánico utilizado para iniciar o detener una acción en un circuito eléctrico. Al presionarlo, se establece o interrumpe el flujo de corriente, lo que desencadena una determinada función en un equipo o sistema. Son ampliamente utilizados en la

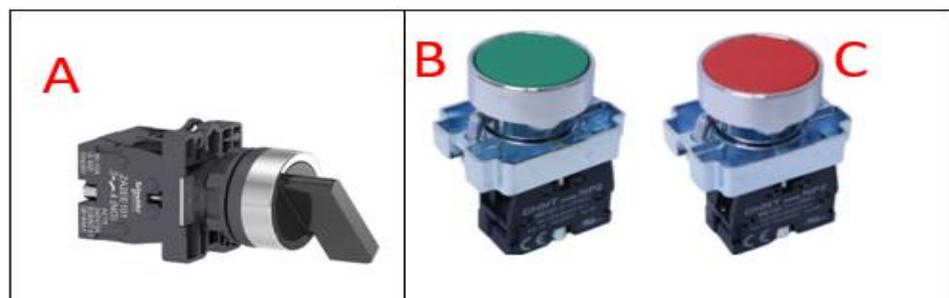
automatización industrial, maquinaria y control de procesos. CHINT es una reconocida marca en la industria eléctrica, que ofrece una amplia gama de componentes, incluyendo pulsadores. Un pulsador eléctrico verde CHINT es un tipo específico de pulsador que se caracteriza por:

Color: El color verde se utiliza convencionalmente en la señalización industrial para indicar una acción de "inicio" o "marcha".

Función: Al presionar este tipo de pulsador, se envía una señal eléctrica que activa un determinado circuito o proceso.

Figura 15

Selector y Pulsador



Fuente: Dartel y Cludtec (Tienda Industrial de Automatización, 2024), A: Selector 3 posiciones fijas 2NA 1-0-2 22MM Easy XA2, XA2EJ33, Schneider-Electric. B y C: Pulsador Eléctrico Verde y Rojo - CHINT

1.7.10.18. Pilotos leds

Un piloto o luz piloto es un dispositivo eléctrico que emite luz para indicar el estado de un circuito o equipo. Generalmente se utilizan como indicadores visuales para mostrar si un dispositivo está encendido, apagado, en modo de espera o si hay alguna alarma.

1.7.10.19. Pulsador de tipo hongo (parada de emergencia)

Es un componente eléctrico industrial comúnmente utilizado para controlar el encendido y apagado de circuitos o equipos. Su nombre se debe a su forma característica, similar a un hongo, y a su código de identificación, XB2-BS542.

Figura 16

Pilotos leds y Pulsador de tipo hongo



Fuente: (Electricos generales, 2024), A: Piloto multi led monobloque 220v DC/AC B: Pulsador Tipo Hongo XB2-BS542

1.7.10.20. Electrobomba de 1/2 HP

Una electrobomba de 1/2 HP (caballo de fuerza) es un dispositivo eléctrico diseñado para mover líquidos, como agua, de un lugar a otro. El término "1/2 HP" se refiere a la potencia que el motor eléctrico de la bomba puede generar.

Figura 17

Electrobomba de 1/2 HP



Fuente: (OEM, 2024).

2.2.11. Programación de los PLC

La programación de un PLC se realiza utilizando lenguajes de programación específicos. Los más comunes son:

Lenguaje Ladder: Simula el esquema de contactos de un relé, siendo el más utilizado debido a su fácil comprensión para técnicos electricistas.

Diagrama de funciones secuenciales (SFC): Representa gráficamente la secuencia de operaciones de un proceso.

Diagrama de bloques (FDB): Utiliza bloques funcionales para representar las operaciones.

Lista de instrucciones (IL): Similar a un lenguaje de programación de alto nivel, utiliza instrucciones textuales.

Texto estructurado (TS): También basado en texto, pero con una sintaxis más estructurada.



1.7.11.1. Tipos de señales utilizados

Los PLC trabajan con diferentes tipos de señales:

- Señales binarias: Representan un estado de encendido o apagado (0 o 1).
- Señales digitales: Codifican información numérica en formato binario.
- Señales analógicas: Representan magnitudes físicas continuas, como temperatura o presión.

1.7.11.2. Direccionamiento de entradas y salidas de un PLC

Cada entrada y salida de un PLC tiene una dirección única. Esta dirección se utiliza en el programa para acceder a su valor. El direccionamiento puede ser numérico o simbólico.

1.7.11.3. Representación de las cantidades binarias

Las cantidades binarias se representan utilizando las siguientes unidades:

- Bit: La unidad más pequeña de información, puede tener dos valores (0 o 1).
- Byte: Un grupo de 8 bits.
- Palabra: Un grupo de bits, generalmente 16 o 32, utilizado para representar números enteros o direcciones de memoria.



2.2.12. Producción de forraje Hidropónico

El forraje hidropónico es considerado como aquellos resultados del proceso de germinación de la semilla de leguminosa como la alfalfa, asimismo como las gramíneas que comprende la cebada, trigo, maíz y avena proceso que es ejecutado a través de la captación de la energía solar y la absorción de la disolución de nutrientes en una solución hidropónica sin hacer uso de la tierra (INIA, 2015). De igual manera, Zagal – Tranquilino, et al. (2016), agrega que “el forraje verde hidropónico es catalogado como un forraje vivo con calidad alta nutritivo y digestibilidad, aspectos que hacen que se le considere como un producto apto para el consumo de animales, donde su productividad comprende de la germinación de semilla, después se espera su crecimiento en condiciones favorables, dado que existe el control de determinantes que repercuten como el clima”.

Por otro lado, Inga (2020), agrega que la producción de forraje hidropónico es muy importante como una alternativa de afrontar los diversos fenómenos naturales que afectan los cultivos como el FV, por tanto es más común su empleabilidad en la producción de forrajes verdes en una clima variable, debido que el clima es considerado como un factor que repercute de manera negativa en productos y ganaderos, poniendo en necesidad de contar con un sistema que permita producir el forraje en diversas estaciones del año, de esta manera enfrentar la escasez de alimento de animales siendo un alternativa importante. A ello, Orjuela (2015), agrega que la producción de forraje hidropónico va más allá de solo afrontar la escasez de alimentos de animales dado que contribuye al mejoramiento de la producción de leche en vacas y ovinos.



2.2.13. Tiempo de producción

El tiempo de producción desde la técnica de hidroponía dependerá mucho del tipo de cultivo que se desea producir, en caso de forrajes verdes el tiempo de producción es de 15 a 18 días aproximadamente, dado que el proceso de producción comprende una secuencia de etapas a seguir y son las siguientes:

- Seleccionar semillas; comprende en elegir la semilla el cual depender de diferentes estándares como es la potencialidad, ambiental, económico, el lugar donde se cultivará y localizar el clima.
- Lavado y pre – germinación esta ocurre cuando la solución de hipoclorito de sodio es 1% que busca eliminar hongos u otras malezas.
- Germinación esto ocurre en las bandejas de cultivos, donde se esparce la forma uniforme las semillas, este proceso es importante que se mantenga en oscuridad,
- Crecimiento comprende en identificar las semillas germinadas en los estantes de desarrollo, donde la luz juega una función clave siendo óptimo la luz solar.
- Solución nutritiva donde se emplea minerales macro y micronutriente.
- La cosecha comprende el recojo del forraje entre 15 a 18 días donde el alcance de la altura del forraje llegue a 25 cm.

2.2.14. Humedad relativa óptima para la producción de forraje verde

hidropónico

Un factor ambiental importante que se debe examinar para la producción de forraje verde hidropónico es la humedad relativa. Esta humedad varía según el tipo específico de grano de forraje que se pretende cultivar. Se analizaron varios



estudios para establecer los niveles ideales y estas investigaciones se categorizaron en función del tipo de grano que se produce.

En el estudio realizado por Shaimaa et al. (2019) se observó que otro alto porcentaje de proteína se logró en la investigación de Ata (2016), donde se alcanzó un nivel de proteína de 22.5% a una humedad relativa que oscilaba entre 45% y 70%. Con respecto a los porcentajes de rendimiento, Kim et al. (2019) informaron un rendimiento máximo de 60.6% cuando la humedad relativa estaba al 70%, alcanzando un rendimiento máximo de 25.744 kg/m² también a una humedad relativa del 70%. De los resultados presentados, se puede concluir que la humedad relativa más favorable para el cultivo hidropónico de cebada parece ser el 70%.

2.3. MARCO CONCEPTUAL

2.3.1. Invernadero

De manera general es definido como aquel sistema que facilita el control de aspectos ambientales del entorno donde se cultivan y crecen las plantas, por lo que su uso es mayor en la actualidad dado que se puede producir o cultivar en lugares donde antes no se producía, además se puede cultivar en todas las estaciones del año, gracias al control de factores climatológicas (Barroso, 2015).

2.3.2. Agua

Es definido como la sustancia conformada por átomos como el oxígeno y el hidrogeno que son cohesionados por un en lace covalente. Asimismo, es catalogado como un recurso importante para la vida de los seres humanos dado que sin ella no existe la vida (Fundacion Aguae, 2021).



2.3.3. Sistema de control

Los sistemas de control se encuentran conformados por una serie de elementos físicos las cuales se vinculan y se asocian entre sí, dado que están orientados a trabajar de forma conjunto sin que exista intervención de determinantes externos al grupo, dado que mediante estos sistemas de control se dirige y regula los cambios y alteraciones del funcionamiento de elementos (Astudillo, 2016).

2.3.4. Automatización

El crecimiento tecnológico y su incorporación en la vida de las personal hoy en día, trae consigo diferentes ventajas y desventajas, entre las ventajas se considera la automatización que comprende un proceso que persigue sustituir las acciones que son ejecutadas a la capacidad de dispositivos electrónicos, relacionando a los invernaderos la automatización es una manera que permite optimizar el funcionamiento de un invernadero a través del cual se lograr distribuir de manera adecuada el riego del agua, la ventilación, temperatura y la distribución de insecticidas (Seuret y otros, 2020).

2.3.5. Forraje

Comúnmente se define como una serie de plantas y cultivos que son producidos con el propósito de alimentar a animales, por tanto, alude de manera directa a los alimentos de los animales.

2.3.6. voltaje de 0 a 10 V

Es una técnica o herramienta importante que permite transmitir datos e información correspondientes sobre los procesos en industrias, dado que se utiliza



de manera general para establecer conexión de señales de proceso a un controlador de aplicaciones.



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO

3.1.1. Ubicación geográfica

La investigación se realizó al Nor - Este de la ciudad de Puno, ubicado en la región sierra a 3,877.00 m.s.n.m; entre las coordenadas UTM 407000 Este y 8351000 Norte. Es una población que desarrolla como principales actividades las agrícolas y ganaderas. Sus características topográficas son relativamente accidentadas, es decir que cuenta con pendientes suaves acompañada de cerros de altura mediana. Se encuentra cercano a las orillas del Lago Titicaca., El Clima es frígido y seco, siendo la temporada de lluvias de noviembre a abril, con precipitaciones de 650 mm anuales en promedio (Orocollo, 2015).

El presente estudio se ubica geográficamente, según el siguiente detalle:

- Región Natural: Sierra (Altiplano de Puno).
- Altitud: 3,928 a 4020 msnm.
- Latitud: 14°51´3,43´S.
- Longitud: 69°39´44,09´W.

3.1.2. Accesibilidad

El proyecto se encuentra ubicado en la comunidad de Chaccha del distrito de Quilcapuncu en la provincia de San Antonio de Putina, y las vías de acceso de estas localidades es por una misma ruta y es como sigue desde Puno:

Tabla 1

Rutas de acceso al lugar de estudio

Desde	A	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo (min)
Puno	Juliaca	asfaltada	45	45
Juliaca	Huatasani	asfaltada	72	70
Huatasani	Putina	afirmada	20	20
Putina	Quilcapuncu	afirmada	20	25

Fuente: Orocollo (2015).

3.2. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.2.1. Tipo de investigación

La investigación es de tipo aplicada que se caracteriza por su enfoque práctico y su objetivo de resolver problemas concretos. La investigación aplicada se basa en un marco teórico existente para encontrar soluciones aplicables en situaciones del mundo real. Además, esta investigación depende de los resultados de la investigación básica y se centra en analizar y abordar problemas reales. Su mayor interés radica en la aplicación y las consecuencias prácticas de los conocimientos adquiridos (Charaja, 2019).

La investigación se clasifica como una investigación de tipo aplicada debido a que se centra en optimizar la producción de forrajes verdes hidropónicos como una solución práctica a un problema contemporáneo que enfrentan los agricultores pertenecientes a la comunidad de Santa Rosa de Chaccha. El problema, en particular, implica la necesidad de optimizar la producción de forrajes verdes hidropónicos mediante el manejo eficaz de la humedad. Esta investigación diseñará e implementará un sistema controlado por PLC que podría



ser uno de los pasos concretos para mejorar las prácticas agrícolas existentes, lo que ayuda directamente a aumentar la productividad y la sostenibilidad de los cultivos.

Por otro lado, la implementación de un sistema de control de la humedad no solo aumentará la producción agrícola, sino que también afectará la vida económica de las personas de manera positiva. Esto se logra incrementando la producción de forraje, mejorando así la alimentación del ganado y, en consecuencia, aumentando la producción de carne y leche, lo que mejora el bienestar económico y social del agricultor. Por lo tanto, esta investigación está orientada a la comunidad en términos de soluciones de aplicabilidad que tienen efectos positivos directos sobre ellos.

3.2.2. Diseño de la investigación

La investigación contempla a un diseño experimental puro, lo cual es una herramienta fundamental en la investigación científica, especialmente en el ámbito de la ingeniería. Estas investigaciones se caracterizan por tener una manipulación controlada de variable independiente, esto permite evaluar su efecto sobre una variable dependiente específica. Además, para asegurar la fiabilidad de los resultados, se debe mantener la validez interna del diseño. Esto implica controlar factores que podrían afectar los resultados y garantizar que las conclusiones sean válidas (Hernandez-Sampieri & Mendoza, 2018). En resumen, el diseño experimental puro en ingenierías se caracteriza por su enfoque riguroso, la manipulación controlada de variables y la búsqueda de resultados confiables para resolver problemas específicos (Charaja, 2019).



La investigación se justifica en un diseño de experimental puro por la implementación de un sistema específico para gestionar la humedad en el cultivo de forraje verde hidropónico. En un diseño experimental puro, el investigador tiene la capacidad de manipular y controlar variables independientes (en este caso, el sistema de control de humedad) mientras se mide el efecto en variables dependientes (como el crecimiento y producción del forraje). Esto permite establecer relaciones causales claras y evaluar el impacto directo del sistema implementado.

Por otro lado, en el marco de una investigación de diseño experimental puro, es común el uso de grupos de control y experimental. Esta tesis puede incluir un diseño que compare parcelas de cultivo donde se implementa el sistema de control de humedad con bandejas que utilizan métodos tradicionales. Esta comparación permitió observar y medir las diferencias en producción y calidad del forraje bajo condiciones controladas, ofreciendo una evaluación clara del efecto del sistema propuesto.

3.2.3. Nivel de investigación

Basado en la una investigación de diseño experimental, el nivel de investigación contempla en los mismo, es decir, se encuentra en el nivel de investigación experimental. En este enfoque, el investigador manipula intencionalmente las variables independientes para observar su efecto en una variable dependiente específica (Behar, 2008). El objetivo principal es determinar relaciones de causa y efecto entre variables o fenómenos. Para lograrlo, se utilizan métodos de investigación más rigurosos, como experimentos controlados o estudios longitudinales. En resumen, la investigación experimental busca explicar



las relaciones entre variables y generar conocimiento a través de la observación y manipulación de fenómenos (Hernandez-Sampieri & Mendoza, 2018).

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1. Población

Según Martínez (2012) la población se define como un conjunto de elementos o sujetos que comparten características comunes y que son objeto de estudio en una investigación. Esta definición implica que la población puede estar compuesta por personas, animales, objetos, eventos o cualquier unidad que se desee investigar. La identificación de la población es crucial para el diseño de una investigación, ya que establece los límites y el enfoque del estudio, además de influir en la selección del método de muestreo y en la interpretación de los resultados. En resumen, la población es el grupo al que se dirige la investigación y del cual se extraerán inferencias basadas en el análisis de los datos recogidos.

Para el presente estudio la población está representada por la totalidad de muestras que se pueden realizar durante 15 días, en consecuencia, estaríamos trabajando con una población de 285. Es decir, se pueden tomar una determinada cantidad de muestras.

3.3.2. Muestra

Dado que la población para la presente investigación es 285, estadísticamente podemos hallar una muestra considerando la fórmula de muestreo para poblaciones finitas tal como se muestra a continuación, considerando un nivel de confianza del 95% y un nivel de error de muestreo de 5%.



- **Datos:**
- **Tamaño de la población (N) = 285.**
- **Nivel de confianza (Z) = 1.96** (para un 95% de confianza).
- **Margen de error (e) = 1- p = 0.05** (5%).
- **Proporción esperada (p) = 0.5** (si no tienes un valor específico).

La fórmula es:

Sustituyendo los valores:

$$\bullet n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot p \cdot q}{(N-1) \cdot e^2 + Z^2 \cdot p \cdot q} = \frac{285 \cdot (1.96)^2 \cdot (0.5)(0.5)}{(285-1) \cdot (0.05)^2 + (1.96)^2 \cdot (0.5)(0.5)} = 164$$

Tamaño de muestra representativo de la población de 285 es de 164 mediciones.

3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

La investigación utilizo como técnica a la observación “es un método de recolección de datos utilizado en la investigación, donde el investigador se enfoca en observar y registrar el comportamiento, acciones y fenómenos de los sujetos o el entorno en un contexto natural o estructurado” (Behar, 2008). A través de la observación, se pudo registrar y describir detalladamente lo que ocurre en situaciones naturales o con intervención artificial en este caso el sensor de humedad.

Los instrumentos de recolección de datos fueron las fichas de campo, instrumentos exactos de medición.

3.4.1. Instrumentos de recolección de datos

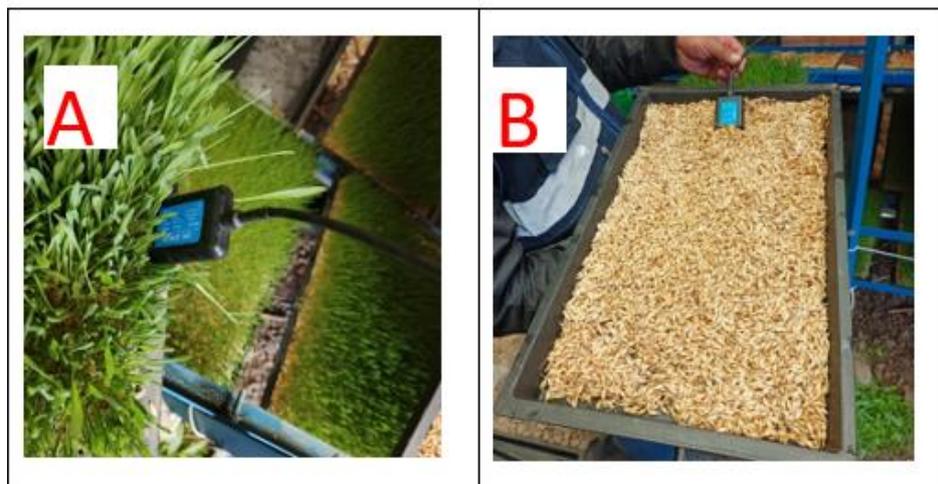
3.4.1.1. Sensor de Humedad

- **Modelo y Fabricante:** THC-S Soil Sensor.
- **Rango de Medición:** de 0% a 100% de humedad relativa.

- **Precisión:** El sensor tiene una precisión de $\leq 4s$.
- **Funcionamiento:** El sensor de humedad fue el encargado de medir de forma continua la humedad dentro del invernadero. Este mismo tiene la capacidad de registrar los niveles de humedad y transmitir los datos al controlador lógico programable (PLC).
- **Frecuencia de Muestreo:** El sensor registró datos de humedad 19 veces al día, lo que permitió una recopilación detallada de la variabilidad de la humedad durante el periodo de observación.

Figura 18

Instalación del sensor de humedad en campo



Nota: A: Sensor de humedad en día 15, B: Sensor de humedad en día 1

3.4.1.2. Controlador lógico programable (PLC) S7-1200

- **Modelo y Fabricante:** Siemens PLC S7-1200.
- **Función:** El PLC S7-1200 fue utilizado para recibir y procesar las señales del sensor de humedad. Este controlador lógico programable (PLC) se encargó de gestionar la información enviada por el sensor.

- **Conexión y Control:** El controlador lógico programable (PLC) se conectó al sensor de humedad a través de una interfaz de comunicación adecuada, permitiendo que los datos se almacenaran en un formato accesible. Además, el controlador lógico programable (PLC) se encargó de programar las frecuencias de muestreo, asegurando que los datos se registraran según lo planificado.

3.4.1.3. Registro de datos en la tarjeta SD (Data Logging)

El S7-1200 puede registrar datos directamente en una tarjeta SD utilizando la función de Data Logging. Se configura desde el TIA Portal, donde se define qué datos registrar (en este caso, los valores de humedad). Formato: Los datos se almacenan en la tarjeta SD en archivos CSV, que luego pueden ser leídos y abiertos directamente en Microsoft Excel.

Figura 19

Instalación del controlador lógico programable (PLC) en campo



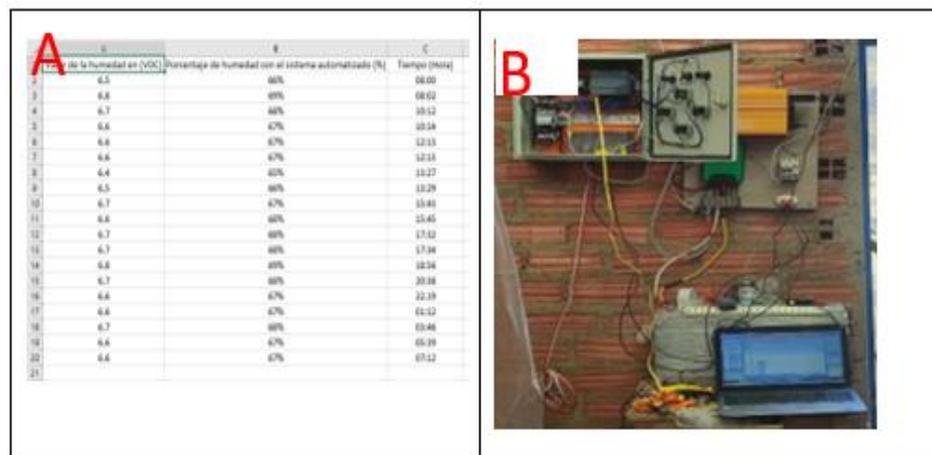
Nota: A: PLC. En funcionamiento, B: PLC. Recolección de datos.

3.4.1.4. Microsoft Excel:

- **Función:** Una vez que los datos fueron procesados y almacenados por el controlador lógico programable (PLC), Microsoft Excel se utilizó para almacenar, organizar y analizar los datos obtenidos. Excel facilitó el trabajo con grandes volúmenes de datos, permitiendo visualizarlos en formato de tablas y gráficos.
- **Almacenamiento y Análisis:** Los datos fueron exportados desde el controlador lógico programable (PLC) hacia archivos Excel donde se organizaron según el tiempo y las condiciones del entorno. Además, se utilizó Excel.

Figura 20

Extracción de datos del controlador lógico programable (PLC) al Microsoft Excel



Nota: A: Datos exportados con la opción data logging, B: Extrayendo los datos del PLC.

3.4.2. Procedimiento de recolección de datos

El procedimiento de recolección de datos se estructuró en los siguientes pasos:



3.4.2.1. Instalación del Sensor

El sensor de humedad fue instalado en uno de las bandejas en una ubicación estratégica. Se seleccionó un sitio que garantizara la operabilidad adecuada para el monitoreo continuo de la humedad.

3.4.2.2. Conexión del Sensor al PLC S7-1200

El sensor de humedad fue conectado al controlador lógico programable (PLC) S7-1200, que se encargó de gestionar los datos. La comunicación entre el sensor y el controlador lógico programable (PLC) se configuró para que el sistema pudiera almacenar y procesar los datos.

3.4.2.3. Monitoreo y Registro de Datos:

Durante 15 días, el sensor registró las mediciones de humedad, enviándolas al PLC S7-1200, que las almacenó y las procesó en tiempo real. Los datos fueron guardados y exportados periódicamente a Microsoft Excel para su análisis posterior.

3.4.2.4. Verificación de Datos

Durante el proceso de recolección, se verificó regularmente el funcionamiento correcto de los equipos (sensor y controlador lógico programable) para asegurar que no hubiera errores de medición. Cualquier anomalía en los datos se corrigió de inmediato.

3.4.2.5. Exportación y Análisis de Datos

Al finalizar el periodo de recolección de datos, los datos fueron exportados a Excel para su organización y análisis. En Excel se realizaron análisis estadísticos básicos, desviaciones estándar y análisis gráficos.

3.4.3. Datos de humedad mediante riego convencional

Con riego convencional o manual, se realizaron pruebas específicas durante 15 días. Los resultados obtenidos de la humedad fueron recolectados a través de métodos manuales de riego ejecutados por los ganaderos agricultores de la zona. La recolección de datos se llevó a cabo durante todos días desde el día 0 hasta el día 15, permitiendo así observar la deficiencia del riego convencional. Estos datos proporcionan una visión sobre la capacidad de la humedad para retener el crecimiento óptimo del cultivo hidropónico. A continuación, se presentan los datos obtenidos:

Tabla 2

Valores de humedad de un riego convencional en promedio de 15 días

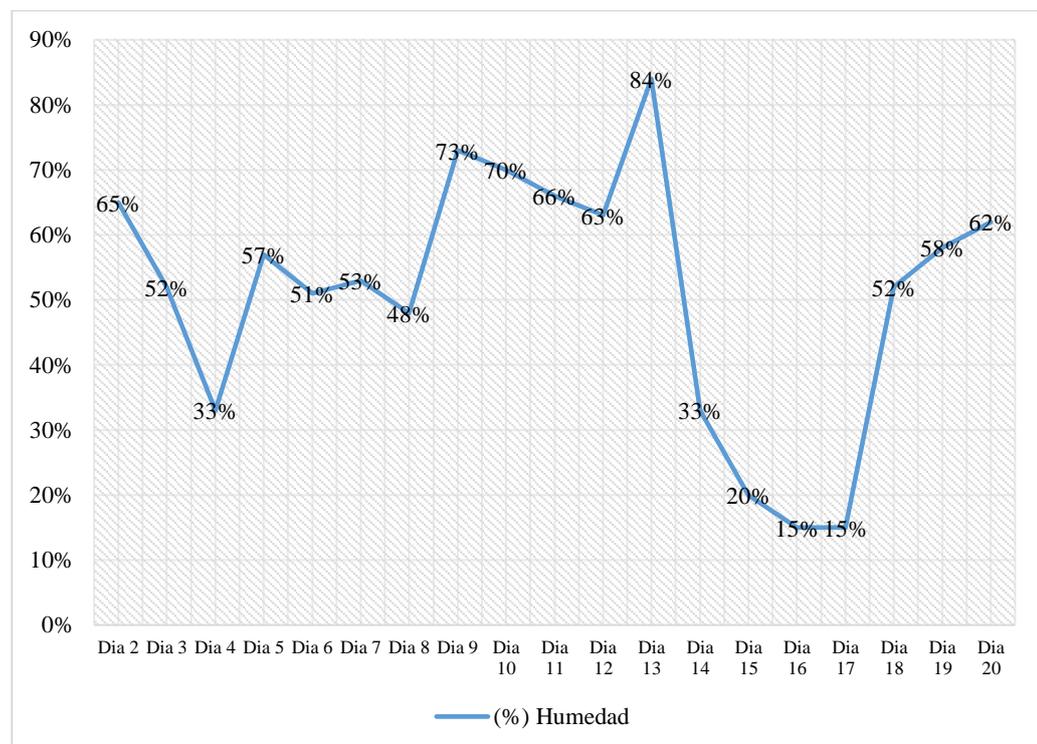
Valor de la humedad en (VDC)	Porcentaje de humedad día soleado (%)	Tiempo (Días)
6.4	65%	Día 1
5.2	52%	Día 2
3.3	33%	Día 3
5.7	57%	Día 4
5.1	51%	Día 5
5.3	53%	Día 6
4.8	48%	Día 7
7.3	73%	Día 8
7.0	70%	Día 9
6.6	66%	Día 10
6.3	63%	Día 11
8.4	84%	Día 12
3.3	33%	Día 13
2.0	20%	Día 14
1.5	15%	Día 15

Nota: elaborado por el equipo de trabajo.

Los resultados de las pruebas muestran que la humedad varía considerablemente según el día, con porcentajes que van desde el 15% hasta el 84%. Los días con valores de humedad más altos coinciden con días cuando se realizó riego de un promedio de 6 veces al día (cuando el productor se encontró en casa o cerca del invernadero). Por el contrario, los días con valores de humedad más bajos corresponden a días cuando se realizó riego de un promedio de 3 veces al día, donde la intensidad del sol y las altas temperaturas incrementan la evaporación del agua del suelo. Esta variabilidad en los datos destaca la importancia de considerar las condiciones climáticas al planificar el riego para optimizar el uso del agua y asegurar una adecuada hidratación del suelo.

Figura 21

Valores del promedio de la humedad relativa en 15 días



Nota: elaborado por el equipo de trabajo.

3.4.4. Datos de humedad mediante riego automático implementado

3.4.4.1. Datos de humedad durante 24 horas

El sistema de riego automático con histéresis fue implementado para mejorar la eficiencia del riego y mantener niveles de humedad óptimos. Las pruebas se realizaron durante 24hrs. del día y se midieron los valores de humedad en distintas horas del día, con un punto de ajuste (SP) mínimo de 65% y un SP máximo de 70%. A continuación, se presentan los resultados obtenidos:

Tabla 3

Valores de humedad en términos de voltios (VDC) y porcentaje a lo largo de 24 horas.

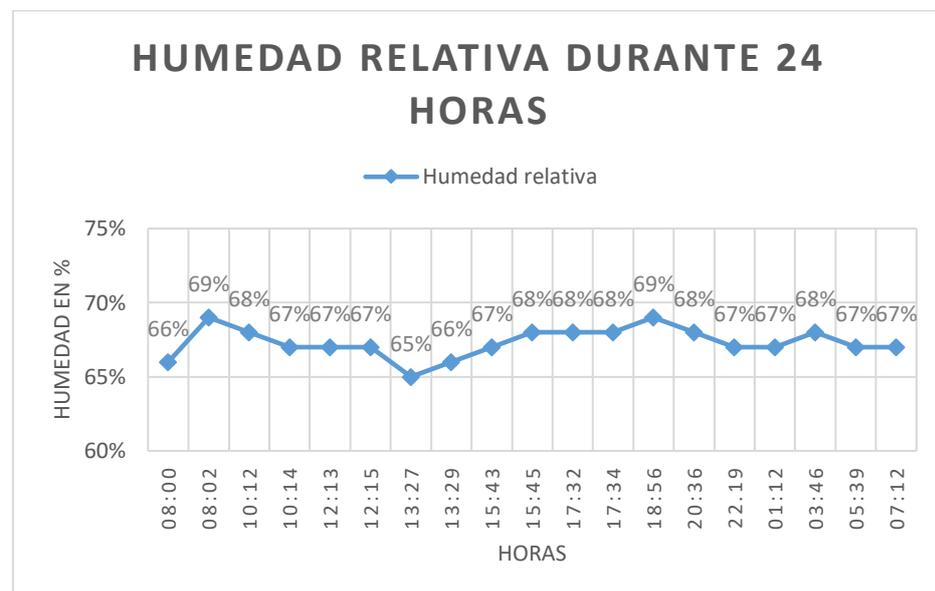
Valor de la humedad en (VDC)	Porcentaje de humedad con el sistema automatizado (%)	Tiempo (Hora)
6.5	66%	08:00
6.8	69%	08:02
6.7	68%	10:12
6.6	67%	10:14
6.6	67%	12:13
6.6	67%	12:15
6.4	65%	13:27
6.5	66%	13:29
6.7	67%	15:43
6.6	68%	15:45
6.7	68%	17:32
6.7	68%	17:34
6.8	69%	18:56
6.7	68%	20:36
6.6	67%	22:19
6.6	67%	01:12
6.7	68%	03:46
6.6	67%	05:39
6.6	67%	07:12

Nota: elaborado por el equipo de trabajo.

Los datos muestran una clara alternancia entre los niveles de humedad mínima y máxima, reflejando el comportamiento del sistema de riego automático con histéresis. La humedad del suelo se mantiene dentro del rango objetivo (65%-70%), asegurando que las plantas reciban una cantidad adecuada de agua sin exceder los niveles óptimos. Este sistema de riego automático permite un control más preciso y eficiente del riego, adaptándose rápidamente a las variaciones en la demanda de agua. Además, la implementación de este sistema puede reducir el desperdicio de agua y mejorar la sostenibilidad de las prácticas agrícolas (mayores detalles en la siguiente figura).

Figura 22

Humedad relativa con el control automático durante 24 horas.



Nota: elaborado por el equipo de trabajo.

El uso de sistemas de riego automatizado en la agricultura moderna permite un control preciso y eficiente del agua, asegurando que los cultivos reciban la cantidad exacta necesaria para su crecimiento. En esta investigación, se implementó un sistema de riego automático para el

cultivo de forraje hidropónico, desde el momento de la siembra hasta que el forraje estuvo apto para el consumo animal. El objetivo fue monitorear y mantener un nivel de humedad constante, optimizando así el uso del agua y promoviendo un crecimiento saludable del forraje.

3.4.4.2. Datos de humedad durante 15 días

A continuación, se presentan los valores obtenidos durante el periodo de prueba, donde se midió la humedad en términos de voltios (VDC) y porcentaje de humedad (%), a lo largo de 15 días:

Tabla 4

Valores de humedad en términos de voltios (VDC) y porcentaje a lo largo de 15 días

Valor de la humedad en (VDC)	Porcentaje de humedad con el sistema automatizado (%)	Tiempo (Hora)
6.6	66%	día 1
6.5	65%	día 2
6.7	67%	día 3
6.9	69%	día 4
6.8	68%	día 5
6.5	65%	día 6
7.0	70%	día 7
6.9	69%	día 8
6.6	66%	día 9
6.6	66%	día 10
6.8	68%	día 11
6.7	67%	día 12
6.7	67%	día 13
6.5	65%	día 14
6.9	69%	día 15

Nota: elaborado por el equipo de trabajo.



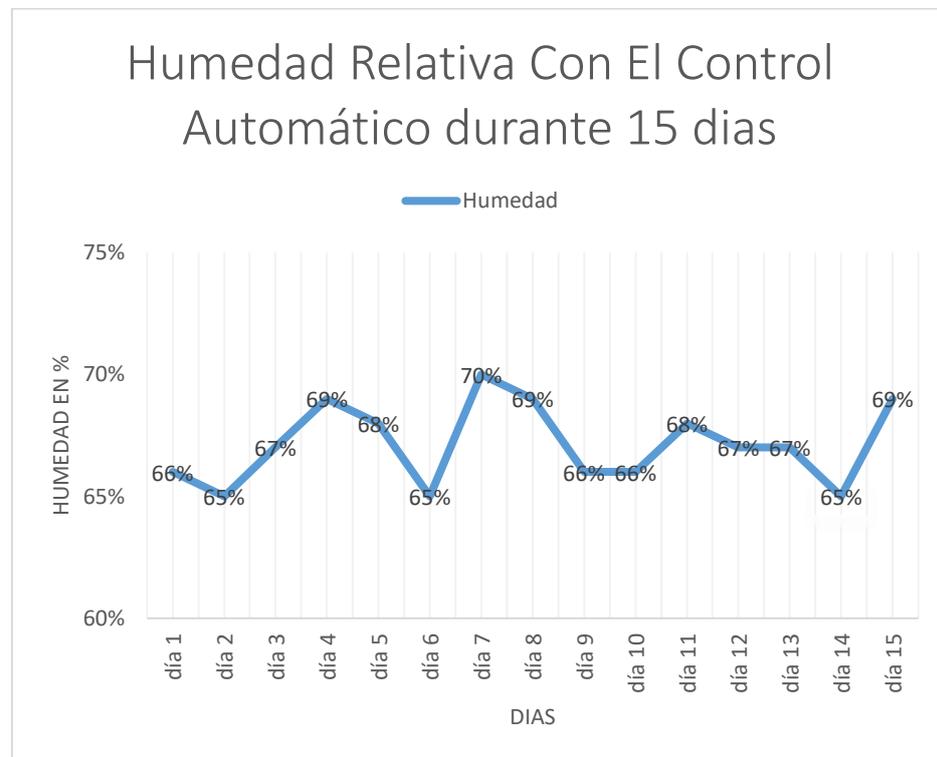
Los resultados muestran una consistencia notable en los niveles de humedad, manteniéndose alrededor del % durante los 15 días de monitoreo. Esta estabilidad en los niveles de humedad es indicativa de la eficacia del sistema de riego automatizado, que ajusta automáticamente el suministro de agua para mantener las condiciones óptimas para el crecimiento del forraje hidropónico.

El control preciso del riego permite evitar la sobresaturación del suelo, lo que podría llevar a problemas de drenaje y salud de las plantas, así como también previene la sequedad, que podría afectar el desarrollo del forraje. Esta constancia es crucial para asegurar un crecimiento uniforme y saludable del forraje, que es fundamental para su uso como alimento animal.

En conclusión, la implementación del sistema de riego automático ha demostrado ser una herramienta eficaz para mantener niveles óptimos de humedad en el suelo, asegurando un entorno favorable para el crecimiento del forraje hidropónico. Estos resultados destacan la importancia de la tecnología en la mejora de prácticas agrícolas y la optimización del uso de recursos hídrico, lo cual se muestra en la siguiente figura.

Figura 23

Humedad relativa con el control automático durante 15 días



Nota: elaborado por el equipo de trabajo.

3.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el análisis de los resultados obtenidos, se realizó con una muestra de T de Student de muestras independientes para evaluar si existían diferencias significativas entre los grupos bajo estudio. Este método estadístico es particularmente útil en situaciones en las que se comparan dos grupos con varianzas potencialmente diferentes, y permite determinar si las diferencias observadas en las medias son estadísticamente significativas.

Se calcularon los estadísticos relevantes, incluyendo la media, la desviación estándar y el tamaño de muestra para cada grupo. Posteriormente, se llevó a cabo la prueba t, y se observaron los resultados, los cuales indicaron si se debía rechazar o no la hipótesis nula.



Finalmente, los resultados fueron discutidos en el contexto de la literatura existente, identificando posibles implicaciones prácticas y sugerencias para futuras investigaciones en este campo.

CAPÍTULO IV

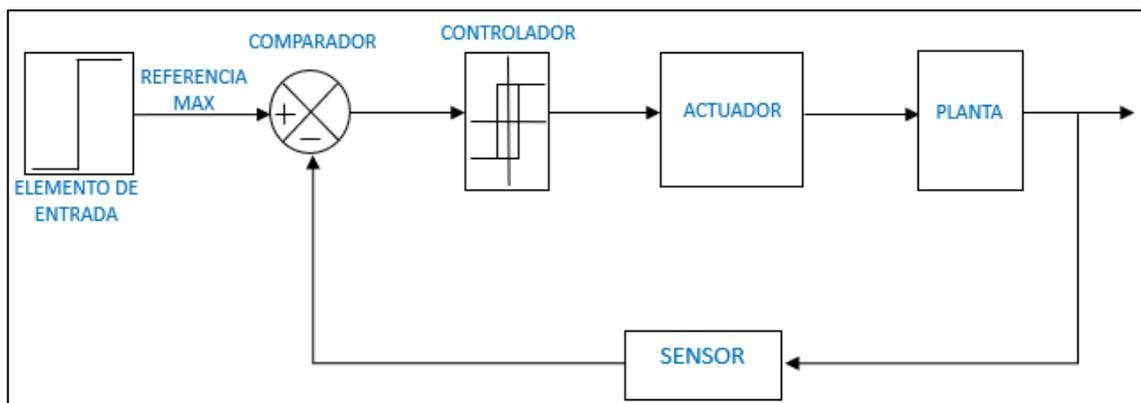
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. PONER EN FUNCIONAMIENTO EL SISTEMA DE CONTROL DE HUMEDAD DE LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE HIDROPÓNICO

El funcionamiento del sistema de control se basó en el diagrama de bloque del sistema de control de humedad para el riego del forraje verde hidropónico.

Figura 24

Diagrama de bloques para el sistema de control de humedad para el riego del forraje verde hidropónico



Nota: elaborado por el equipo de trabajo.

Elemento de entrada: es el dispositivo a través de los cuales se fija el valor deseado de la variable de proceso a controlar, para el proyecto desea realizar un control ON-OFF con histéresis, se fija un rango deseado con un valor máximo y un valor mínimo, estos valores estarán asignadas de acuerdo a la humedad necesario requerido por el cultivo a producir.

Comparadores: El sistema compara la señal del sensor de humedad con los valores de referencia definidos por el usuario (SP min y SP Max). Dependiendo de la



configuración del PLC, se emiten señales que determinan si la señal del sensor está por encima o por debajo de estos valores. Si la señal del sensor es menor que SP Min, el comparador genera una salida de voltaje de alimentación que corresponde a un estado lógico 1. Por otro lado, si la señal del sensor supera SP Max, la salida del comparador se establece en voltaje de alimentación, lo que equivale a un estado lógico 0.

Controlador: Es el dispositivo que se encarga dar la acción de control ON-OFF para este proyecto se usa PLC, los valores de la salida del controlador es dependiendo de las intrusiones ingresadas por el operario; los valores obtenidos por el sensor de humedad y la comparación entre ambas.

Actuador: Es un dispositivo que convierte energía en movimiento. En términos más específicos, un actuador es una parte fundamental para este proyecto el cual es la electrobomba, responsable de recibir una señal de control y realizar una acción física (bombear agua).

Planta: Es el sistema física o proceso a controlar, para este proyecto son los pisos conformados por las charolas o bandejas hidropónicas.

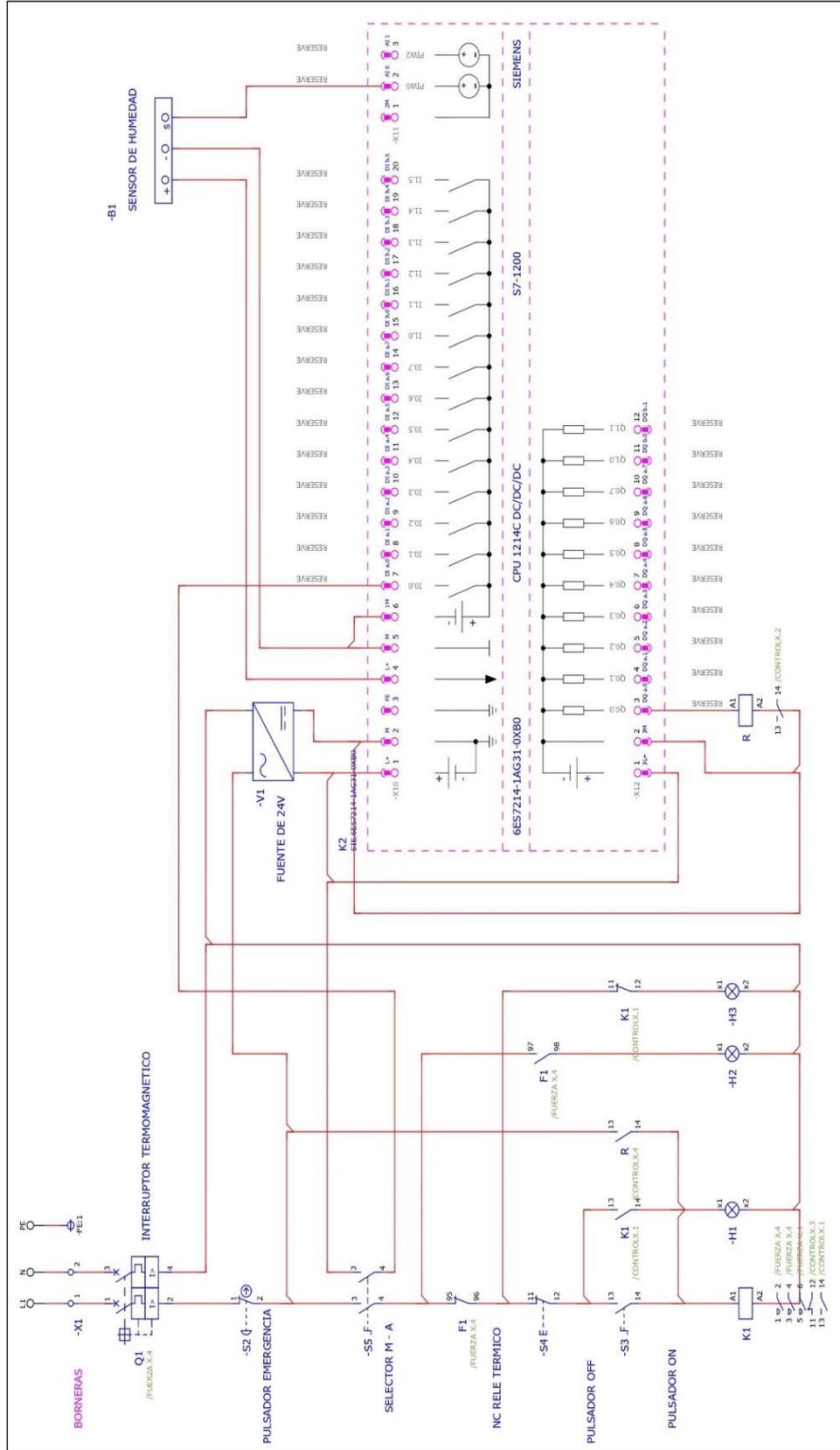
Sensor: Es el dispositivo encargado de recoger datos de la planta, y retroalimentar al controlador para la toma de decisiones de este mismo según el punto de suma con los valores de la entrada.

4.1.1. Diagrama eléctrico 2D del sistema

Para la elaboración del plano eléctrico de la parte control y fuerza se realizó con el programa EPLANT Electric P8 según la norma Código nacional de electricidad IEC, en la figura 14 se muestra el plano y cada una de las conexiones a cada componente que integra dentro del tablero.

Figura 25

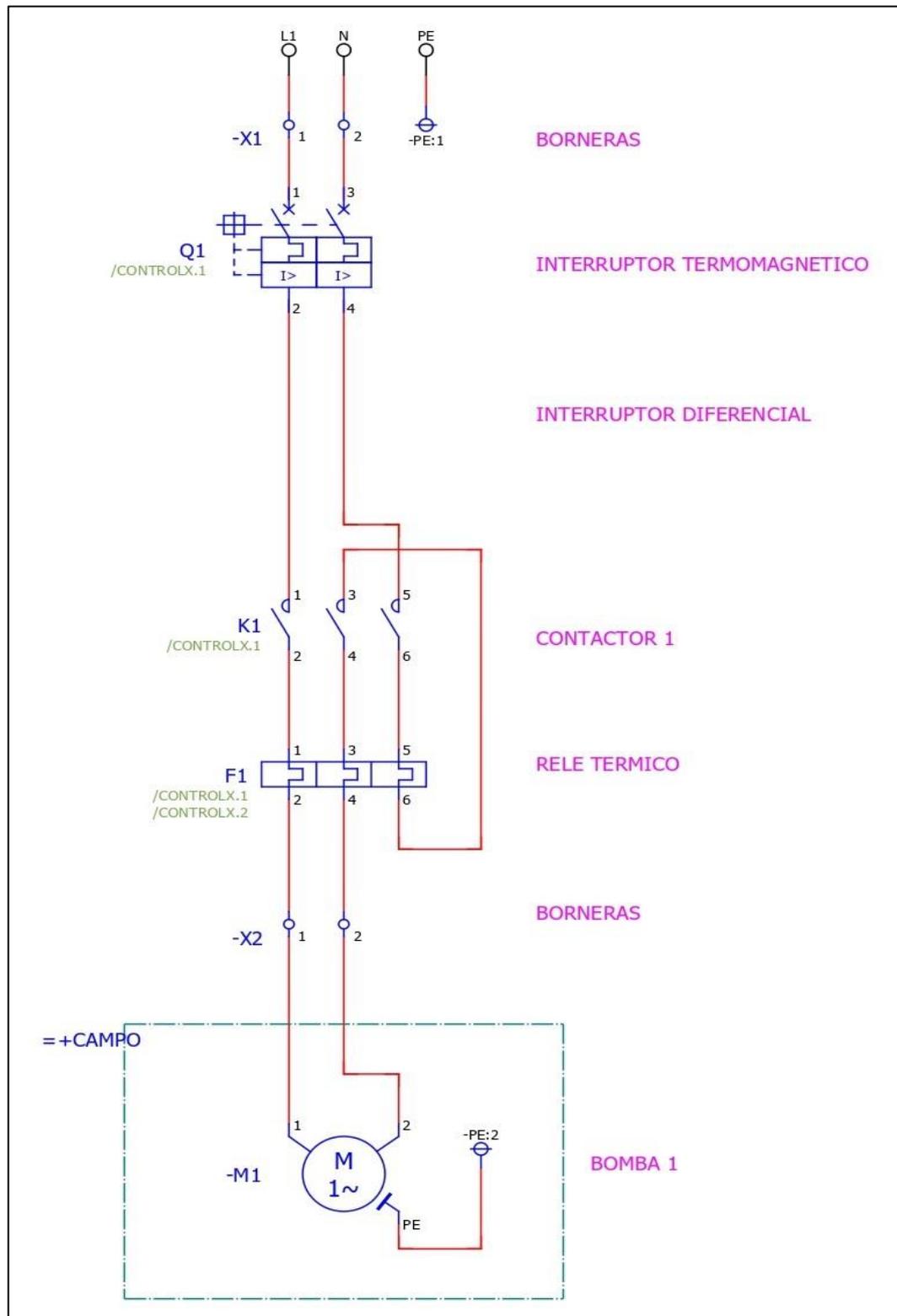
Plano eléctrico para un sistema automatizado de control de humedad.



Nota: Elaborado por el equipo de trabajo.

Figura 26

Plano eléctrico para sistema de fuerza.



Nota: Elaborado por el equipo de trabajo.



Para la elaboración del plano eléctrico de la parte control y fuerza se realizó con el programa EPLANT Electric P8, en el plano se muestra cada una de las conexiones a cada componente que integra dentro del tablero.

En el plano se muestra las dos partes del circuito:

Circuito de fuerza: La alimentación principal es de 220 VAC y el circuito está protegido por un interruptor diferencial, Esto corta el flujo de corriente cuando se detecta una diferencia entre las corrientes entrantes y salientes, Luego hay un interruptor termomagnético bipolar para proteger los conductores, y en caso de cortocircuito o si se desea interrumpir manualmente el flujo de corriente, luego de esto se tiene un relé térmico para la protección de sobre calentamiento de la electrobomba.

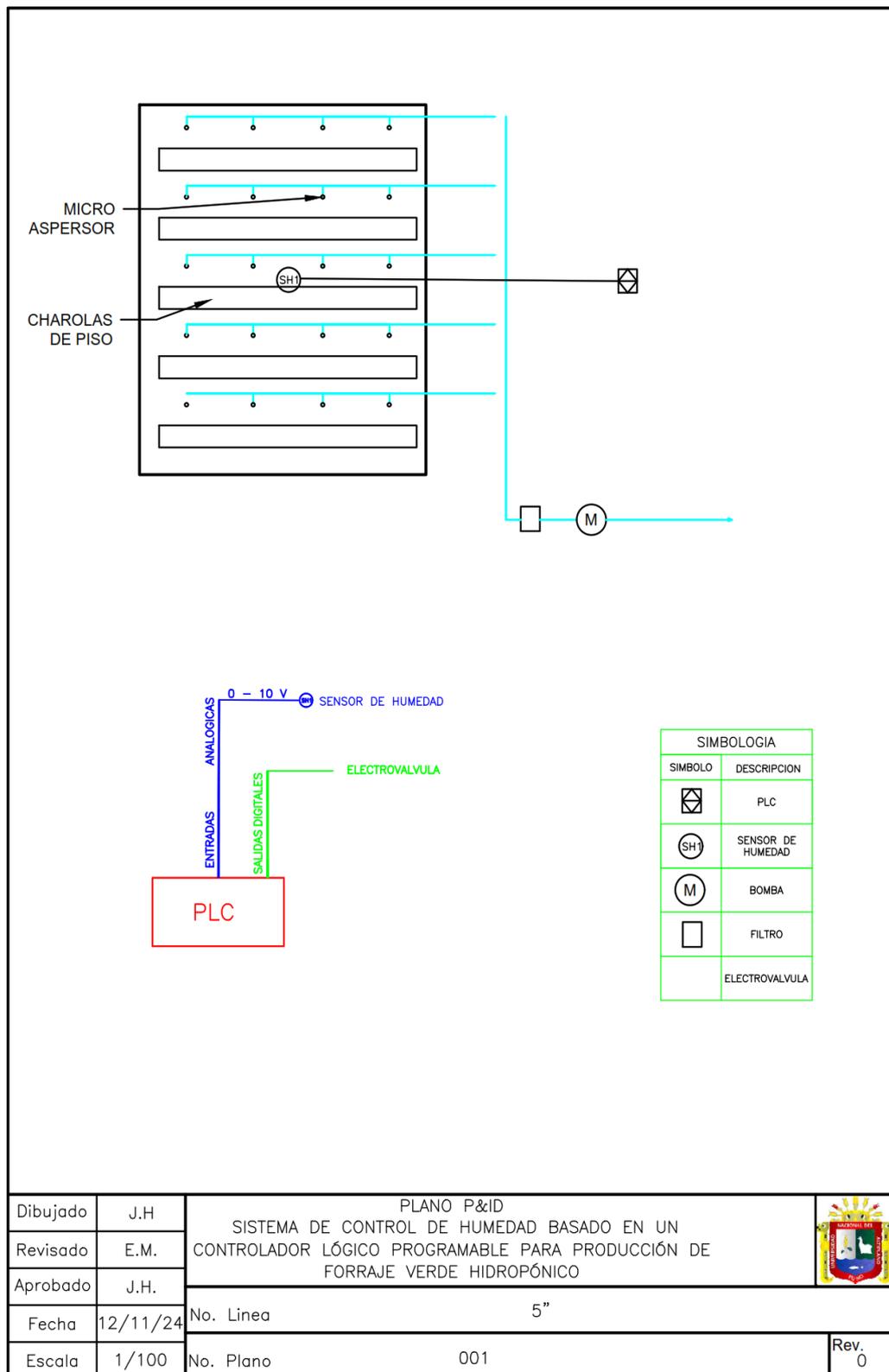
Circuito de mando: Esta parte del circuito tiene un PLC conectado mediante una fuente de alimentación de 24V, las señales de entrada que vienen de la bornera de señal de entrada del sensor van conectados a los terminales de ANALOG INPUT del PLC y la señal de salida OUTPUT del PLC que van hacia la bornera y luego al terminal de RELAY OUTPUTS y posteriormente van conectados a la BOBINA DEL CONTACTOR.

4.1.2. Plano P&ID

La elaboración del plano P&ID se muestra en la figura 00, que se realizó con el programa AutoCAD según la norma ISA S5.1

Figura 27

Plano P&ID



Nota: elaborado por el equipo de trabajo.

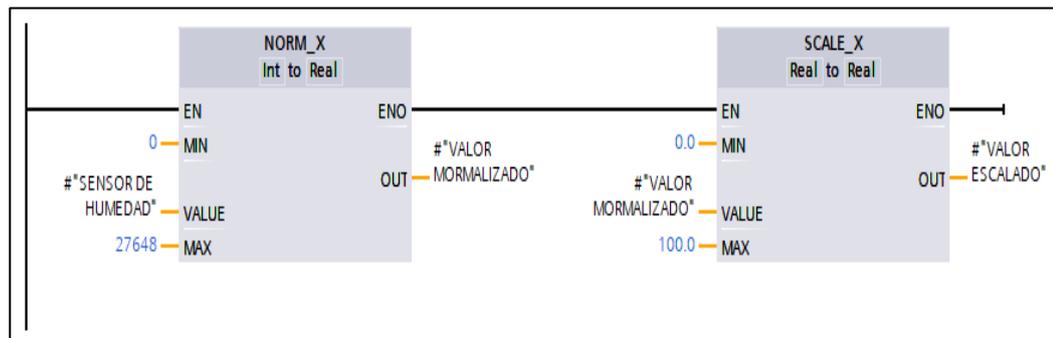
La elaboración del plano P&ID se realizó según normas ISA-S5.4 con el programa AutoCAD, en el plano se muestra los cuatro niveles de Forraje Verde Hidropónico, cada una de ellas con sus respectivos riego y sus micros aspersores montadas en las tuberías del sistema del riego y con un sensor de humedad, la cual está montada en campo es decir áreas de riego, el sistema va conectado al controlador (PLC) por sus entradas analógicas los sensores de humedad de 0 – 10 VDC y las señales de salida de tipo digital ON – OFF.

4.1.3. Escalamiento de datos para el PLC

El escalamiento se realizará a los datos recopilados por el sensor de humedad en porcentaje de 0% a 100%, donde 0%= 0V y 100%=10V como se muestra en la figura 30.

Figura 28

Escalamiento de datos para el PLC.



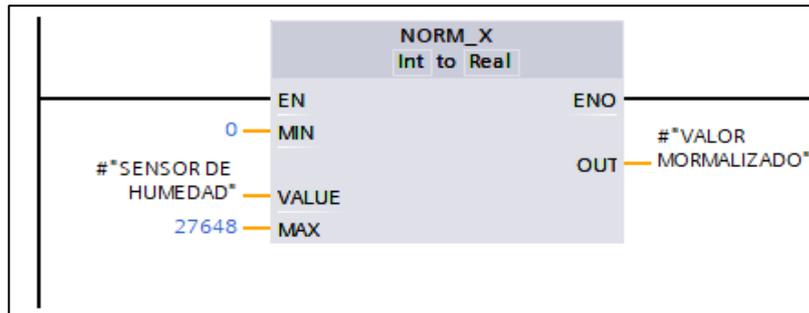
Nota: elaborado por el equipo de trabajo.

4.1.4. Normalización de datos para del PLC

La normalización realizada se muestra en la figura 32 para el sensor.

Figura 29

Normalización de datos para del PLC.



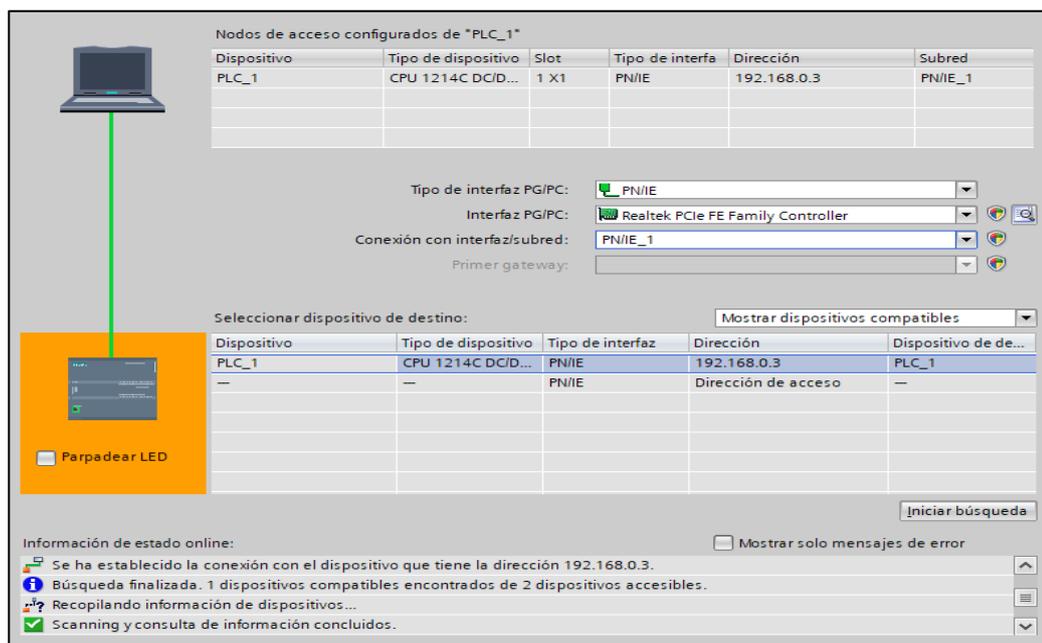
Nota: elaborado por el equipo de trabajo.

4.1.5. Comunicación y configuración de dispositivos

El protocolo de comunicación para el PLC usado es ProFiNet. La configuración se realizó en el software Tia Portal.

Figura 30

Comunicación y configuración de dispositivos

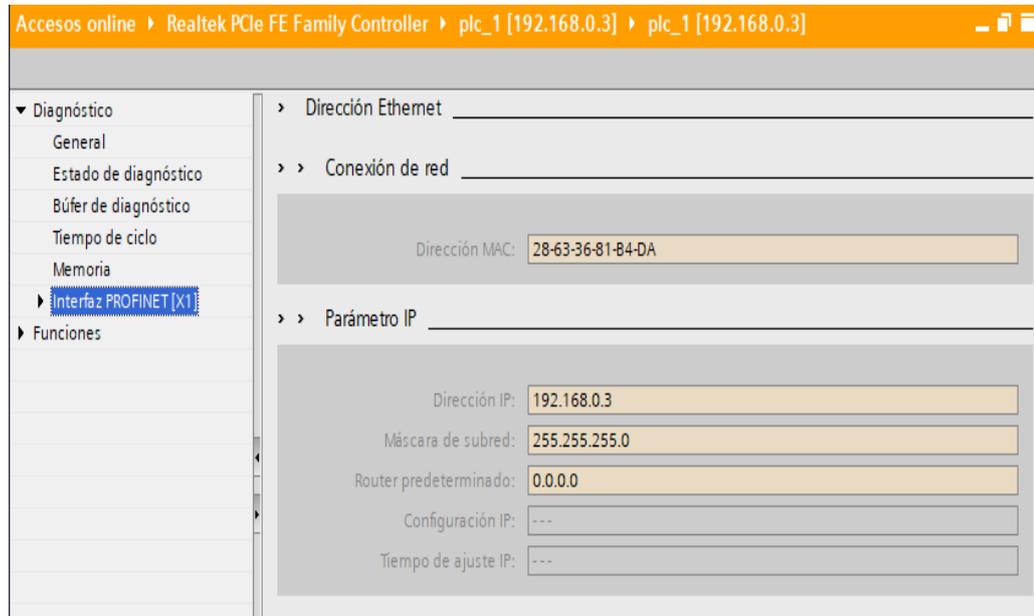


Nota: elaborado por el equipo de trabajo.

Configuración para el PLC: El direccionamiento y la configuración realizada para el PLC.

Figura 31

Configuración, definición de la IP para PLC.



Nota: elaborado por el equipo de trabajo.

4.1.6. Obtención de datos mínimos y máximos del sensor para el sistema a automatizar

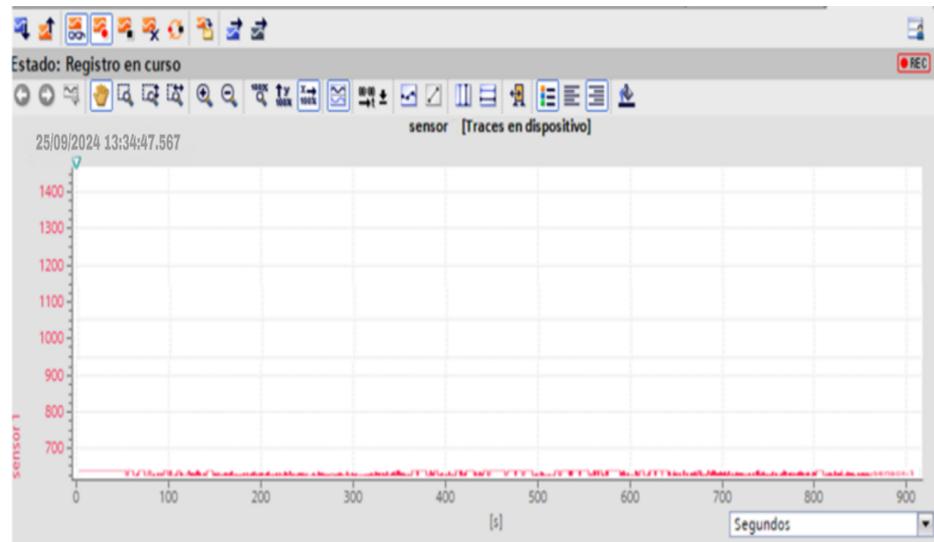
Se realizaron pruebas con fines de obtener el valor máximo posible de voltaje del sensor relacionado con la humedad máxima en porcentaje y el valor mínimo de voltaje del sensor relacionado con la humedad mínima en porcentaje para poder realizar el escalamiento.

4.1.6.1. Humedad: primera prueba experimental

Se sometió al sensor de humedad a una bandeja completamente seco y sin semilla sin ninguna presencia de humedad. En esta prueba se obtuvo un valor 2 en rango de 0 -27648.

Figura 32

Respuesta del sensor de humedad a una bandeja seca.



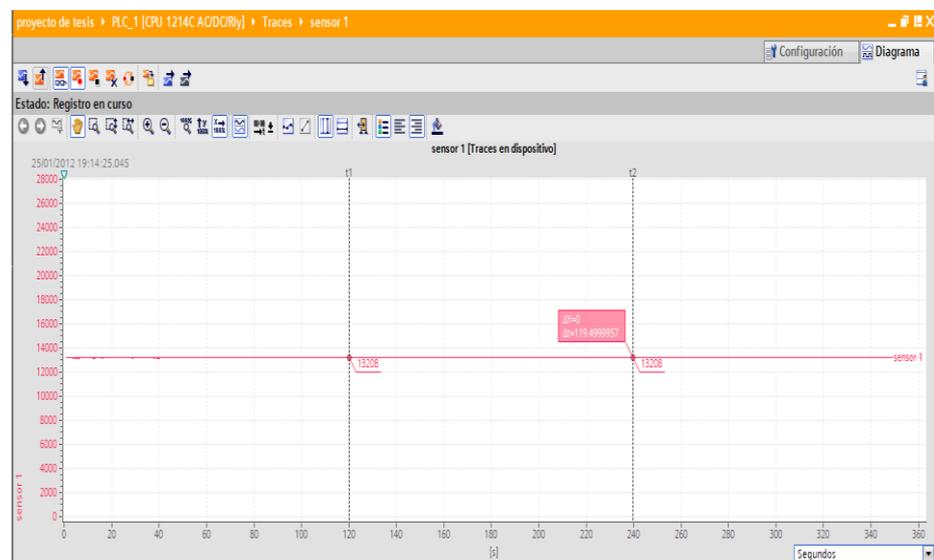
Nota: elaborado por el equipo de trabajo

4.1.6.2. Humedad: Segunda prueba experimental

Se sometió a el sensor a un recipiente con mucha humedad. Y la respuesta del sensor fue como se muestra en la figura. Obteniendo un valor de 13208 en el rango 0-27648.

Figura 33

Respuesta del sensor de humedad a una bandeja sumergida en agua



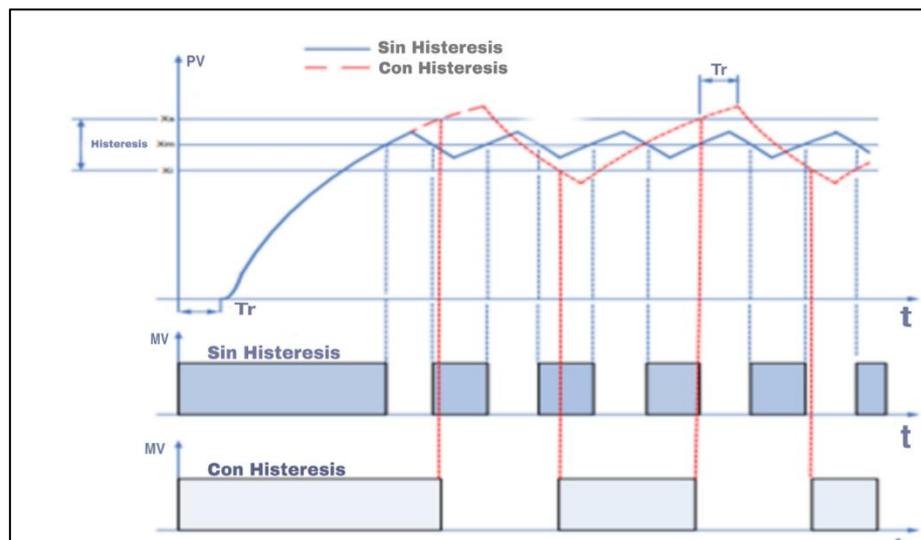
Nota: elaborado por el equipo de trabajo.

4.1.6.3. Humedad: Prueba final del sensor

Vemos en la figura el posible comportamiento del sensor en relación a la humedad en un control ON/OFF Con histéresis y sin histéresis.

Figura 34

Control ON-OFF con hysteresis y sin hysteresis



Nota: elaborado por el equipo de trabajo.

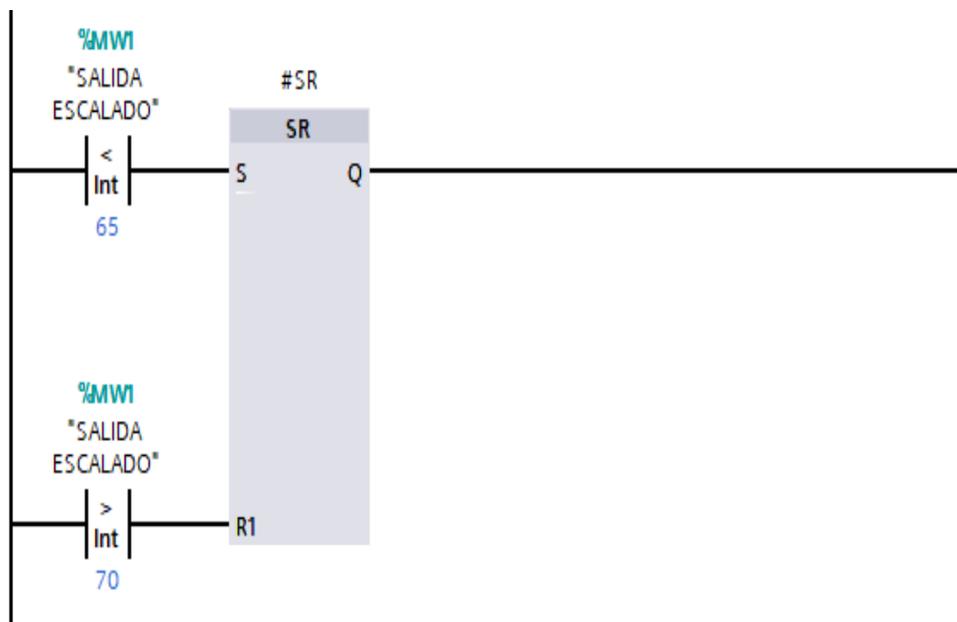
Para esta prueba final el sistema automatizado se diseñó con un control ON-OFF con histéresis, en las pruebas realizadas se comprobó que la humedad es una variable, en el proceso tiene una reacción lenta y no es crucial una sintonización fina, es por ello que se optó por un control ON-OFF con histéresis para evitar el encendido y apagado de la electrobomba constantemente y a si darle más vida útil a nuestro actuador definiendo dos set points ; es decir un límite superior y otro límite inferior.

Para esta etapa de prueba final se definió el límite superior en 70% y límite inferior en 65% como se observa la figura, de esta manera el control se realizó de manera exitosa.

En conclusión, gracias al margen de histéresis dado por nosotros el actuador no conmuta de estado repetidamente, al encender y apagar la electrobomba cambia de estado de un cierto tiempo. Si disminuimos la diferencia de los dos sets points. Aumenta el tiempo de encendido y apagado.

Figura 35

Definición de SET POINTS

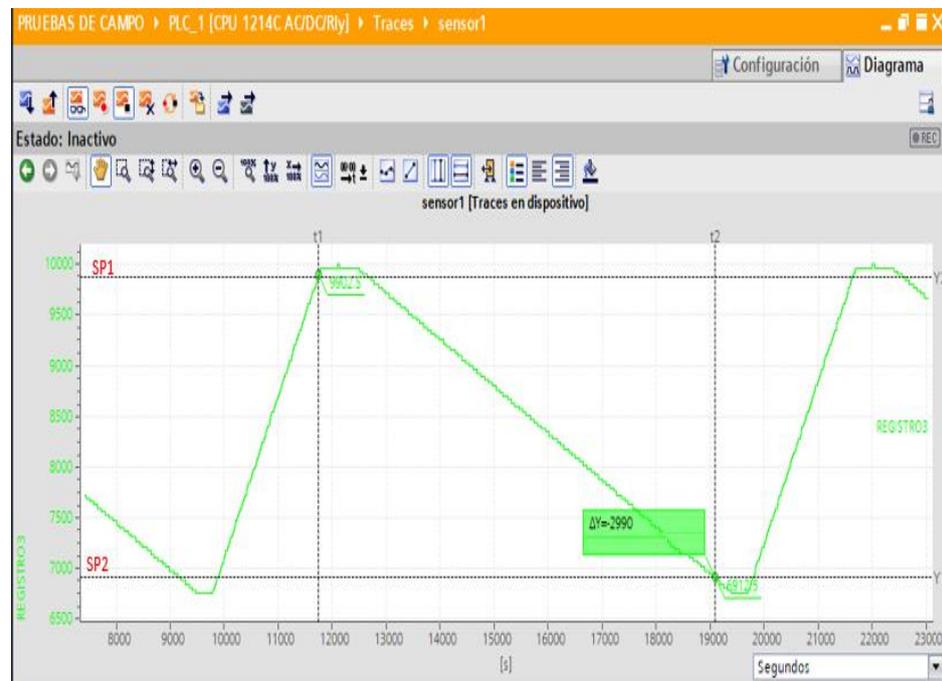


Nota: elaborado por el equipo de trabajo.

En la siguiente figura muestra el comportamiento del sensor no escalado en función de la humedad y los valores consignados

Figura 36

PV respecto al control ON-OFF.

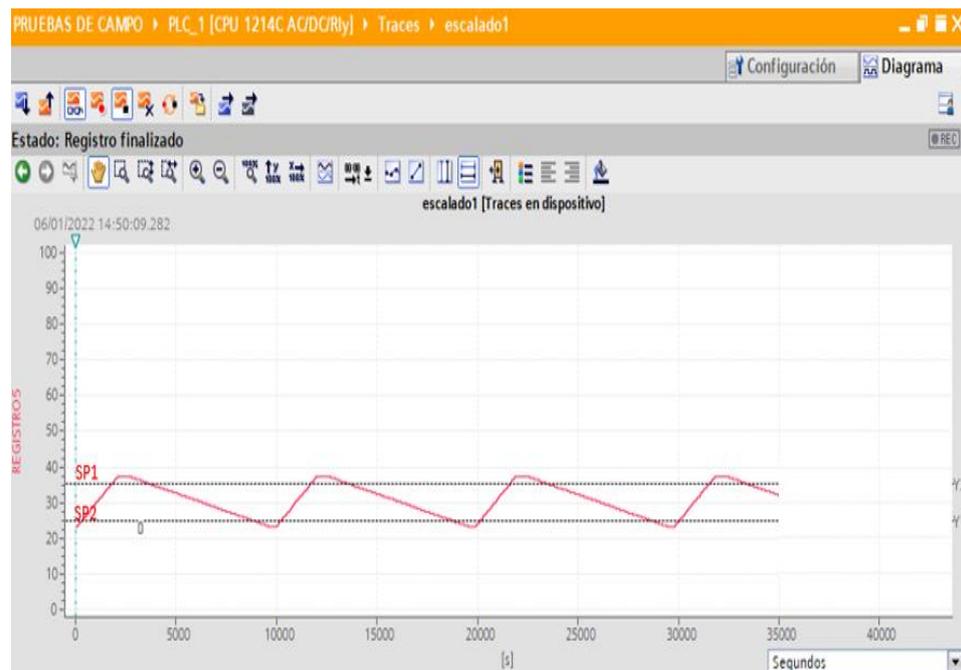


Nota: elaborado por el equipo de trabajo.

Valores escalados

Figura 37

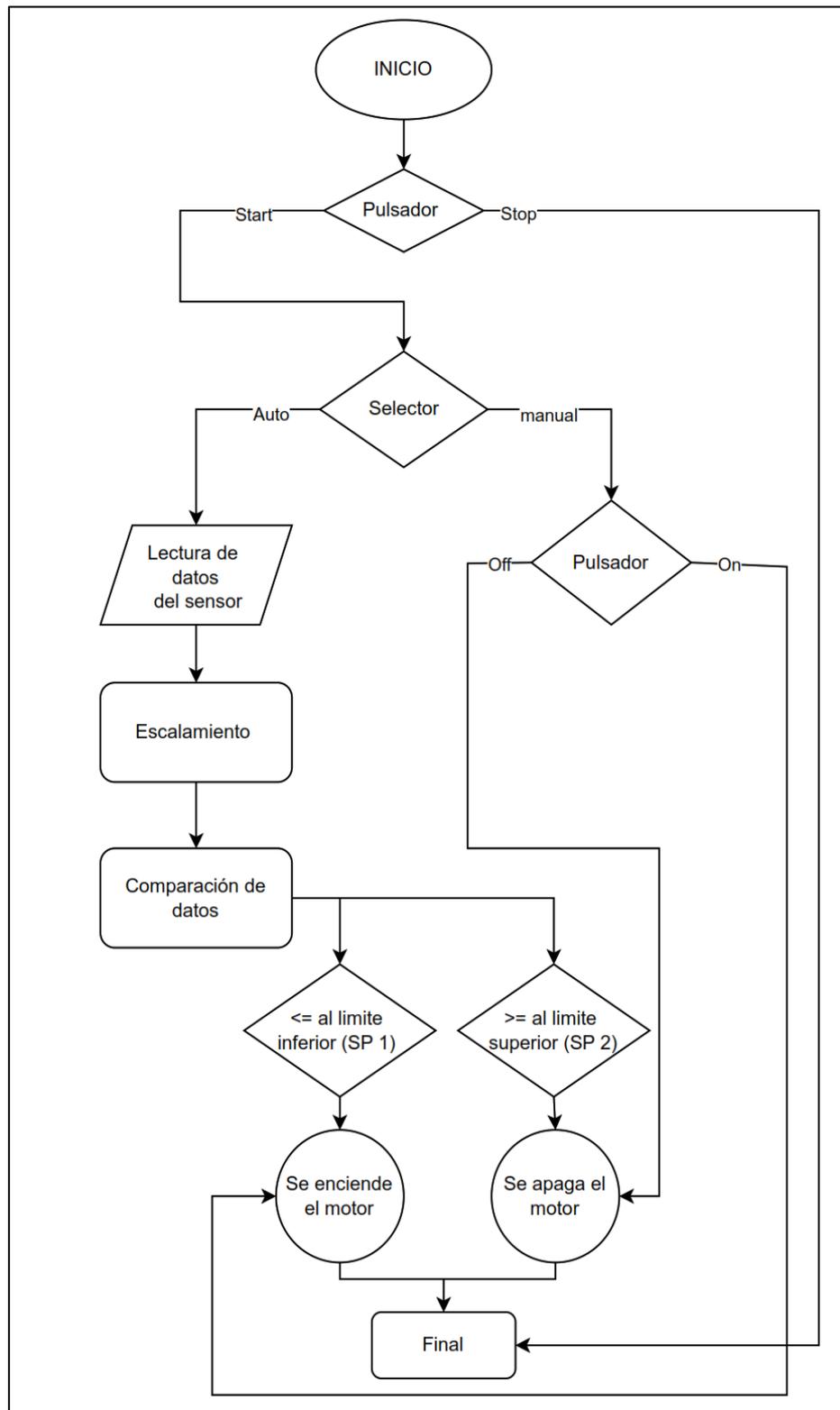
Respuesta del sensor al control ON-OFF con histéresis escalado



Nota: elaborado por el equipo de trabajo.

Figura 38

Diagrama de flujo de automatización



Nota: elaborado por el equipo de trabajo.

4.1.7. Descripción del diagrama de flujo

Al pulsador Start: damos inicio a todo el sistema. al pulsar stop: finalizaremos todo el sistema.

El Selector: Al tener el sistema iniciado este dispositivo nos da la opción de trabajar en dos modos; manual y automático.

Modo automático el sistema reconoce los datos analógicos de humedad obtenidos por el sensor de humedad y estos datos son normalizados y escalados en valores de 0-100%, para después poder comparar dichos valores escalados con los 2 valores de consigna (Set Point 1; Set Point 2) que son definidos como límite inferior y límite superior respectivamente.

-En la comparación, si el valor escalado de la humedad es menor o igual al límite inferior (humedad baja) se encenderá la electrobomba.

-en la comparación, si el valor escalado de la humedad es mayor o igual al límite superior (humedad estable) se apagará la electrobomba.

modo manual el sistema reconoce los datos del sensor mas no trabaja con ellos, al pulsar el pulsador ON la electrobomba se encenderá directamente sin tomar en cuenta los valores escaldos obtenidos y se pagará al pulsar el pulsador OFF.

Modo automático permite dos SP para crear una banda de histéresis que ayudará a que no se produzcan oscilaciones de apertura y cerrado de válvulas consecutivamente evitando así su desgaste apresurado.

También se optó por implementar modo manual para que la apertura y cierre de válvulas ya no dependiera del sensor en caso de que este se descalibre, se averíe o tome datos erróneos de humedad.

4.1.8. Diseño de programa Ladder para PLC

Software de programación: TIA PORTAL (Totally Integrated Automation Portal) es una plataforma de ingeniería desarrollado por Siemens, que sirve para integrar la programación, diseño y configuración de sistemas de automatización industrial. Esta a su vez optimiza la producción en el campo industrial, permitiendo de manera centralizada la programación, monitorización y diagnosticar sistemas de automatización con eficiencia y rapidez.

Lenguajes de programación con Tia Portal. Tiene lenguajes de programación como bloque de funciones, Lader y texto estructurado. En esta ocasión para la ejecución del proyecto se realizó la programación en el lenguaje Lader conocido también como escalera.

Tabla 5

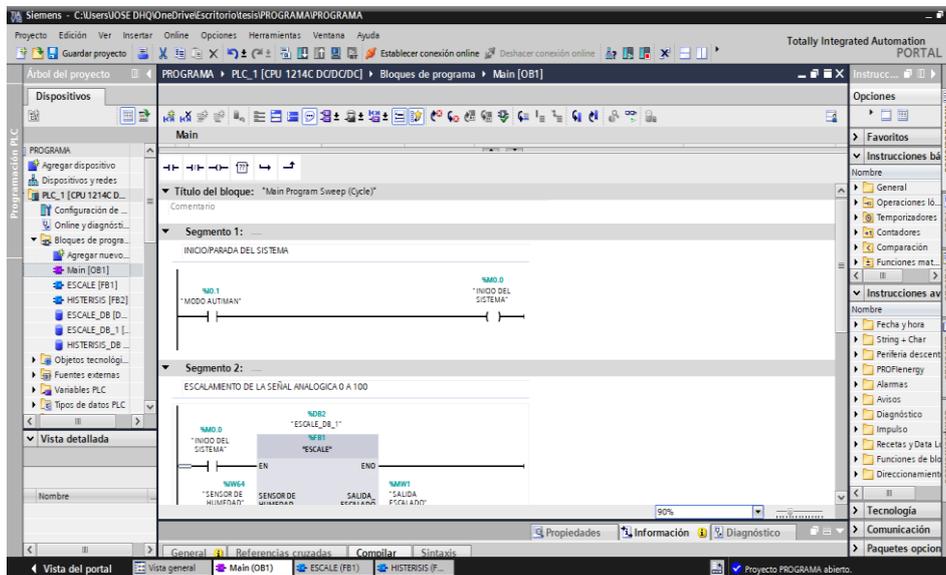
Dirección de variables digitales

Tipo	Tipo de dato	Dirección	Descripción
Entradas (I)	Analógico Int	%IW64	Sensor de humedad
	Digital Int	%I0.1	Selector modo automático
salida(Q)	Digitales bool	%Q0.0	Electrobomba
Memorias Internas(M)	Bool	%M0.0	Inicio del sistema
	Bool	%M0.1	Salida ON/OFF de función de la histéresis

Nota: elaborado por el equipo de trabajo.

Figura 39

Interfaz del software TIA PORTAL V16



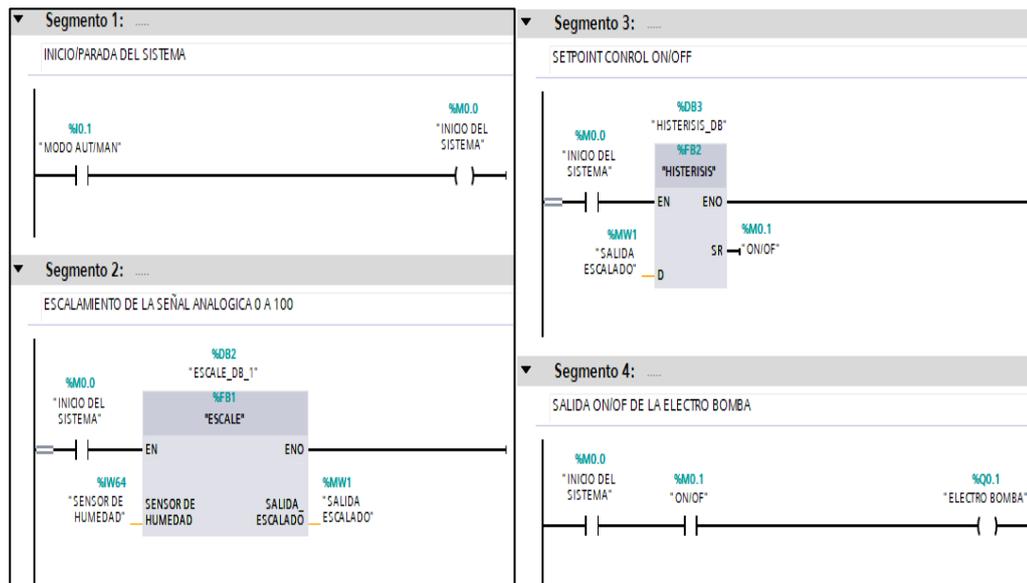
Nota: elaborado por el equipo de trabajo.

4.1.9. Programación Ladder para el PLC

Los segmentos utilizados en la programación Ladder

Figura 40

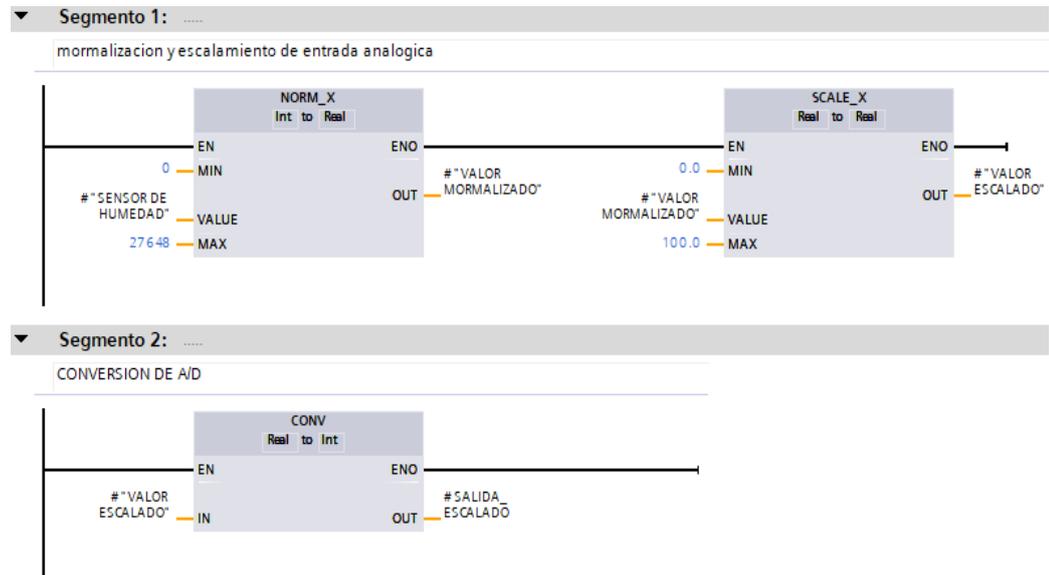
Programación Ladder para el PLC Main [OB1]



Nota: elaborado por el equipo de trabajo.

Figura 41

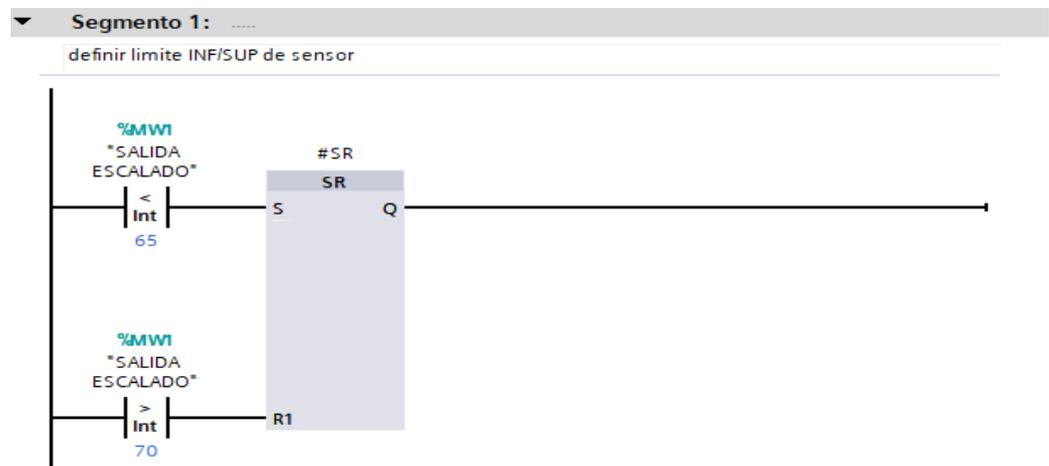
Programación Ladder para el PLC - SCALE [FB1]



Nota: elaborado por el equipo de trabajo.

Figura 42

Programación Ladder para el PLC - HISTERESIS [FB2]



Nota: elaborado por el equipo de trabajo.

4.1.10. Descripción del programa Ladder

Para encender el sistema automático movemos el selector a modo automático esta energiza la entra Modo Aut/Man (%I0.1) del PLC. Activando el



bit interno inicio del sistema (%M0.0), y si deseamos para el sistema automático. Desenzizamos moviendo el selector a modo manual o en el punto CERO.

Una vez iniciado el sistema recogemos y damos lectura los datos del sensor analógico.

“Sensor de humedad” “%IW64” el PLC recoge datos de 0-27648 donde 0= 0V y 24768=10V, estos mismos datos.

A continuación, realizamos la normalización y escalamiento respectivo que fueron llevados a los registros, el cual los datos normalizados se reflejan en la salida de la función Norm_X “Valor normalizado”

Así mismo el valor normalizado se escala con la función SCALE_X teniendo como entrada los valores “VALOR MORMALIZADO”, estos son escalados en una escala de 0 a 100% que se reflejan en la salida “VALOR ESCALADO”

Los valores escalados lo convertimos a valores digitales con la función CONV, obteniendo en la salida los valores en digital” SALIDA ESCALADO”

- Definimos el valor de consigna o SP para el sistema, en este caso queremos un sistema de control ON/OFF con histéresis es por ello que se define dos SP para límite inferior y límite superior. Para realizar esta operación tenemos la función SR, tiene dos entradas S y R. donde en la entrada S, entraran los valores establecidos por la comparativa “SALIDA ESCALADO” %MW1. Donde especificamos el límite inferíos (<). Y en la entra R el (>). Dependiendo estos valores obtenemos el SP. Y la salida de la función ON/OF “%M0.1”



Salida de la señal de activación a la electrobomba “%Q 0.1” energizado por “%M 0.1”

4.2. COMPROBAR LA EFICIENCIA EN LA OBTENCIÓN EN CANTIDAD DEL FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO FRENTE AL RIEGO CONVENCIONAL

4.2.1. Control de peso (gr) con riego automático de los forrajes hidropónicos

Tabla 6

Resultado de peso en gramos de producción de forraje con riego automático

Riego automatizado	Dia 0	Dia 5	Dia 10	Dia 15
Bandeja 1	600	800	1200	2000
Bandeja 2	600	950	1300	2100
Bandeja 3	600	900	1350	2910
Bandeja 4	600	1524	1850	3520
Bandeja 5	600	1650	3500	3850

Nota: elaborado por el equipo de trabajo.

La Tabla 6 presenta los resultados de un experimento donde se evaluó el crecimiento del forraje (pasto) utilizando un sistema de riego automático. Específicamente, muestra el peso en gramos del forraje en diferentes bandejas de cultivo a lo largo de 15 días.

Para interpretar la tabla, considera lo siguiente:

Filas: Cada fila representa una bandeja diferente en la que se cultivó el forraje.



Columnas: Cada columna indica el peso del forraje en un día específico (día 0, día 5, día 10 y día 15).

Valores: Los números en la tabla representan el peso del forraje en gramos en cada bandeja y en cada día de medición.

Según lo mostrado en la tabla 6, los valores aumentan a medida que pasan los días, lo que indica que el forraje está creciendo, donde cada bandeja tiene un patrón de crecimiento diferente, lo que sugiere que hay factores que influyen en el crecimiento de cada una de ellas por ejemplo el factor de humedad del goteo por la verticalidad de las bandejas

Se muestra que algunas bandejas muestran un aumento más rápido en el peso a partir de ciertos días, lo que podría indicar una fase de crecimiento más acelerado o cambios en las condiciones de cultivo.

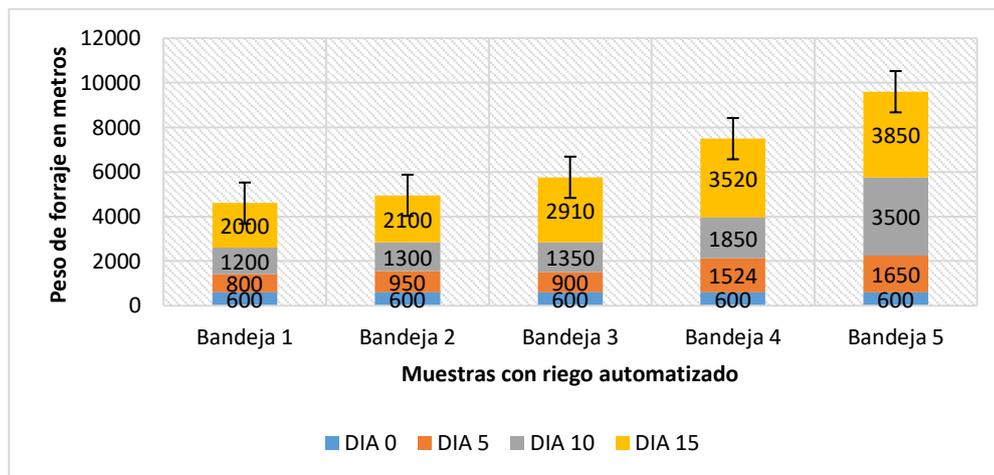
En resumen, la Tabla 6 proporciona información valiosa sobre el crecimiento de forraje bajo condiciones de riego automático. Sin embargo, para obtener una comprensión más completa, es necesario realizar un análisis más detallado de los datos y considerar otros factores que podrían estar influyendo en los resultados.

Según la tabla 6 la cantidad de agua suministrada a cada bandeja aumenta a medida que pasan los días. Esto sugiere un patrón de crecimiento o desarrollo de las plantas que requiere un mayor aporte hídrico con el tiempo. Si bien todas las bandejas muestran un incremento general, la tasa de aumento y los valores finales varían significativamente entre ellas. Esto podría indicar diferencias en el tipo de planta, tamaño, condiciones de crecimiento o necesidades específicas de cada bandeja. Por otro lado, se muestra también el aumento significativo del peso,

especialmente la 4 y la 5, se observa una aceleración en el aumento de la cantidad de agua a partir de ciertos días. Esto podría sugerir una fase de crecimiento más rápida o una mayor demanda hídrica en etapas específicas del desarrollo de las plantas.

Figura 43

Comportamiento del peso de las plantas con riego automatizado hidropónico



Nota: elaborado por el equipo de trabajo.

En la figura 40 se logra visualizar los datos en un gráfico permite apreciar mejor las tendencias de crecimiento y comparar el comportamiento de las diferentes bandejas. Asimismo, en la figura 41 se muestra la homogeneidad del crecimiento gracias al control de humedad y riego con control automatizado.

Figura 44

Evidencia de crecimiento homogéneo y pesado en los forrajes



Nota: A: Día 0: 600 gramos, B: Día 15: 3850 gramos.

4.2.2. Control de peso (GR) con riego convencional de los forrajes hidropónicos

Tabla 7

Resultado de peso en gramos de producción del forraje con riego convencional

Riego convencional	DIA 0	DIA 5	DIA 10	DIA 15
Bandeja 1	600	640	650	990
Bandeja 2	600	700	800	1090
Bandeja 3	600	700	750	1140
Bandeja 4	600	780	1374	1640
Bandeja 5	600	800	1200	2000

Nota: elaborado por el equipo de trabajo.

La Tabla 7 presenta los resultados del peso en gramos de la producción de forraje hidropónico utilizando un sistema de riego convencional, donde muestra el peso del forraje en cinco bandejas diferentes a lo largo de 15 días, con mediciones en los días 0, 5, 10 y 15.



Bandeja 1: Inició con un peso de 600 gramos. A los 5 días, el peso aumentó a 640 gramos, a los 10 días subió a 650 gramos, y al día 15 alcanzó 990 gramos. Este incremento muestra un crecimiento moderado del forraje.

Bandeja 2: También comenzó con 600 gramos. En el día 5, el peso era de 700 gramos, luego subió a 800 gramos en el día 10, y finalmente llegó a 1090 gramos en el día 15. Aquí, el crecimiento es más notable que en la bandeja 1.

Bandeja 3: Partió igualmente con 600 gramos. Al día 5, el peso fue de 700 gramos, en el día 10 fue de 750 gramos, y terminó con 1140 gramos en el día 15. El crecimiento sigue un patrón similar al de la bandeja 2.

Bandeja 4: Empezó con 600 gramos. En el día 5, su peso aumentó a 780 gramos, en el día 10 se disparó a 1374 gramos, y al día 15 alcanzó los 1640 gramos. Esta bandeja muestra un crecimiento acelerado en comparación con las anteriores.

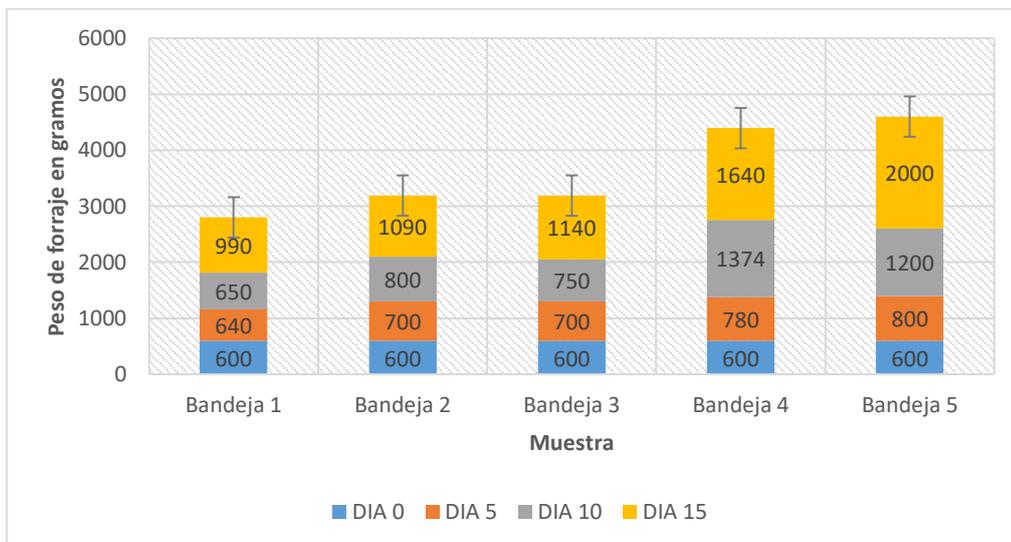
Bandeja 5: Inició con 600 gramos. Al día 5, el peso era de 800 gramos, luego subió a 1200 gramos en el día 10, y terminó con 2000 gramos al día 15. Este es el mayor incremento observado entre todas las bandejas.

Analizando los resultados, a lo largo de los 15 días, todas las bandejas muestran un aumento en el peso del forraje, lo que indica crecimiento continuo bajo el riego convencional. Por otro lado, las bandejas exhiben diferentes tasas de crecimiento. Por ejemplo, la bandeja 5 tiene el mayor incremento en peso, sugiriendo posibles variaciones en factores como la calidad de semillas, la absorción de nutrientes, o incluso la distribución del riego.

En la figura 42 se logra visualizar los datos en un gráfico permite apreciar mejor las tendencias de crecimiento y comparar el comportamiento de las diferentes bandejas. Asimismo, en la figura 43 se muestra los problemas que se tuvieron en crecimiento bajo el riego convencional

Tabla 8

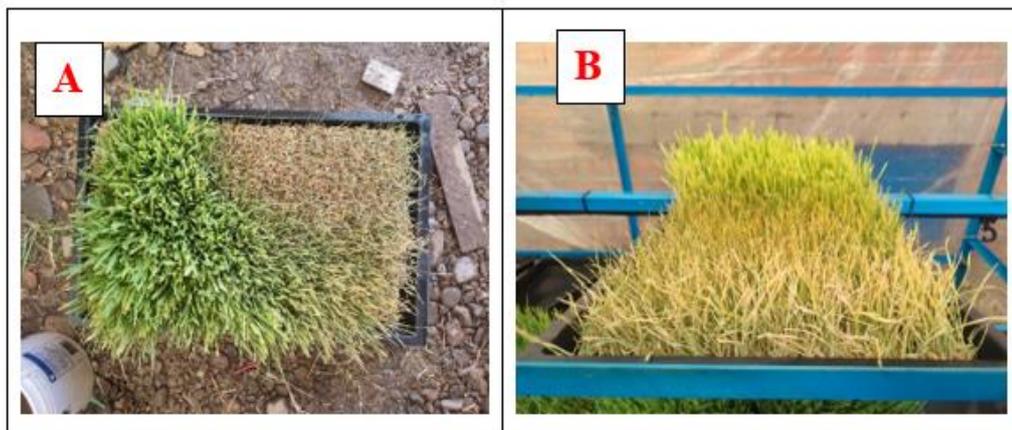
Comportamiento del peso de las plantas con riego convencional hidropónico



Nota: elaborado por el equipo de trabajo.

Figura 45

Evidencia de irregularidades en el crecimiento y otras falencias en el riego convencional



Nota: A: Día 10: irregularidad en crecimiento, B: Día 15: Escasez de agua

4.2.3. Comprobación de mejora peso del forraje verde hidropónico con diferentes tipos de riego

La producción de forraje verde hidropónico se ha convertido en una práctica innovadora para la alimentación de ganado, debido a su eficiencia en el uso de espacio y agua, así como su capacidad para generar un producto nutritivo en un corto período. La técnica de riego utilizada es un factor clave que puede influir significativamente en la calidad y el rendimiento del forraje. En este contexto, la tabla 8 presenta una comparación estadística del peso de forraje verde hidropónico cultivado bajo dos métodos de riego: automático y convencional.

Tabla 9

Estadística de comparación de medias del peso de forraje hidropónico en gramos

Estadísticas de grupo	Riego	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
Peso de forraje (gr)	Automático	20	1620,2	1061,593	237,379
	Convencional	20	912,70	389,862	87,176

Nota: elaborado por el equipo de trabajo.

En la Tabla 9 se presentan las estadísticas correspondientes al peso en gramos del forraje verde hidropónico obtenido bajo dos métodos de riego: automático y convencional. En total, se evaluaron 20 muestras para cada tipo de riego.

Riego Automático: La media del peso del forraje hidropónico fue de 1620,20 gramos, con una desviación estándar de 1061,593 gramos y una media de error estándar de 237,379 gramos. Esto indica que, en promedio, el forraje

cultivado con riego automático mostró un rendimiento significativo, aunque la alta desviación estándar sugiere una variabilidad considerable en los resultados, lo que podría implicar diferencias en condiciones de cultivo o manejo.

Riego Convencional: En comparación, el forraje cultivado mediante riego convencional presentó una media de 912,70 gramos, con una desviación estándar de 389,862 gramos y una media de error estándar de 87,176 gramos. Aunque el rendimiento promedio es notablemente inferior al del riego automático, la menor desviación estándar sugiere que los resultados fueron más consistentes entre las muestras analizadas en este método.

Tabla 10

Comparación de peso de forraje de hidropónico (gr) según tipos de riegos mediante T de Student

Prueba de muestras independientes	Prueba de Levene de igualdad de varianzas	prueba t para la igualdad de medias								
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia Inferior Superior	
Peso de forraje (gr)	Se asumen varianzas iguales	13,263	0,001	2,798	38	0,008	07,500	252,881	195,570	1219,430
	No se asumen varianzas iguales			2,798	24,03	0,010	707,500	52,881	185,618	1229,382

Nota: elaborado por el equipo de trabajo.

La Tabla 10 presenta los resultados de una prueba de hipótesis utilizando la prueba t de Student, destinada a evaluar si existen diferencias significativas en



el peso del forraje hidropónico (en gramos) entre diferentes tipos de riego. La tabla también incluye resultados de la prueba de Levene, que se utiliza para verificar la igualdad de varianzas entre los grupos.

Según la prueba de Levene: El valor F de la prueba de Levene es de 13,263 con un valor de significancia (Sig.) de 0,001. Este resultado indica que hay una diferencia significativa en las varianzas de los grupos comparados (es decir, se rechaza la hipótesis nula de igualdad de varianzas). Por tanto, se utilizarán los resultados que no asumen varianzas iguales para la interpretación de la prueba t.

Prueba t para la igualdad de medias: La prueba t mostró un valor t de 2,798 con 24,03 grados de libertad (gl) y un nivel de significancia (Sig. bilateral) de 0,010. Esto indica que existe una diferencia estadísticamente significativa en el peso del forraje entre los distintos métodos de riego, dado que el valor de p (0,010) es menor que el umbral común de 0,05.

La media de diferencia en el peso del forraje es de 707,500 gramos, lo que sugiere que, en promedio, el peso del forraje producido por un tipo de riego es 707,500 gramos mayor que el del otro tipo. La diferencia de error estándar es de 252,881 gramos, proporcionando un contexto sobre la variación de la diferencia de medias.

Intervalo de confianza: El intervalo de confianza del 95% para la diferencia de medias va de 195,570 a 1219,430 gramos. Esto significa que estamos 95% seguros de que la diferencia real en el peso del forraje entre los dos tipos de riego se encuentra dentro de este rango, lo que refuerza la significancia del resultado.

4.2.4. Control de tamaño (cm) con riego automático de los forrajes

hidropónicos

La información proporcionada en la Tabla 14 muestra cómo cambia el tamaño de las plantas de forraje hidropónico bajo riego automatizado a lo largo de diferentes días.

Tabla 11

Comportamiento del peso de las plantas con riego automatizado hidropónico

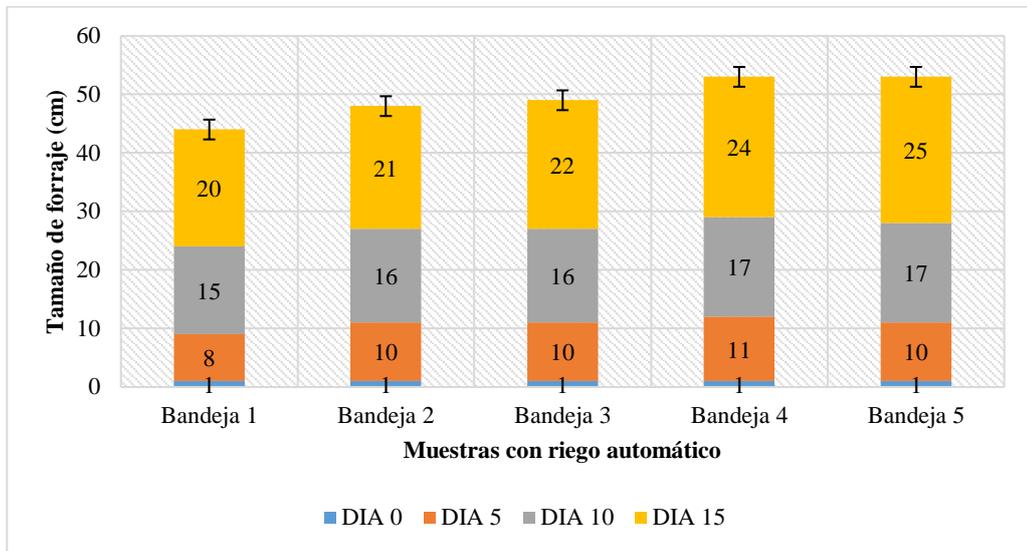
Riego automatizado	DIA 0	DIA 5	DIA 10	DIA 15
Bandeja 1	1	8	15	20
Bandeja 2	1	10	16	21
Bandeja 3	1	10	16	22
Bandeja 4	1	11	17	24
Bandeja 5	1	10	17	25

Nota: elaborado por el equipo de trabajo.

Según la tabla 10, todas las plantas comienzan con un tamaño inicial de 1 cm. El crecimiento más rápido ocurre entre el día 0 y el día 5. Para el día 15, las plantas en todas las bandejas han alcanzado un tamaño considerable, con la Bandeja 5 alcanzando el mayor tamaño (25 cm) y la Bandeja 1 el menor tamaño (20 cm). Este crecimiento progresivo y notable sugiere que el riego automatizado proporciona condiciones favorables para el crecimiento del forraje hidropónico (ver figura 42).

Figura 46

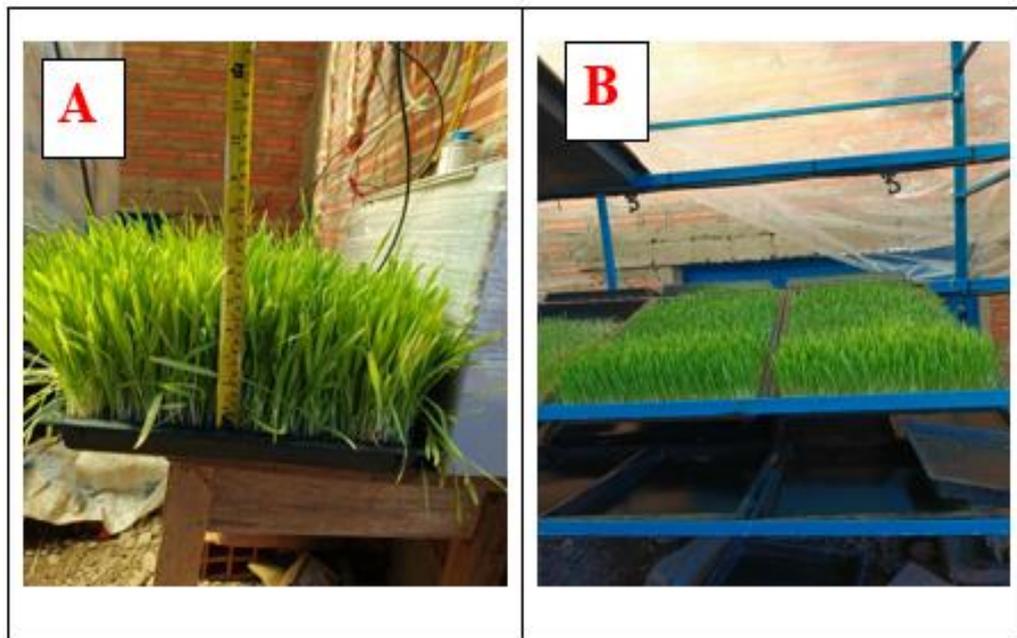
Comportamiento del peso de las plantas con riego automatizado hidropónico



Nota: elaborado por el equipo de trabajo.

Figura 47

Proceso de medición y homogeneidad de las plantas



Nota: A: Medición de día 15 (tamaño parejo), B: Medición de día 5 (tamaño parejo).

4.2.5. Control de tamaño (cm) con riego convencional de los forrajes hidropónicos

Tabla 12

Resultado de talla promedio de producción del forraje con riego convencional

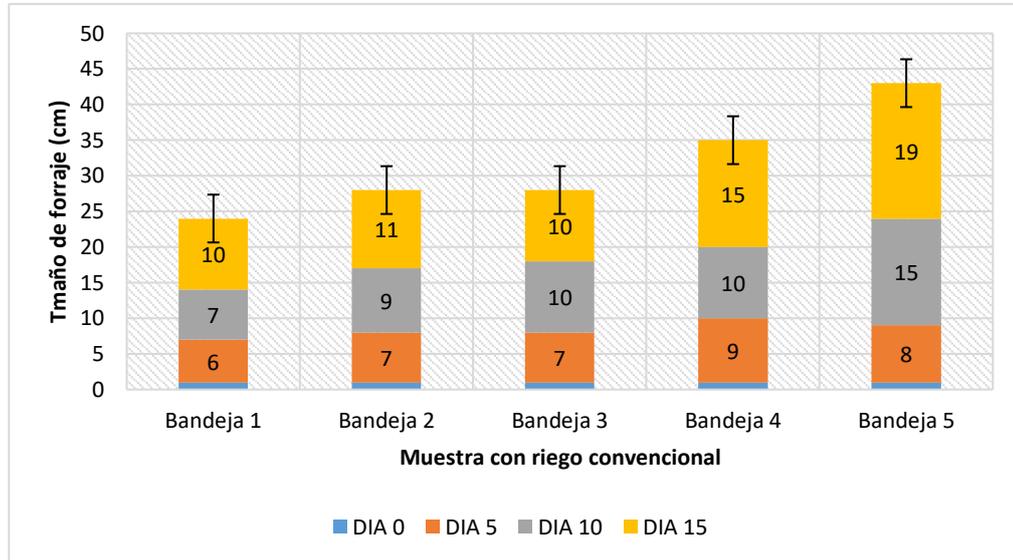
Riego convencional	Día 0	Día 5	Día 10	Día 15
Bandeja 1	1	6	7	10
Bandeja 2	1	7	9	11
Bandeja 3	1	7	10	10
Bandeja 4	1	9	10	15
Bandeja 5	1	8	15	19

Nota: elaborado por el equipo de trabajo.

Todas las plantas comienzan con una talla inicial de 1 cm, el crecimiento más rápido ocurre entre el día 0 y el día 5. Para el día 15, las plantas en todas las bandejas han alcanzado un tamaño considerable, con la Bandeja 5 alcanzando el mayor tamaño (19 cm) y la Bandeja 1 el menor tamaño (10 cm). Este crecimiento progresivo sugiere que el riego convencional proporciona condiciones adecuadas para el crecimiento del forraje hidropónico, aunque puede no ser tan efectivo como el riego automatizado en términos de crecimiento total (Ver figura 44).

Figura 48

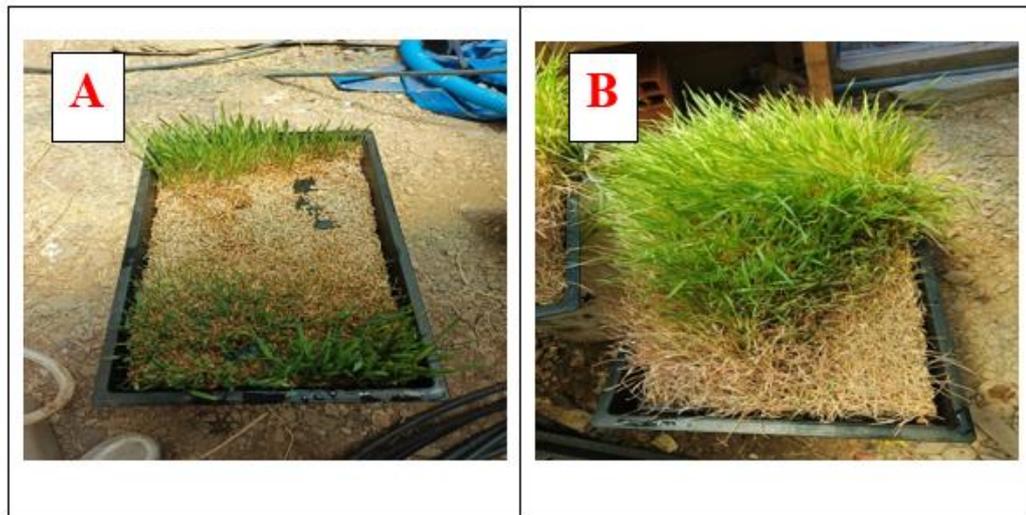
Comportamiento de la talla promedio de las plantas con riego convencional hidropónico



Nota: elaborado por el equipo de trabajo.

Figura 49

Irregularidades en el crecimiento de los forrajes con riego convencional



Nota: A: Crecimiento disparejo (convencional), B: Riego convencional de día 15.

4.2.6. Comprobación de mejora de tamaño (cm) según el tiempo de producción del Forraje Verde Hidropónico.

El forraje verde hidropónico ha emergido como una técnica eficiente y sostenible para la producción de alimento para ganado. El tamaño del forraje, medido en centímetros, es un indicador clave de su calidad y potencial alimenticio. Conscientes de esto, la presente sección se enfoca en evaluar el tamaño del forraje hidropónico obtenido a través de dos métodos de riego: automático y convencional. La Tabla 12 muestra las estadísticas descriptivas que comparan las medias del tamaño del forraje entre estos dos sistemas, aportando información valiosa para optimizar las prácticas de cultivo y maximizar el rendimiento.

Tabla 13

Estadística de comparación de medias del tamaño de forraje hidropónico en centímetros

Estadísticas de grupo	Riego	N	Mediana	Desviación estándar	Media de error estándar
Tamaño de forraje (cm)	Automático	20	12,35	8,210	1,836
	Convencional	20	7,90	5,119	1,145

Nota: elaborado por el equipo de trabajo.

En la Tabla 13 se presentan las estadísticas descriptivas del tamaño del forraje hidropónico cultivado bajo los métodos de riego automático y convencional. Ambas categorías incluyen 20 muestras, lo que permite una comparación equilibrada.

Riego Automático: La media del tamaño del forraje obtenido por este método fue de 12,35 cm, con una desviación estándar de 8,210 cm y una media

de error estándar de 1,836 cm. Esto sugiere que, en promedio, el forraje cultivado mediante riego automático no solo es más grande, sino que también presenta una variabilidad considerable en su tamaño, lo que podría reflejar diferencias en condiciones de cultivo o manejo.

Riego Convencional: En contraste, el forraje cultivado mediante riego convencional mostró una media de tamaño de 7,90 cm, junto con una desviación estándar de 5,119 cm y una media de error estándar de 1,145 cm. Aunque el tamaño promedio es notablemente inferior al del sistema automático, la menor desviación estándar indica que las muestras obtenidas bajo este método son más homogéneas en tamaño.

Tabla 14

Comparación del tamaño de forraje de hidropónico (cm) según tipos de riegos mediante T de Student

Prueba de muestras independientes	Prueba de prueba t para la igualdad de medias	Prueba de Levene de igualdad de varianzas		Prueba de prueba t para la igualdad de medias								
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	Superior	Inferior	
Tamaño de forraje (cm)	Se asumen varianzas iguales	6,933	0,012	2,057	38	0,047	4,450	2,163	0,071	8,829		
	No se asumen varianzas iguales			2,057	0,83	0,048	4,450	2,163	0,043	8,857		

Nota: elaborado por el equipo de trabajo.



La Tabla 14 presenta los resultados de una prueba de hipótesis mediante la prueba t de Student, la cual está diseñada para comparar el tamaño del forraje hidropónico (en centímetros) producido bajo dos métodos de riego distintos. La tabla también incluye los resultados de la prueba de Levene, que determina la igualdad de varianzas entre los dos grupos comparados.

Según la prueba de Levene: El valor F de la prueba de Levene es de 6,933 con un valor de significancia (Sig.) de 0,012. Este resultado indica que hay una diferencia significativa en las varianzas de los dos grupos de riego, lo que sugiere que se debe aplicar la versión de la prueba t que no asume igualdad de varianzas.

Prueba t para la igualdad de medias: El valor t resultante es de 2,057, con 31,83 grados de libertad (gl) y un valor de significancia (Sig. bilateral) de 0,048. Este resultado indica que existe una diferencia estadísticamente significativa entre los tamaños del forraje cultivado con los métodos de riego evaluados, dado que el p-valor (0,048) es menor que el umbral común de 0,05.

La diferencia de medias en el tamaño del forraje es de 4,450 cm, lo que implica que, en promedio, el forraje cultivado mediante uno de los métodos de riego es 4,450 cm más grande que el cultivado con el otro. La diferencia de error estándar es de 2,163 cm, lo que proporciona información sobre la precisión de la estimación de la diferencia de medias. El intervalo de confianza del 95% para la diferencia de medias se encuentra entre 0,071 cm y 8,829 cm. Esto indica que estamos 95% seguros de que la diferencia real en el tamaño del forraje entre los dos métodos de riego está dentro de este rango.



4.3. DISCUSIÓN

La investigación sobre la producción de forraje verde hidropónico constituye un área de creciente interés tanto a nivel internacional como nacional. Los antecedentes revisados evidencian que la incorporación de sistemas automatizados y tecnologías innovadoras ha mejorado la eficiencia y calidad de los cultivos hidropónicos. Este estudio se enfocó en comparar dos métodos de riego empleados en la producción de forraje verde hidropónico: riego automático y riego convencional. Los resultados obtenidos se contrastaron con investigaciones previas, destacando la relevancia de la automatización y el control preciso en la agricultura.

Los hallazgos revelaron que el riego automático supera significativamente al riego convencional en términos de rendimiento, donde en las bandejas con riego automático, el peso máximo alcanzado fue de 3,850 gramos al día 15 del ciclo de cultivo, mientras que las bandejas con riego convencional llegaron solo a 2,000 gramos (ver Tablas 7 y 9). Estos resultados, corroborados mediante un análisis de varianza (T de Student), mostraron un valor F de 8.94 y un valor p de 0.000, indicando diferencias estadísticamente significativas entre ambos métodos, este desempeño destaca al riego automático como una alternativa más eficiente para la producción de forraje verde hidropónico.

La evidencia obtenida coincide con estudios como el de Espinosa y Cerón (2022) quienes concluyeron que los sistemas automatizados no solo reducen costos operativos, sino que también optimizan recursos clave como agua y nutrientes, mejorando la producción general, además, subrayaron la importancia de implementar tecnologías sostenibles, como sistemas de riego automatizados alimentados por energía solar, para transformar la eficiencia en la agricultura hidropónica. En línea con estas observaciones, el presente estudio confirma que el riego automático promueve un crecimiento superior



del forraje, al tiempo que responde a la necesidad de prácticas agrícolas sostenibles y productivas.

Los resultados de esta investigación y más el contraste con el antecedente se resalta que el riego automático no solo promueve un crecimiento superior del forraje, sino que también representa una solución viable para la mejora de la productividad agrícola, alineándose con las tendencias actuales hacia la sostenibilidad y la optimización de recursos en la agricultura moderna. Este enfoque puede ser clave para enfrentar los desafíos de producción alimentaria en el futuro y promover prácticas más sostenibles en el sector agrícola.

Un factor crítico en esta investigación fue el control de la humedad, esencial para el crecimiento óptimo de cultivos hidropónicos, donde el sistema de riego automático mantuvo niveles constantes de humedad alrededor del 66% durante los 15 días de evaluación (ver Tabla 4), en contraste con las fluctuaciones observadas en el riego convencional, que variaron entre el 15% y el 84% (ver Tabla 2). Este control preciso resultó en un crecimiento uniforme y acelerado en las bandejas con riego automático, mientras que en el riego convencional se observaron irregularidades (ver Figuras 26 y 27). Estos resultados respaldan las conclusiones de Llugsha y Moreno (2020) quienes señalan que los sistemas automatizados permiten regular factores críticos como humedad y temperatura, optimizando el crecimiento del forraje. Este patrón es coherente con el estudio de Murcia y Chacón (2018) quienes destacaron la importancia de un sistema automatizado para asegurar condiciones óptimas de crecimiento, lo que se traduce en un forraje de mayor calidad.

Mediante el contraste de los resultados de este estudio con antecedentes, se destaca la superioridad del riego automático frente al riego convencional, evidenciada por



un aumento significativo en el peso del forraje y un control más preciso de los factores críticos de cultivo, como la humedad, resultados que no solo confirman la eficacia de la automatización en la agricultura hidropónica, sino que también enfatizan su relevancia como herramienta para abordar los desafíos actuales de la producción agrícola. El análisis presentado subraya la necesidad de adoptar prácticas tecnológicas avanzadas que optimicen los recursos, incrementen la productividad y respondan a las demandas de sostenibilidad en el sector agrícola. En este contexto, la automatización emerge como un pilar fundamental para garantizar la seguridad alimentaria y la resiliencia frente a las exigencias del futuro.



V. CONCLUSIONES

PRIMERA: Referente al objetivo general: La implementación del sistema de control de humedad basado en un PLC para la producción de Forraje Verde Hidropónico en la Comunidad Santa Rosa de Chaccha ha demostrado no solo ser un enfoque innovador y eficiente para la automatización del riego, sino que también ha resultado en mejoras significativas en la producción de forraje. La capacidad del sistema para mantener niveles adecuados de humedad con variaciones controladas, y su flexibilidad operativa, aseguran su pertinencia y efectividad frente a métodos tradicionales. En consecuencia, este proyecto no solo contribuye al aumento de la producción agrícola local, sino que también promueve prácticas sostenibles, favoreciendo la seguridad alimentaria y el desarrollo económico de la comunidad.

SEGUNDA: Referente al segundo objetivo específico: El sistema permite operar en modos automático y manual, garantizando flexibilidad y seguridad en caso de fallos en el sensor. La programación se realiza en el software TIA Portal utilizando el lenguaje Ladder, lo que facilita la integración y el control del sistema. En conclusión, el proyecto demuestra un enfoque sistemático y eficiente para la automatización del riego en cultivos hidropónicos, asegurando un manejo adecuado de la humedad y mejorando la sostenibilidad del proceso productivo.

TERCERA: Referente al tercer objetivo específico: Se comprueba una mejora significativa ($p < 0,05$) en el peso, siendo el mejor peso con riego automático a los 15 días con 2876 gramos a diferencia de 1372 gramos con



riego convencional en la misma cantidad de días. De la misma forma en talla o tamaño de forraje, en lo cual se obtuvo con riego automático a los 15 días con una talla de 22.4 centímetros a diferencia de 13 cm con riego convencional en el tiempo de producción del Forraje Verde Hidropónico.



VI. RECOMENDACIONES

PRIMERA: Se recomienda la implementación en distintos ambientes y realizar un monitoreo y evaluación del sistema de control en diferentes lugares de humedad basado en un PLC en la producción de Forraje Verde Hidropónico en la Comunidad Santa Rosa de Chaccha, con el fin de identificar oportunidades de mejora y optimización.

SEGUNDA: Se recomienda realizar un análisis comparativo más exhaustivo entre los datos obtenidos del sistema de control de humedad basado en sensor de 4 a 20 mA y los métodos de riego convencionales. Este análisis debe contemplar diferentes condiciones climáticas a lo largo de varias temporadas para comprender mejor las variaciones en la humedad del suelo y su impacto en la producción del forraje.

TERCERA: Se recomienda establecer un protocolo de capacitación continuo para los operadores del sistema, enfocado en el uso del software TIA Portal y el manejo de los modos automático y manual del sistema. Esto garantizará que los usuarios estén preparados para abordar cualquier eventualidad, incluidas las fallas del sensor, y maximizará la efectividad del riego automatizado. Además, se sugiere implementar un sistema de monitoreo y mantenimiento preventivo para asegurar el funcionamiento óptimo del sistema, lo que contribuirá a mejorar la sostenibilidad y la eficiencia del proceso productivo en los cultivos hidropónicos.

CUARTA: Se recomienda promover la adopción del sistema de riego automático en la producción de Forraje Verde Hidropónico, dado que se ha evidenciado una mejora significativa en el peso y tamaño del forraje en comparación



con el riego convencional. Para maximizar estos beneficios, se sugiere realizar talleres de capacitación para los agricultores locales, centrados en el manejo y mantenimiento del sistema de riego automático. Asimismo, es aconsejable llevar a cabo un seguimiento continuo del rendimiento del forraje a lo largo del tiempo para recopilar datos adicionales que respalden la implementación generalizada de esta tecnología, promoviendo así prácticas agrícolas más eficientes y sostenibles.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrango, S. (2020). *Implementación de un invernadero inteligente mediante la utilización de dispositivos eléctricos, electrónicos y mecánicos para la producción de Begonia (Begonia Semperflorens L.)* En el invernadero “Vivero Girasol” ubicado en la parroquia de Nayón-Quito-. [Tesis de Grado]. Universidad de las fuerzas armadas, Latacunga.
- Astudillo, M. (2016). *Diseño e implementación de un sistema de control de temperatura y humedad para el cultivo de lechuga Hidropónico*. [Tesis de Pregrado]. Universidad Nacional de Piura, Piura.
- Ata, M. (2016). *Effect of Hydroponic Barley Fodder on Awassi Lambs Performance*. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 6(8), 360 - 64 . <https://doi.org/ISSN 2225-093X>.
- Barbado, J. (2005). *Hidroponía. Tu empresa de cultivos en agua*. Editorial ALBATROS.
- Barroso, A. (2015). *Control y monitorización de un invernadero a través de una aplicación móvil*. [Tesis de Maestría]. Universidad Politécnica de Madrid, España.
- Behar, D. S. (2008). *Metodología de la Investigación*. Editorial Shalom.
- Beltrano, J., & Gimenez, D. (2015). *Cultivo en hidroponía* (Primera Edición ed.). Edulp integra la Red de Editoriales Universitarias Nacionales (REUN). <https://doi.org/ISBN 978-950-34-1258-9>
- Betancourth, L. (2016). *Sensor de humedad del suelo tipo sonda con sistema de monitoreo para aplicaciones en agricultura de precisión*. [Tesis de Pregrado]. Universidad de los Llanos, Colombia.
- Charaja, F. (2019). *El Mapic de la investigación científica*. Corporación Meru E.I.R.L.
- CloudTec. (2024). *Tienda Industrial de Automatización*. Marketplace Industrial Perú : <https://cloudtec.pe/>



- Electricos generales. (2024). *Pulsador Tipo Hongo X22"-BS542*. Electricos Generales:
<https://electricosgenerales.com.pe/product/pulsador-tipo-hongo-xb2-bs542/>
- Espinosa, S., & Cerón, B. (2022). *Diseño e implementación de un sistema electrónico para cultivo hidropónico autónomo utilizando energía solar*. [Tesis de pregrado]. Unidad Central del Valle, Valle.
- Gilsanz, J. (2007). *Hidroponía*. Prontográficas S.A.
- Guadarrama, O. (2014). *Automatización de clima para un invernadero*. [Tesis de Pregrado]. Instituto Politécnico Nacional, México.
- Hernandez-Sampieri, H., & Mendoza, C. P. (2018). *Metodología de Investigación las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (Primera Edición ed.). (S. d. Interamericana Editores, Ed.) Mexico: Mc Graw Hill Education.
<https://doi.org/ISBN: 978-1-4562-6096-5>
- Inga, J. (2020). *Efecto de la aplicación de bioestimulantes en la producción de forraje verde hidropónico de cebada (Hordeum vulgare L.) cultivar centenario bajo condiciones de invernadero en Huaraz - Ancash 2019*. [Tesis de Pregrado]. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Huaraz.
- INIA. (2015). *INIA La Cruz enseña a producir forraje verde hidropónico*. Proyecto territorial del INIA La Cruz replicará el modelo INIA de Producción de Forraje Verde Hidropónico a muy bajo costo:
<https://www.inia.cl/2015/05/26/prodesales-de-petorca-ensenaran-a-los-productores-a-producir-forraje-verde-hidroponico/>
- Jinde, J. (2022). *Microhuerto inteligente aplicado al cultivo hidropónico de la lechuga*. [Tesis de Pregrado]. Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.
- Kim, D., kim, G., lee, S. p., & lee, W. (2019). *Optimization of growth conditions for forage production in a fresh forage growing system*. 31 (10), 759 - 767 .
<https://doi.org/DOI 10.9755/ejfa.2019.v31.i10.2016>.
- Lacarra, A., & García, C. (2011). *Validación de cinco sistemas hidropónicos para la producción de jitomate (Lycopersicum esculentum Mill.) y lechuga (Lactuca*



- sativa L.) en invernadero. [Trabajo de grado]. Universidad Veracruzana, México.
- Lizcano, J., & Santos, L. (2019). *Automatización de la producción de Forraje verde hidropónico y abono orgánico en la granja Cunícola Autosustentable en el Municipio de Mutiscua - Colombia. Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Información RISTI, 1(E25), 489 - 504.*
- Llugsha, L., & Moreno, W. (2020). *Diseño de un módulo de cultivos Hidropónico de forrajes verdes para la crianza de animales de corral sustentado en IoT. [Tesis de Pregrado]. Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador.*
- López - Anchondo, A., López - Ortiz, C., Mejía - Hernández, C., & López de la Cruz, D. (2016). *Hidroponía, una alternativa sustentable para el cultivo sin suelo: Características y aspectos básicos. Revista Tópicos de sustentabilidad: un reto permanente, IV(1), 31 - 54.*
- Mamani, M., Villalobos, M., & Herrera, R. (2017). *Sistema web de bajo costo para monitorear y controlar un invernadero agrícola. Revista Chilena de Ingeniería. INGENIARE, 25(4). <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052017000400599>*
- Mateus, D., Montenegro, C., Romero, L., & Méndez, B. (2022). *Automatización de un cultivo hidropónico. Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada, 2(38), 54 - 60.*
- Moreno, I. (2011). *Automatización de un invernadero. [Tesis de Grado]. Universitat Rovira I Virgili.*
- Murcia, J., & Chacón, L. (2018). *Diseño de un sistema automático de cultivo hidropónico para forraje verde. [Tesis de Pregrado]. Universidad de la Salle, Bogotá.*
- OEM. (2024). *Bomba Periférica PEm50 0.5hp USR. OEM Constrols S.A.C.: <https://oemcontrols.com.pe/producto/bomba-periferica-pem50-0-5hp-usr/>*



- Oñate, B. (2022). *Implementación de un sistema de integración curricular presentado como requisito para la obtención del título de tecnólogo superior de electromecánica. [Tesis de Pregrado]*. Escuela Politécnica Nacional, Quito.
- Orjuela, W. (2015). *Evaluación del uso de forraje verde hidropónico de trigo como alternativa nutricional en la producción de leche del ganado ovino en Turmeque. [Tesis de Pregrado]*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, Tunja.
- Orocollo, J. B. (2015). *Memoria descriptiva Quilcapuncu*. Slideshare:
<https://es.slideshare.net/jaimebernabeorocollollanque/memoria-descriptiva-quilcapuncu>
- Pacco, J. (2018). *Producción de forraje verde hidropónico de cebada y avena con adición de fitohormonas en Cabana - Puno. [Tesis de Pregrado]*. Universidad Nacional del Altiplano, Puno.
- Paggi, M. (2013). *Identificación de series de suelos mediante el uso de sensores de conductividad eléctrica aparente en el sudeste bonaerense. Revista Ciencias del Suelo, 31(2), 175 - 188.*
- Parra, A. (2019). *Implementación de un sistema controlador de factores climatológicos y cultivos de pitahaya hidropónica. [Tesis de Pregrado]*. Universidad Tecnológica del Perú, Lima.
- Pérez, J. (2018). *Un invernadero inteligente para optimizar los cultivos. Revista Universidad EAFIT-Periodismo científico, 1(1), 136 - 140.*
- Securitech. (2023). *Sistema de Automatización Industrial*. Automatización:
<https://securitechperu.com/servicios/automatizacion-2/sistema-de-automatizacion-industrial/>
- Seuret, D., Palillero, O., & Velásquez, J. (2020). *Diseño de un sistema inteligente para el control automatizado de invernaderos. [Tesis de Maestría]*. Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca.



Shaimaa, B., Zeinam, B., & Genaiby, M. (2019). Study or environmental factors affecting the growth and production of barley plant by using artificial neural network technology. *Technology*, 27, 1843 - 1851.

SMATIC. (2014). *Controlador programable S7-1200*.

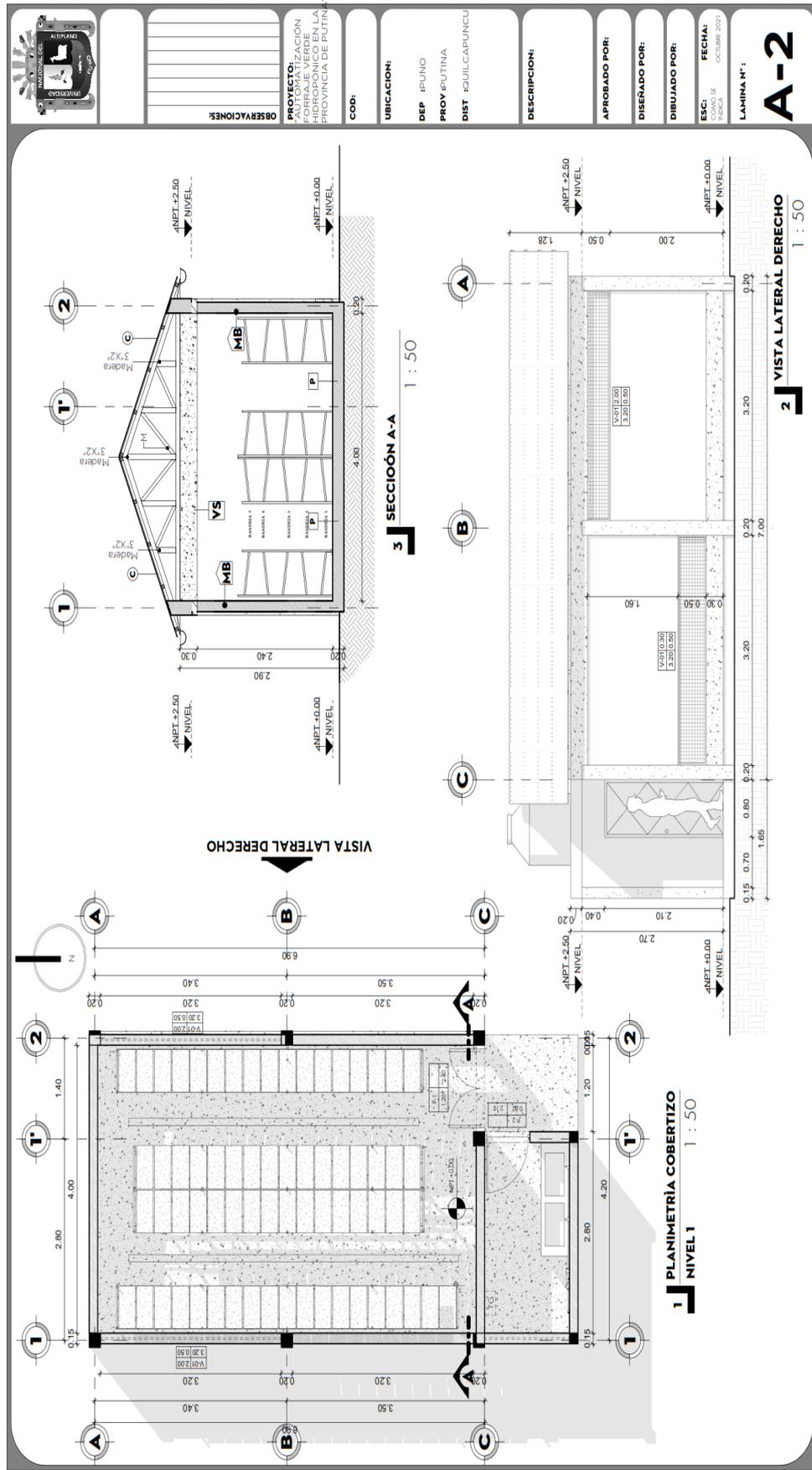
https://cache.industry.siemens.com/dl/files/622/91696622/att_42774/v1/s71200_system_manual_es-ES_es-ES.pdf

Urdiales - Ponce, V., & Espín - Ortega, J. (2018). *Monitoreo de un sistema hidropónico NFT a escala usando arquitectura arduino (PARTE 1)*. . *Revista Tecnología en Marcha*, 31 (2), 147 - 158. <https://doi.org/10.18845/tm.v31i2.3632>

Zagal - Tranquilino, M. M.-G., Salgado - Moreno, S., Escalera - Valente, F., Peña - Parra, B., & Carrillo - Díaz, F. (2016). *Producción de forraje verde hidropónico de maíz con riego de agua cada 24 horas*. *Revista Abanico Veterinario*, 6(1).

ANEXOS

Anexos 1 Plano general de diseño de invernadero





Anexos 2 Costo total de construcción de material hidropónica

N°	Material.	U.	Cantidad	Precio U.(S/.)	Importe (S/.)
01	válvula de bola de 8 mm	Unidad	06	10	60
02	Válvula de bola de 12.7 mm	Unidad	02	15	30
03	Micro aspersores 6mm	Unidad	20	10	200
04	Manguera HDP de 8mm, 50m y accesorios	Unidad	01	1.50	75
05	Bandejas hidrópicas	Unidad	100	08	800
06	Ángulos de metal 6m x 25.4mm x 25.4 mm	Unidad	10	45	450
07	Tubos metálicos rectangulares 6m x 38.1mm x 50.8mm	Unidad	08	65	520
08	Penos y accesorios.	Unidad	200	0.50	100
09	Pintura para metal	Unidad	02	45	90
10	Tanque de agua de 1100 litros	Unidad	01	800	800
11	Tubo de PVC 3m x 38.1mm y accesorios	Unidad	02	8	16
12	Cubetas de agua 20 litros	Unidad	05	20	100
		TOTAL			3241



Anexos 3 Costo total de construcción de material parte eléctrica

N°	Material.	U.	Cantidad	Precio U.(S/.)	Importe (S/.)
01	plc s7-1200 ac/dc/rly siemens.	Unidad	01	1500	1500
02	sensor de humedad hts	Unidad	01	300	300
03	Motor eléctrico ½ Hp	Unidad	01	250	250
04	Termomagnético 16 Amp	Unidad	01	30	30
05	Diferencial de 16 Amp	Unidad	01	70	70
06	Contactador de 18 Amp	Unidad	01	60	60
07	Relé térmico de 10 Amp	Unidad	01	45	45
08	Fuente poder Switchching de 24 VDC 5Amp	Unidad	01	70	70
09	Luces piloto	Unidad	03	5	15
10	Pulsadores	Unidad	02	8	16
11	Selector de tres posiciones	Unidad	01	10	10
12	Gabinete 30cm x 50cm x 10cm.	Unidad	01	180	180
13	Accesorios	Unidad	01	100	100
TOTAL					2646



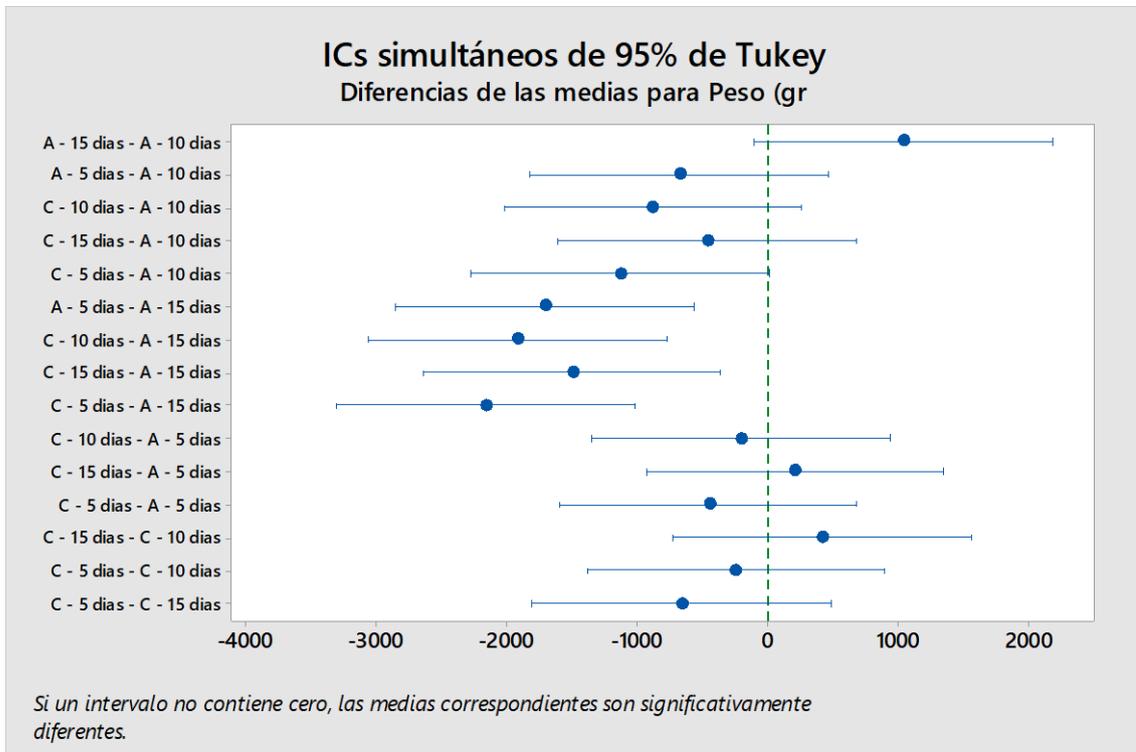
Anexos 4 Costo total de construcción de material infraestructura del invernadero

N°	Material.	U.	Cantidad	Precio U.(S/.)	Importe (S/.)
01	Ladrillos	Unidad	2000	1.00	2000
02	Hormigón	Unidad	04	100	400
03	Fierro 12.70 mm	Unidad	10	45	450
04	Alambre de N° 16	Unidad	10	12	120
	Calamina metálica				
05	0.22mm x 3.60m x 0.80m	Unidad	15	45	675
	Calamina				
06	transparente 3.6m x 0.44mm	Unidad	06	64	384
	Tijerales de Maderas				
07	2 x 3 pulgadas	Unidad	20	5	100
	Vigas de madera 5x3				
08	plg x 6m	Unidad	07	35	245
09	Clavos de calamina	Unidad	03	10	30
10	Clavos de 3 plg		01	10	10
11	Clavos de 5 plg		10	10	10
12	Cemento		30	27.50	825

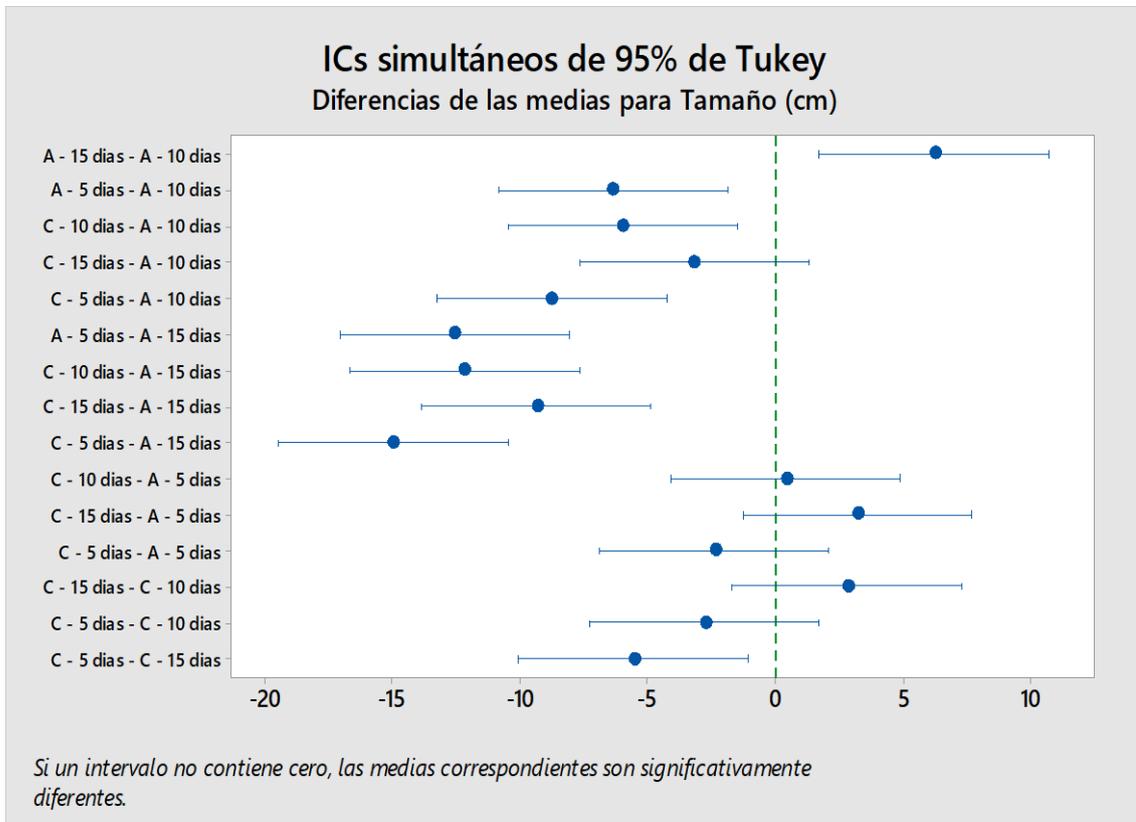


13	Ventanas	05	150	750
14	puerta	02	250	500
TOTAL				6499

Anexos 5 Intervalos de confianza de análisis de varianza (T de Student), para peso de forraje



Anexos 6 Intervalos de confianza de análisis de varianza (T de Student), para talla promedio de forraje



Anexos 7 Evidencias fotográficas de sembrío del forraje a sembrar





Anexos 8 Evidencias fotográficas de configuración y puesta en funcionamiento







Anexos 9 Declaración jurada de autenticidad de tesis



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



VRI
Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Elmer Moya Condiri
identificado con DNI 73514795 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
Ingeniería Electrónica

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:
"Diseño e implementación de un sistema de control de Humedad basado en un Controlador Lógico
Programable para producción de forraje verde hidropónico en la comunidad Santa Rosa de Chaccha
– distrito de Quilcapuncu – provincia de San Antonio de Putina – región Puno 2022."

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 10 de diciembre del 2024


FIRMA (obligatoria)



Huella



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo José Domingo Huamán Quispe
identificado con DNI 70841055 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
Ingeniería Electrónica

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:
"Diseño e implementación de un sistema de control de Humedad basado en un Controlador Lógico
Programable para producción de forraje verde hidropónico en la comunidad Santa Rosa de Chaccha
– distrito de Quilcapuncu – provincia de San Antonio de Putina – región Puno 2022."

Es un tema original.

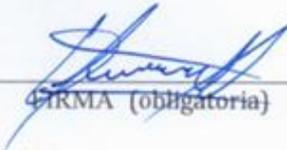
Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 10 de diciembre del 2024


FIRMA (obligatoria)



Huella



Anexos 10 Autorización para el depósito de tesis en el Repositorio Institucional



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectoría
de Investigación



Repositorio
Institucional

AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Elmer Moya Condori
identificado con DNI 73514795 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Electrónica.

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

"Diseño e implementación de un sistema de control de Humedad basado en un Controlador Lógico Programable para producción de forraje verde hidropónico en la comunidad Santa Rosa de Chaccha – distrito de Quilcapuncu – provincia de San Antonio de Putina – región Puno 2022."

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 10 de diciembre del 2024


FIRMA (obligatoria)



Huella



AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo José Domingo Huamán Quispe,
identificado con DNI 70841055 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Electrónica.

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

"Diseño e implementación de un sistema de control de Humedad basado en un Controlador Lógico Programable para producción de forraje verde hidropónico en la comunidad Santa Rosa de Chaccha – distrito de Quilcapuncu – provincia de San Antonio de Putina – región Puno 2022."

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 10 de diciembre del 2024


FIRMA (obligatoria)



Huella