



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE AGROPECUARIA**

**DISEÑO DE SISTEMA DE INVERNADERO
AUTOMATIZADO PARA FORRAJE VERDE
HIDROPONICO DE MAÍZ (*Zea mays*)
IMPLEMENTANDO EL PROGRAMA ARDUINO**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Requisito parcial para la obtención del título de:

INGENIERO AGROPECUARIO

Autor: Jonathan Daniel Caiche Reyes

**LA LIBERTAD
2024**



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE AGROPECUARIA**

**DISEÑO DE SISTEMA DE INVERNADERO
AUTOMATIZADO PARA FORRAJE VERDE
HIDROPONICO DE MAÍZ (*Zea mays*) IMPLEMENTANDO
EL PROGRAMA ARDUINO**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Requisito parcial para la obtención del título de:

INGENIERO AGROPECUARIO

Autor: Jonathan Daniel Caiche Reyes

Tutora: Ing. Verónica Cristina Andrade Yucailla, Ph. D.

**LA LIBERTAD
2024**

TRIBUNAL DE GRADO

Trabajo de Integración Curricular presentado por **JONATHAN DANIEL CAICHE REYES** como requisito parcial para la obtención del grado de Ingeniero Agropecuario de la Carrera de Agropecuaria.

Trabajo de Integración Curricular **APROBADO** el: 22/12/2023



Firmado electrónicamente por:
**VERONICA CRISTINA
ANDRADE YUCAILLA**

Ing. Verónica Andrade Yucailla, Ph. D.
**DIRECTORA DE CARRERA
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**



Firmado electrónicamente por:
**DARWIN GUSTAVO
JAQUE PUCA**

Ing. Darwin Jaque Puca, Mgtr.
**PROFESOR ESPECIALISTA
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



Firmado electrónicamente por:
**VERONICA CRISTINA
ANDRADE YUCAILLA**

Ing. Verónica Andrade Yucailla, Ph. D.
**PROFESORA TUTORA
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



Firmado electrónicamente por:
**NADIA ROSAURA
QUEVEDO PINOS**

Ing. Nadia Quevedo Pinos, Ph. D.
**PROFESORA GUÍA DE LA UIC
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



Firmado electrónicamente por:
**WASHINGTON VIDAL
PERERO VERA**

Ing. Washington Perero Vera, Mgtr.
ASISTENTE ADMINISTRATIVO

AGRADECIMIENTOS

Doy gracias a Dios por la fortaleza, sabiduría y guía divina que me ha otorgado durante este viaje académico. Su gracia ha sido mi luz en momentos desafiantes, y le agradezco por ser mi fuente de inspiración y paz. Este logro es un testimonio de su bondad y misericordia, y reconoce su presencia constante en cada paso de esta travesía académica.

Quisiera expresar mi sincero agradecimiento a todas las personas que contribuyeron de manera significativa a la realización de esta tesis. Su apoyo, orientación y ánimo han sido fundamentales para culminar este proyecto.

Expreso mi profundo agradecimiento a la Universidad por brindarme la oportunidad de realizar esta investigación. Su compromiso con la excelencia académica y los recursos proporcionados han sido fundamentales para el desarrollo y culminación de este proyecto. Agradezco la inspiración y el ambiente de aprendizaje que esta institución ha ofrecido, contribuyendo significativamente a mi crecimiento académico y profesional.

A mi asesora, Ing. Verónica Cristina Andrade Yucailla, agradezco profundamente su orientación experta, paciencia y dedicación a lo largo de este proceso de investigación. Sus valiosos aportes y consejos han sido fundamentales para el desarrollo de este trabajo.

A mi querida familia, quienes han sido mi fuente inagotable de amor y apoyo moral. Gracias por su paciencia, comprensión y aliento constante. Este logro no hubiera sido posible sin su respaldo incondicional.

Agradezco a mis amigos y colegas que compartieron sus ideas, brindaron perspectivas únicas y ofrecieron su amistad durante este viaje académico. Su compañía hizo que este proceso fuera más enriquecedor y llevadero.

Quiero expresar mi gratitud a los participantes de este estudio, cuya colaboración y participación fueron esenciales para la recopilación de datos y el éxito de esta investigación.

DEDICATORIA

A mis padres, fuente inagotable de amor y sacrificio, cuyo apoyo incondicional ha sido la fuerza impulsora de mis logros. A mi hermana, por su alegría contagiosa que ha iluminado cada paso de este camino.

A mi asesora, Ing. Verónica Cristina Andrade Yucailla, cuya sabiduría y guía experta han sido la brújula en este viaje de diseño y automatización. A mis amigos y colegas, compañeros en las risas y desafíos que han enriquecido este proceso.

A Dios, por ser la fuente de sabiduría y fortaleza en cada fase de este proyecto. Esta tesis es un testimonio de su gracia inquebrantable.

A todas las manos que han contribuido, directa o indirectamente, en la realización de este trabajo, les dedicamos con gratitud este esfuerzo conjunto. Que este proyecto sea un pequeño paso hacia un futuro más sostenible.

JONATHAN CAICHE

RESUMEN

El proyecto de integración curricular se realizó en la provincia de Santa Elena, parroquia Colonche comunidad de Las Lomas, con la implementación de un sistema de invernadero automatizado para la producción de forraje verde hidropónico de maíz, haciendo uso del programa Arduino. La ejecución del proyecto utilizando el software AutoCAD, garantiza la eficiencia y precisión del modelo, que incluye una bandeja germinadora de pasto. La elección cuidadosa de materiales, basada en el presupuesto y la disponibilidad local, resulta en una estructura de madera resistente con una cubierta de que rodee el invernadero para mantener la temperatura, junto con un sistema de ventilación y riego por goteo o aspersión para condiciones óptimas de cultivo. El invernadero automatizado toma decisiones autónomas mediante sensores y códigos de programación, incorporando componentes como el sensor de humedad FC-28, electrobomba controlada por Arduino, sensor de temperatura DHT-11, sensor de distancia ultrasónico, bombilla incandescente y led como indicador visual. Las pruebas en Tinkercad validan su utilidad en la concepción y colaboración digital. Las pruebas físicas revelan una eficiencia destacada en el uso del agua, control térmico personalizado, estrategias de ahorro energético y una optimización significativa en la cosecha mediante la detección automática de la altura de las plantas. Este enfoque no solo mejora la cosecha, sino que también contribuye a una gestión general eficiente del invernadero, permitiendo una planificación más efectiva del espacio y optimización de recursos.

Palabras claves: Arduino, Automatización, Hidroponía, Microcontroladores, Tinkercad

ABSTRACT

The curricular integration project was conducted in the province of Santa Elena, Colonche parish, Las Lomas community, through the implementation of an automated greenhouse system for hydroponic green corn fodder production, utilizing the Arduino program. Project execution using AutoCAD software ensures the efficiency and precision of the model, incorporating a grass germination tray. Careful selection of materials, based on budget constraints and local availability, results in a sturdy wooden structure with a covering surrounding the greenhouse to maintain temperature, coupled with a ventilation system and drip or spray irrigation for optimal cultivation conditions. The automated greenhouse makes autonomous decisions through sensors and programming codes, integrating components such as the FC-28 humidity sensor, Arduino-controlled electric pump, DHT-11 temperature sensor, ultrasonic distance sensor, incandescent bulb, and LED for visual indication. Tinkercad tests validate its utility in digital conception and collaboration. Physical tests reveal outstanding water usage efficiency, customized thermal control, energy-saving strategies, and significant harvest optimization through automatic plant height detection. This approach not only enhances crop yield but also contributes to overall efficient greenhouse management, enabling effective space planning and resource optimization.

Key words: Arduino, Automation, Hydroponics, Microcontrollers, Tinkercad.

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

El presente Trabajo de Integración Curricular titulado “**DISEÑO DE SISTEMA DE INVERNADERO AUTOMATIZADO PARA FORRAJE VERDE HIDROPONICO DE MAÍZ (*Zea mays*) IMPLEMENTANDO EL PROGRAMA ARDUINO**” y elaborado por **Jonathan Daniel Caiche Reyes**, declara que la concepción, análisis y resultados son originales y aportan a la actividad científica educativa agropecuaria.

Transferencia de derechos autorales.

"El contenido del presente Trabajo de Graduación es de mi responsabilidad; el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Universidad Estatal Península de Santa Elena".



Firmado electrónicamente por:
**JONATHAN DANIEL
CAICHE REYES**

Firma del estudiante

INDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
Problema Científico:	2
OBJETIVOS	2
<i>Objetivo General:</i>	2
<i>Objetivos Específicos:</i>	2
Hipótesis:.....	2
CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
1.1 Aplicación de tecnología en la agricultura	3
1.2 Sistema de Invernadero Automatizado.....	3
1.3 Invernadero inteligente.....	3
1.4 Importancia de la elaboración de un prototipo con sistemas de control de variables atmosféricas automatizado	3
1.5 Descripción del forraje verde hidropónico y su uso en la alimentación animal.....	4
1.6 Ventajas y desventajas de cultivar maíz hidropónico como forraje	4
1.7 Requisitos de crecimiento y factores que afectan la producción de forraje verde de maíz	4
1.8 ¿Qué es Arduino?	5
1.9 Componentes de la placa de Arduino.....	5
1.10 Sensor de humedad.....	6
1.11 Electroválvula	7
1.12 Sensor de temperatura	7
1.13 Sensor de distancia ultrasónico	7
1.14 Bombilla incandescente.....	8
1.15 Leds.....	8
1.16 Ventilación	8
1.17 Aplicación del sistema Arduino en el campo agropecuario	9
1.18 Invernadero	9
1.19 Forraje verde hidropónico (FVH)	9
1.20 Forraje a base de maíz.....	9
1.21 Automatización en agricultura	10
1.22 Beneficios de la automatización en invernaderos	10
1.23 Tendencias actuales en la aplicación de tecnologías en agricultura.....	11
1.24 El rol crucial de Arduino en el control ambiental	11
1.25 Tendencias actuales en la aplicación de la tecnología Arduino en agricultura	11
1.26 Versatilidad de Arduino en la agricultura	11
1.27 Aplicaciones de Arduino en el control de variables ambientales en invernaderos	12

1.28	Hidroponía en Santa Elena.....	12
1.29	Diámetro de raíz.....	12
1.30	Altura de planta a campo abierto.....	13
1.31	Producción de forraje en Santa Elena.....	13
1.32	Sistemas hidropónicos en Santa Elena.....	13
1.33	Evaluación de la producción del forraje verde hidropónico.....	13
1.34	Composición nutricional del forraje verde hidropónico.....	14
2	CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	15
2.1	Lugar de la investigación.....	15
2.2	Materiales y métodos.....	15
	<i>Materiales electrónicos del sistema Arduino del invernadero automatizado.....</i>	<i>16</i>
	<i>Materiales complementarios y de infraestructura.....</i>	<i>16</i>
	<i>Materiales informáticos.....</i>	<i>16</i>
	<i>Materiales de recopilación de datos.....</i>	<i>16</i>
	<i>Tipo de investigación.....</i>	<i>17</i>
	<i>Material biológico.....</i>	<i>18</i>
	<i>Componentes del sistema Arduino.....</i>	<i>18</i>
2.3	Desarrollo del experimento.....	19
	<i>Diseño del invernadero automatizado.....</i>	<i>20</i>
	<i>Materiales para la construcción del invernadero.....</i>	<i>21</i>
2.4	Funciones del invernadero.....	22
	<i>Sensor de humedad.....</i>	<i>22</i>
	<i>Electroválvula.....</i>	<i>23</i>
	<i>Sensor de temperatura.....</i>	<i>23</i>
	<i>Sensor de distancia ultrasónico.....</i>	<i>24</i>
	<i>Bombilla incandescente.....</i>	<i>24</i>
	<i>Led (emisión de señal).....</i>	<i>25</i>
	<i>Ventilación.....</i>	<i>25</i>
	CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	27
	<i>Pruebas en el programa.....</i>	<i>27</i>
	<i>Pruebas físicas.....</i>	<i>28</i>
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	32
	<i>Conclusiones.....</i>	<i>32</i>
	<i>Recomendaciones.....</i>	<i>32</i>
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	34
	ANEXOS.....	38

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Componentes de la placa Arduino.....	5
Tabla 2. Componentes del sistema Arduino.....	18
Tabla 3. Determinación de humedad de la planta.....	28
Tabla 4. Determinación de temperaturas del invernadero.....	29
Tabla 5. Determinación de altura de la planta.....	30

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del área experimental, parroquia Colonche, comuna Las Lomas – Santa Elena.....	15
Figura 2. Dimensiones del invernadero.....	20
Figura 3. Simbología de componentes a utilizar.....	21
Figura 4. Material de madera para infraestructura.....	21
Figura 5. Lona para cubrir el invernadero.....	21
Figura 7. Manguera para sistema de riego.....	22
Figura 6. Bandeja germinadora.....	22
Figura 8. Sensor de humedad.....	22
Figura 9. Electrobomba.....	23
Figura 10. Sensor de temperatura.....	23
Figura 11. Sensor de distancia ultrasónico.....	24
Figura 13. Bombilla incandescente.....	24
Figura 12. Boquilla de cerámica.....	24
Figura 14. Leds.....	25
Figura 15. Ventiladores de 12v.....	25
Figura 16. Finalización del invernadero automatizado con el sistema Arduino.....	26
Figura 17. Prototipo de invernadero realizado en la plataforma Tinkercad.....	28
Figura 18. Eficiencia en el uso del agua Tinkercad.....	29

Figura 19. Diseño de sistema de invernadero automático.....	31
--	----

ÍNDICE DE ANEXOS

Figura 1A. Conexión de Arduino con relevadores.....	38
Figura 2A. Construcción del invernadero	38
Figura 3A. Instalación de pantalla lcd 16x2.....	38
Figura 4A. Instalación del sensor de temperatura	38
Figura 5A. Instalación de ventiladores.....	39
Figura 6A. Instalación del sensor de distancia	39
Figura 7A. Instalación de electrobomba.....	39
Figura 8A. Instalación del sensor de humedad.....	39
Figura 9A. Instalación de bombilla incandescente.....	40
Figura 10A. Colocación de bandeja	40
Figura 11A. Germinación presentada al día 12.....	40
Figura 12A. Pre-germinación de las semillas de maíz	40
Figura 16A. Altura presentada al día 8 posterior a su siembra	41
Figura 13A. Altura presentada al día 6 posterior a su siembra	41
Figura 14A. Altura presentada al día 4 posterior a su siembra	41
Figura 15A. Altura presentada al día 2 posterior a su siembra	41
Figura 17A. Altura presentada al día 10 posterior a su siembra	42
Figura 18A. Led de alarga que indica que la planta supero los 15 cm de distancia.....	42
Figura 19A. Temperatura interna del invernadero.	42
Figura 20A. Estado de la Electro bomba con relación a la humedad presentada.....	43
Figura 21A. Detección de humedad de las plantas.....	43
Figura 22A. Estado de la bombilla y ventilador acorde a la temperatura presentada	43
Figura 23. Lenguaje informático del programa Arduino.....	44

INTRODUCCIÓN

Según Goilav y Loi (2016), Arduino es un microcontrolador que usualmente se encuentra formado por varias unidades que trabajan de manera unida rigiéndose de un componente central, estos elementos están compuesto por cuatro fracciones fundamentales las cuales son; memoria ROM, memoria RAM, procesador y varios conectores que permiten el desempeño optimo del dispositivo ejecutado para varios fines a nivel industrial u otras áreas.

Los circuitos centrales del sistema eléctrico mediante las conexiones que se realizan pueden procesar las señales que se le asignen, mediante monitoreo de los proyectos empleados físicamente por medio de sensores que obtienen la información de una placa madre con ayuda de sensores que puede detectar capacidades inclusive de elementos químicos (Jecrespom, 2018).

Valencia y Londoño (2022) manifestaron que los sistemas empleados para obtener los datos están vinculados a una diversidad de elementos que permiten tomar datos de las variables mediante digitalización, de la misma manera que estos puedan ser llevados a un computador o también algún tipo de mecanismo digital en el cual dicha información seria explicita y almacenada, y así poder determinar los factores que se presenten en el lugar o proyecto estudiado.

De acuerdo a Moreno (2018), para la obtención de un producto con un excelente desarrollo como es el caso de la hidroponía de maíz forrajero (*Zea mays*) se debe tomar en cuenta los factores tanto como las necesidades y la importancia que ejerce el cambio climático en el cultivo, en el cual varía la eficiencia de la producción en cuanto calidad y cantidad e inclusive afecta en la economía del productor llevándolo a pérdidas considerables.

Arduino es una herramienta muy útil para la agricultura porque permite a los agricultores y productores monitorear y controlar una amplia variedad de sistemas, lo que puede ayudar a mejorar la eficiencia en la producción de cultivos, reducir el desperdicio de y mejorar la calidad de las cosechas (Fernández, 2022).

Problema Científico:

¿La aplicación del programa Arduino para la automatización del sistema de invernadero para la producción de forraje verde hidropónico, beneficiará o incrementará la producción de alimento para animales?

OBJETIVOS***Objetivo General:***

- Diseñar y elaborar un sistema de invernadero automatizado para la producción del forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays*) implementando el programa Arduino

Objetivos Específicos:

1. Construir y ensamblar el sistema de invernadero automatizado para la producción de forraje verde hidropónico de maíz.
2. Programar el sistema de control automatizado utilizando el programa Arduino
3. Realizar pruebas en el sistema de invernadero automatizado para detectar posibles errores y ajustar el sistema según sea necesario

Hipótesis:

La automatización del invernadero con tecnología Arduino ayuda a aumentar el rendimiento de la producción del forraje verde hidropónico de maíz.

CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 Aplicación de tecnología en la agricultura

En el transcurso del tiempo se ha manifestado que la tecnología podría realizar los trabajos más eficientes y rápido que los seres humanos, en este caso no se queda atrás la agricultura puesto que en este ámbito agrícola más se evidencia en las cosechas, fertilización, fumigación y otras labores más por medio de las maquinarias agrícolas que están reemplazando las labores diarias de muchos trabajadores, cuya finalidad de dichos procesos se realiza con el fin de menorar los gastos en un área de trabajo con ellos reduciendo el personal (Sabry, 2021).

1.2 Sistema de Invernadero Automatizado

El sistema de invernadero automatizado busca controlar el clima en invernaderos para la producción de productos agrícolas fuera de temporada, utilizando tecnología Arduino y un invernadero para mantener condiciones específicas, como temperatura y humedad, para cultivos, el sistema incluye riego controlado por sensores de humedad y ventilación mediante sensores de temperatura. Además, registra y monitorea indicadores para evaluar el comportamiento de la producción, contribuyendo a la eficiencia en el cultivo (Rodriguez *et al.*, 2017).

1.3 Invernadero inteligente

La agricultura bajo invernadero avanza hacia un mayor control climático con mejoras en estructuras y materiales. Sin embargo, el éxito no depende solo de la infraestructura, sino de un control oportuno y adecuado de los factores de producción, aplicando técnicas específicas para cada cultivo y región, la automatización mediante microcontroladores es esencial, la eficiencia en el uso de recursos como la mano de obra y otros insumos es fundamental para lograr un invernadero verdaderamente inteligente y sostenible (Barrera *et al.*, 2014).

1.4 Importancia de la elaboración de un prototipo con sistemas de control de variables atmosféricas automatizado

Anaya y Ojeda (2020) expresan que más allá de monitorear las condiciones de las plantas al proporcionar las condiciones óptimas, abordando no solo la temperatura, humedad y luz, sino todas las variables críticas, las aplicaciones a nivel individual e industrial sugieren que

el prototipo podría contribuir a reducir los escasos alimentarios, equilibrando la oferta y la demanda, lo que podría ser beneficio tanto a nivel económico como en la disponibilidad de alimentos frescos y locales.

1.5 Descripción del forraje verde hidropónico y su uso en la alimentación animal

El forraje verde hidropónico se presenta como una alternativa a los métodos tradicionales de producción de forraje en zonas áridas y semiáridas, esta tecnología consiste en cultivar plántulas a partir de semillas de alta germinación, generando un forraje de alta calidad nutricional y digestibilidad, adecuado para la alimentación animal, el forraje contribuye a la sostenibilidad de la actividad agropecuaria en condiciones adversas, ofreciendo una fuente de alimento eficiente y nutritiva para el ganado (López, Murillo y Rodríguez, 2009).

1.6 Ventajas y desventajas de cultivar maíz hidropónico como forraje

Según los estudios realizados de Chavarría et al. (2018), las ventajas del forraje verde hidropónico de maíz son notables: se puede ajustar la producción a las necesidades, reemplaza suplementos, es altamente digerible y nutritivo, adaptable a diversos climas, fomenta la producción láctea y cárnica, poseyendo bajos costos de producción, permite la estabulación del ganado, es eficiente en espacios reducidos y de manejo sencillo, atractivo y enzimático para los animales, de baja contaminación, rico en proteínas y vitaminas, mejora la fertilidad, la única desventaja apreciable es su escaso contenido de fibra, lo que lo limita como suplemento y no como dieta completa para los animales.

1.7 Requisitos de crecimiento y factores que afectan la producción de forraje verde de maíz

Moreno Alvarado (2018) manifiesta que el crecimiento exitoso del forraje verde de maíz depende de factores como la luz, la temperatura y la humedad, la luz tenue durante los primeros días estimula el desarrollo y preserva los nutrientes, la temperatura óptima para germinación y producción se encuentra en el rango de 18-26 °C. El agua es esencial y se administra a través del riego, manteniendo la humedad relativa entre 60-80 %, evitando problemas de hongos, el uso de invernaderos con sistemas de riego adecuados es una estrategia clave.

1.8 ¿Qué es Arduino?

Millahual (2020) sostiene que por lo general Arduino es un proyecto realizado por estudiantes de Italia, en el cual la mayoría de sus partes están vinculadas mediante un sistema robótico para obedecer lo que se le designe hacer, este hardware es recomendable ya que mediante su tarjeta tiene varias herramientas por las cuales se pueden manejar proyectos desde lo más sencillo a lo más complejos ya que tiene la primacía de ser una multiplataforma de optimización de datos.

1.9 Componentes de la placa de Arduino

Las características de los mecanismos de la placa Arduino se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1. Componentes de la placa Arduino (Tejeda, 2021).

Componente	Característica
Código fuente	Son las líneas de contexto que muestran cómo debe establecerse determinado programa y lo que se tiene que realizar.
Sentencia	Son cada línea de códigos colocados en la fuente.
Lenguaje de programación	Se manejan por los softwares para determinar el programa ya que se muestran todas las sentencias que se ejecutaran en la placa.
Compilar	Son la traducción del código fuente a la manera como lo puede leer el ordenador.
Lenguaje máquina	Es lo que puede entender el ordenador y lo que se está leyendo o compilado el código fuente.
Bucle	Son las veces en la cuales se puede repetir la función de varios factores indicados en la sentencia que define el bucle
Constante	Es el valor que no cambia en el transcurso en el cual se define el programa.
Variable	No es más que el un valor que en este casi si cambia a medida que se da la ejecución del programa.
Librería	Esto se incluye para que los programas que no son avanzadas que corresponden a otras aplicaciones.
Interfaz	Sistema de software que es utilizado para notificar a dos elementos entre sí.

Pin	Con esto nos referimos a cada una de las entradas y salidas que posee la placa de Arduino. Ya que este posee tipos de pines desemejantes: análogos, digitales, entre otros.
Salida	Es el proceso en cual se envían los datos a partir de la placa de Arduino a cada una de las unidades del circuito.
Entrada	Este proceso se encarga de recopilar los datos a partir los mecanismos del circuito hacia la placa de Arduino.
Prototipo	Este son los resultados de ejecutar un proceso prototipado.
Hardware	Es el vínculo de complementos físicos o materiales directos que forman un sistema informático.
Software	Es la diversidad de programas y métodos que admiten que al ordenador la ejecución de varios trabajos.
CPU	Son los elementos del hardware de un computador que demuestran las ordenes de un programa mediante la ejecución de las operaciones lógicas, aritméticas y de salidas o entradas
Procesador	Mecanismo de la CPU que demuestra las órdenes y procesa los datos del programa.
Circuito	Vinculo de mecanismos que constituyen una red eléctrica cerrada.
Circuito Integrado	Esto es la distribución de pequeños espacios sobre la que se elaboran circuitos electrónicos y que está vinculado a todos los mecanismos de este circuito.
Microprocesador	Ordenador de pequeñas superficies por el cual los mecanismos de la CPU están asociados en un mismo circuito integrado.

1.10 Sensor de humedad

Históricamente, la determinación de cuándo regar se ha basado en la experiencia del agricultor, careciendo de un sistema objetivo de medición. Aun en sistemas automatizados, debido al alto costo de los sensores de humedad, por lo general se lleva a cabo el riego mediante sistemas de control en lazo abierto. Para mejorar la eficiencia en el uso del agua y obtener rendimientos más óptimos, sería beneficioso que el sistema de riego operara en lazo cerrado, utilizando datos en tiempo real sobre la humedad del suelo. Para lograr esto, se requiere realizar mediciones distribuidas en áreas extensas de cultivo y transmitir esos datos a un centro de control (Magán *et al.*, 2017).

1.11 Electroválvula

Una válvula representa el dispositivo que controla el flujo, posibilitando o interrumpiendo su curso (Crespo, 2021). Supe (2023) manifiesta que estos dispositivos reaccionan a pulsos eléctricos. Gracias a la corriente que fluye a través del solenoide, es posible abrir o cerrar la válvula, regulando así el flujo de fluidos. Cuando la corriente circula por el solenoide, se crea un campo magnético que atrae el núcleo móvil. Una vez que termina la influencia del campo magnético, el núcleo vuelve a su posición, generalmente debido a la acción de un resorte. Las electroválvulas son más fácilmente controlables mediante programas de software, lo que las hace ideales para la automatización industrial.

1.12 Sensor de temperatura

Los dispositivos de medición de temperatura son instrumentos que convierten las variaciones de temperatura en cambios de señales eléctricas, las cuales son procesadas por equipos eléctricos o electrónicos. Estos sensores pueden tomar la forma de instrumentos de indicación directa, como un termómetro de mercurio que aprovecha la propiedad de expansión o contracción del mercurio en respuesta a la temperatura. Alternativamente, pueden estar vinculados a un dispositivo indicador, como un convertidor analógico-digital o una computadora, permitiendo que los valores se visualicen y/o almacenen de manera digital para la lectura y análisis por parte de un operador (Aparicio, 2016)

1.13 Sensor de distancia ultrasónico

De acuerdo a Sogor y García (2022), el sensor ultrasónico es un dispositivo capaz de medir distancias mediante el uso de ondas ultrasónicas. En su estructura, se encuentran dos elementos clave: el emisor y el receptor. El emisor, en primer lugar, emite una onda similar a la mencionada anteriormente, mientras que el receptor, como segundo componente, recibe esa onda, sobre el cual esta será reflejada.

El sensor ultrasónico se caracteriza por medir distancias a través de ondas ultrasónicas, utilizando dos componentes principales: el emisor y el receptor. El emisor genera ondas ultrasónicas que se propagan en el entorno. Posterior, el receptor, colocado estratégicamente, recibe estas ondas ultrasónicas después de interactuar con un objeto, y detecta el eco reflejado. La diferencia de tiempo entre la emisión y la recepción del eco permite calcular con precisión la distancia entre el sensor y el objeto en cuestión (Cruz, 2017).

1.14 Bombilla incandescente

En contraste con la radiación solar, la emisión lumínica de una bombilla incandescente se caracteriza por tener una mayor intensidad en las longitudes de onda cercanas al infrarrojo. Este aspecto adquiere relevancia al realizar un análisis lumínico de una sala de exposición iluminada con bombillas incandescentes. En este contexto, se aconseja dedicar una atención especial a las longitudes de onda próximas al infrarrojo y, además, a las propias longitudes infrarrojas. La consideración detallada de estas características espectrales es fundamental para comprender y optimizar la iluminación en el entorno expositivo, asegurando una apreciación adecuada de los objetos expuestos y una experiencia visual óptima para los espectadores (Mora, 2016).

1.15 Leds

El LED, o diodo emisor de luz, se destaca como uno de los dispositivos fotónicos más simples y encuentra aplicaciones significativas tanto en la visualización como en la generación de señales ópticas para las comunicaciones (Sanchis y Ejea, 2018). En los últimos años, ha habido un aumento significativo en la utilización de los LED (diodos emisores de luz), consolidándose como una alternativa efectiva a los sistemas de iluminación convencionales. La iluminación basada en LED se emplea extensamente en sectores como la automoción, la arquitectura, aplicaciones domésticas y señalización, gracias a sus características destacadas como alta fiabilidad, tamaño reducido y bajo consumo de energía (Segura, 2014).

1.16 Ventilación

De acuerdo a Rodríguez et al. (2017), el sistema de ventilación asume la responsabilidad de regular diversos factores presentes en un área, generados por seres vivos y/o maquinaria en funcionamiento. En el contexto de un invernadero, su función principal consiste en expulsar el aire viciado e introducir aire fresco, ya sea de manera natural o forzada, con el objetivo de ajustar la temperatura y humedad. Estos parámetros ambientales experimentan variaciones influenciadas por factores externos como las condiciones climáticas, el tipo de material de construcción del invernadero, así como la presencia de cultivos y personal en el entorno. El sistema de ventilación, de esta manera, contribuye significativamente a mantener condiciones óptimas para el desarrollo de los cultivos y el bienestar general del invernadero.

1.17 Aplicación del sistema Arduino en el campo agropecuario

Castillo Muñoz (2021) señala que la investigación realizada sobre este tema logró descubrir que uno de los espacios en los que participa el programa del sistema Arduino en la visualización se basa la agricultura de precisión, es decir, el control de diversos mecanismos técnicos, en este caso viendo la inmersión de diversos dispositivos electrónicos, como los sensores pueden ayudar a obtener información detallada sobre diversas situaciones que ocurren en el entorno.

1.18 Invernadero

Los invernaderos son estructuras cubiertas para controlar el ambiente en el que se cultivan plantas y se utiliza mucho en la agricultura para extender la temporada de crecimiento y mejorar la calidad y el rendimiento de los cultivos, la tecnología de los invernaderos ha avanzado significativamente en las últimas décadas, con el desarrollo de materiales más resistentes y la implementación de sistemas automatizados de control de temperatura, humedad y luz (FAO, 2017).

1.19 Forraje verde hidropónico (FVH)

Los forrajes verdes hidropónicos se basan más en la germinación de semillas para producir plántulas en ambientes controlados principalmente en humedad, temperatura y luz incluso a corto desarrollo pueden servir de alimentos para animales o aves, con un alto porcentaje nutricional ya que el forraje no está lignificado y contiene mayor cantidad de proteína (Calle, 2022).

1.20 Forraje a base de maíz

Para la producción del maíz como forraje verde hidropónico es necesario verificar el tipo de semilla a utilizar, cerciorarse que el entorno en el que se desarrollara el forraje sea optimo tanto en temperatura como luminosidad, se controlara el riego apropiado que este cultivo necesite, cabe mencionar que nuestro maíz forrajero tiene que producirse en un tiempo determinado el cual son alrededor de 12 a 14 días posterior a la colocación a la bandeja germinadora (Zagal *et al.*, 2016).

1.21 Automatización en agricultura

De acuerdo con Beltran (2011), la agricultura se está centrando en la automatización y evaluación de la calidad en la germinación de semillas mediante visión artificial. También se exploran las principales aplicaciones de la visión artificial en la agricultura, destacando la realidad aumentada como una técnica emergente con un papel prometedor en el futuro de la industria agropecuaria.

En el ámbito de la automatización agrícola, la maquinaria actual y futura se caracterizará por la integración de componentes electrónicos, sistemas electrohidráulicos, robótica y sensores avanzados, estas máquinas incorporarán comunicación mejorada y automatizaciones más complejas, fusionando conocimientos agronómicos y mecánicos interdisciplinarios. Serán capaces de realizar ajustes en tiempo real para optimizar su desempeño, aprovechando sensores y software que toman decisiones inteligentes, a menudo superando la capacidad del operador, y garantizando una consistencia precisa a lo largo de la jornada (Iñesta *et al.*, 2019).

Con la creciente automatización en la vida cotidiana, la agricultura también se ve influenciada, la automatización no eliminará ocupaciones por completa, pero impactará de diversas formas en los trabajos agrícolas.

La adopción de tecnologías existentes está transformando sectores tradicionales, incluyendo la agroindustria, en este contexto, la automatización agrícola busca reducir costos, mejorar la competitividad y resolver la escasez de mano de obra, al mismo tiempo que optimiza el uso de insumos y recursos, como los agroquímicos y el agua, para aumentar la productividad en un campo que se enfrenta a desafíos crecientes (Beltran, 2011).

1.22 Beneficios de la automatización en invernaderos

La automatización en invernaderos se ha convertido en un recurso esencial para los agricultores, ya que incrementa la eficiencia en la producción de diversos cultivos, garantiza la calidad de los productos y previene las plagas y enfermedades, gracias a la automatización, es factible mantener un control preciso de las condiciones climáticas, como la temperatura y humedad, dentro de rangos óptimos, lo que favorece un crecimiento saludable de las semillas y cultivos en el invernadero (Chango y Llanez, 2021).

1.23 Tendencias actuales en la aplicación de tecnologías en agricultura

Actualmente, se observa un crecimiento significativo en la automatización de las tareas agrícolas, impulsado por avances tecnológicos y el crecimiento de la población global. Según la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), la mecanización agrícola puede aumentar la productividad de la tierra y la mano de obra, incluso en explotaciones agrícolas de menor escala. Además, las tecnologías de la información y la comunicación brindan a los agricultores diversas oportunidades para adquirir insumos, vender productos y acceder a información de manera más eficiente (Tovar *et al.*, 2019).

1.24 El rol crucial de Arduino en el control ambiental

La integración de la tecnología Arduino resultó fundamental en la creación de un sistema eficiente para controlar los parámetros ambientales necesarios en la incubación de huevos de codorniz, gracias a la versatilidad y precisión que ofrece Arduino, se logró maximizar el porcentaje de incubación y eclosión de manera exitosa, este enfoque tecnológico demuestra la capacidad de Arduino para transformar y potenciar los procesos agrícolas, consolidándose como una herramienta clave en la mejora de resultados específicos en la avicultura (Game *et al.*, 2022).

1.25 Tendencias actuales en la aplicación de la tecnología Arduino en agricultura

La tendencia actual en la aplicación de tecnología Arduino en agricultura se centra en la gestión eficiente del riego para mantener los cultivos adecuadamente hidratados, esto se logra mediante sensores que monitorizan la humedad del suelo y transmiten datos a través de bluetooth a una aplicación móvil, que toma decisiones automáticas sobre cuándo regar, la automatización y control son cada vez más cruciales tanto en la industria como en la ingeniería, donde identificar necesidades y crear soluciones basadas en sistemas ofrece oportunidades de desarrollo significativas (Rodríguez *et al.*, 2018).

1.26 Versatilidad de Arduino en la agricultura

La agricultura ha evolucionado con el tiempo, adoptando técnicas y tecnologías para maximizar la producción y minimizar costos e impacto ambiental, promoviendo la agricultura sostenible, en este contexto, las herramientas tecnológicas, como el GPS, la

electrónica y los sistemas de información geográfica, son fundamentales para recopilar datos en tiempo real sobre suelos y cultivos, estos datos ayudan en la toma de decisiones que aumentan los rendimientos, reducen los costos de producción y minimizan los impactos ambientales, la plataforma Arduino se destaca en la implementación de soluciones tecnológicas en proyectos agrícolas sostenibles (Chora *et al.*, 2018).

1.27 Aplicaciones de Arduino en el control de variables ambientales en invernaderos

La aplicación de Arduino en el control de variables ambientales en invernaderos ha demostrado una rápida respuesta a cambios externos, manteniendo el microclima estable, esto promete un impacto positivo en la productividad de las plantas al mantener las condiciones ambientales óptimas y estables, lo que contribuye a un entorno favorable para el crecimiento de los cultivos (Fernández, 2017).

1.28 Hidroponía en Santa Elena

En la provincia de Santa Elena, donde el déficit hídrico, el viento y plagas afectan la productividad hortícola, se exploró la viabilidad de implementar la hidroponía para mejorar la rentabilidad del cultivo. Aunque localmente la hidroponía es poco conocida, se identificó como una técnica prometedora. El estudio se centró en analizar los costos de inversión de dos materiales de construcción (caña de bambú y fierro galvanizado), dos dimensiones de invernadero y tres técnicas de cultivo sin suelo, destacando la hidroponía como el sistema de más alta inversión (Pertierra *et al.*, 2019)

1.29 Diámetro de raíz

En un estudio exhaustivo sobre el desarrollo radicular del maíz durante un período de 10 a 15 días, se observa un crecimiento dinámico de las raíces primarias y secundarias, con una longitud promedio de 20 centímetros (Oñate, 2016). Este fenómeno estuvo fuertemente influenciado por la disponibilidad de agua y nutrientes en el suelo, así como por la interacción positiva con microorganismos beneficiosos presentes en la rizosfera (Bourceret *et al.*, 2022).

1.30 Altura de planta a campo abierto

En un análisis del crecimiento de maíz forrajero plantado en campo durante 10 a 15 días, se observó un rápido incremento en la altura de las plantas, alcanzando en promedio 25 centímetros. Este desarrollo acelerado se relacionó con factores como la calidad del suelo y el suministro de nutrientes (Izquierdo, 2012), los os resultados sugieren la importancia de condiciones óptimas para maximizar el rendimiento del maíz forrajero en las primeras etapas de crecimiento.

1.31 Producción de forraje en Santa Elena

La provincia semiárida de Santa Elena, caracterizada por su escasa disponibilidad de agua y suelos poco propicios, se emprendió una investigación destinada a optimizar la producción de forraje verde hidropónico, específicamente mediante el cultivo de maíz trueno en condiciones de invernadero, en este sentido, la indagación se enfocó en métodos eficaces que, según lo expresado por varios expertos, se generaron resultados positivos con un buen proceso en la producción de forraje verde, proporcionando así una solución sustentable a las restricciones hídricas y de suelo presentes en la región (Tomalá, 2021).

1.32 Sistemas hidropónicos en Santa Elena

En la provincia de Santa Elena, la productividad hortícola se ve afectada por el déficit hídrico, el viento y plagas. Para mejorar la rentabilidad, se propone el uso de invernaderos de malla y cultivo sin suelo, destacando la hidroponía como una técnica poco conocida localmente. La falta de información a nivel nacional agrava la situación. El estudio se enfoca en proporcionar datos sobre los costos de inversión para invernaderos y técnicas de cultivo sin suelo, centrándose en tres hortalizas (pepino, lechuga, maíz) y resaltando la importancia de análisis económicos para proyectar emprendimientos en este sistema hidropónico (Pertierra *et al.*, 2019).

1.33 Evaluación de la producción del forraje verde hidropónico

El estudio se propone analizar el rendimiento productivo de cabritos criollos mediante la suplementación de una dieta equilibrada y forraje verde hidropónico de maíz en diferentes proporciones. Durante el período de investigación de 60 días, se observaron diferencias

altamente significativas en el peso final de las fases 1 y 2, destacando el grupo T3 que recibió el 75% de forraje verde hidropónico y el 5% de balanceado. Este grupo registró un aumento promedio de peso de 5 kg, evidenciando la eficacia del forraje verde hidropónico en la alimentación de cabritos criollos. La investigación destaca la relevancia de este sistema como suplemento alimenticio para mejorar el comportamiento productivo en comparación con otros niveles de suplementación (Solano, 2021).

1.34 Composición nutricional del forraje verde hidropónico

El estudio se concentra en evaluar la respuesta de producción y contenido nutricional en el sistema de forraje verde hidropónico de maíz, especialmente en relación con la aplicación de Silicio. Se implementaron cuatro soluciones bajo condiciones de invernadero, y los resultados indicaron que el tratamiento T2, con solución nutritiva, mostró la mejor altura y rendimiento, con un promedio de 2 kg/0.25 m². En términos de contenido nutricional, el T2 (solución nutritiva) lideró con el mayor porcentaje de materia seca (13.19 %). La formulación de la solución nutritiva del T2 se destacó como la más favorable para producir forraje verde hidropónico con un óptimo contenido nutricional, según los resultados obtenidos en cada variable del estudio (Pozo, 2021)

2 CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Lugar de la investigación

Este proyecto se realizó en la provincia de Santa Elena, parroquia Colonche comunidad de Las Lomas, barrio Narcisa de Jesús a 304 msnm cuyas coordenadas geográficas referenciales con la longitud son $1^{\circ}59'02.2''S$ y su longitud $80^{\circ}39'38.7''W$ la producción está destinada al mercado local de la misma y con el crecimiento de este proyecto se podrá inclusive realizar una expansión y mejorar los ingresos del productor.

Condiciones climáticas:

- Precipitación: 66 mm en invierno y 3 mm en verano
- Humedad: 83%
- Temperatura: 21.9 – 26.4 °C

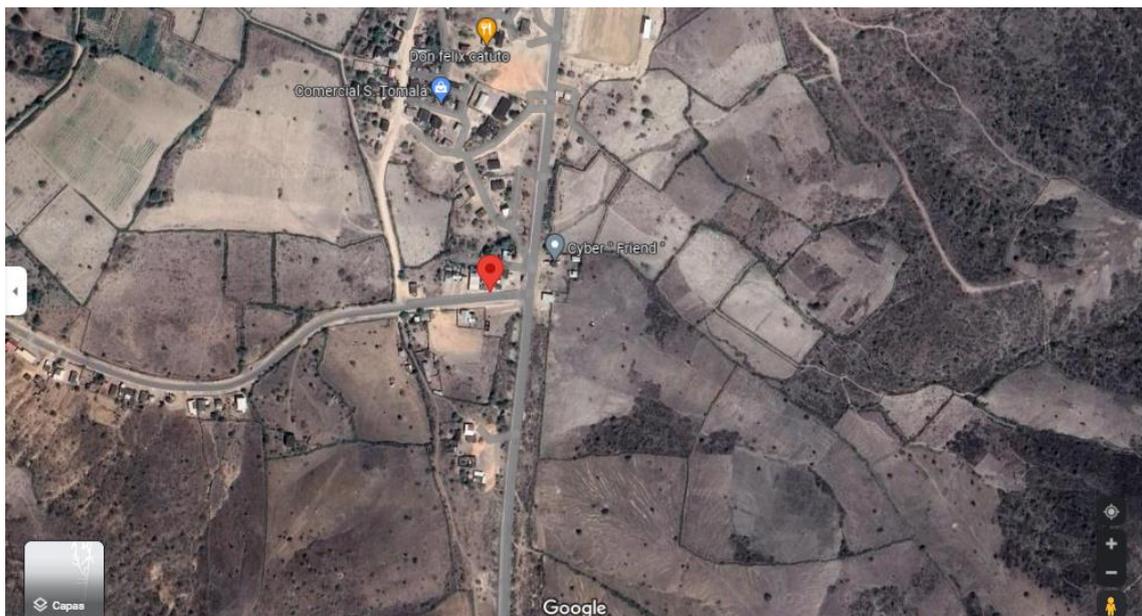


Figura 1. Ubicación del área experimental, parroquia Colonche, comuna Las Lomas – Santa Elena (Google, 2023).

2.2 Materiales y métodos

Los materiales que se utilizarán para la realización de prototipos y estudios de montaje del sistema Arduino son:

Materiales electrónicos del sistema Arduino del invernadero automatizado

- Tarjeta Arduino uno
- Cable de datos USB
- Protoboard
- Cables Jumpers
- Resistencias
- Pantalla LCD 16 x 2
- Sensor de temperatura
- Sensor humedad
- Sensor ultrasónico
- Boquilla incandescente
- Leds
- Boquilla cerámica
- Electroválvula
- Ventilador

Materiales complementarios y de infraestructura

- Lona
- Madera para infraestructura
- Tanque
- Bandejas germinadoras
- Mangueras

Materiales informáticos

- AutoCAD
- Tinkercad
- Software Arduino

Materiales de recopilación de datos

- Lápiz y esferos
- Libreta de apuntes
- Computadora

- Celular
- Cámara

Tipo de investigación

La investigación propuesta se enmarca en un enfoque descriptivo, cuyo objetivo principal es proporcionar un análisis detallado del diseño de un sistema de invernadero automatizado para el cultivo de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays*), implementando el programa Arduino. Este tipo de investigación busca comprender a fondo las características y funcionalidades del sistema, así como su impacto en la eficiencia del cultivo, a través de la recopilación y descripción meticulosa de datos.

El procedimiento para la conexión de Arduino, sensores e implementos fue esencial para el funcionamiento eficiente del sistema. Arduino se conecta a dispositivos clave, como el sensor de humedad FC-28, la electroválvula de 12V para el control del riego, el sensor de temperatura DHT-11, el sensor de distancia ultrasónico, la bombilla incandescente y el led de emisión de señal. Esta conexión estratégica permite que el microcontrolador tome decisiones informadas y coordine acciones automatizadas para mantener condiciones óptimas en el invernadero.

El sistema ofreció un monitoreo exhaustivo con la capacidad de leer la altura de la planta, la humedad y la temperatura del invernadero. Además, realiza acciones automatizadas como el riego controlado por el sensor de humedad, el ajuste de la bombilla y los ventiladores según la temperatura, y emite una señal visual a través del led cuando la planta alcanza la altura estimada. Esta combinación de funciones garantiza un control preciso y un cuidado óptimo del cultivo.

Dentro de la implementación, varios sensores y dispositivos desempeñaron roles esenciales. El sensor FC-28 para humedad, la electroválvula para el control del flujo de agua, el sensor DHT-11 para temperatura y humedad ambiental, el sensor de distancia ultrasónico para la medición precisa de la altura de las plantas, la bombilla incandescente para la regulación térmica, y el led como indicador visual forman una red interconectada que optimiza las condiciones de crecimiento.

La regulación térmica se logró a través de la conexión de la bombilla incandescente controlada por Arduino, mientras que el ventilador de 12V, también controlado por Arduino y basado en lecturas del sensor de temperatura DHT11, garantiza una ventilación adecuada. Esta combinación permite mantener condiciones estables en el invernadero, creando un entorno óptimo para el desarrollo de las plantas y evitando problemas asociados al sobrecalentamiento.

Material biológico

En la implementación de este proyecto, se optó por emplear semillas de maíz recicladas puesto que resalta nuestro compromiso con la reducción de residuos y la reutilización de recursos. La importancia de lograr que las plantas alcancen una altura de 20 a 25 cm en un lapso de 10 a 15 días radica en la necesidad de contar con un prototipo plenamente funcional. El crecimiento de la planta es esencial para permitir que el prototipo realice un seguimiento preciso del proceso de desarrollo de las plantas y recopile datos detallados que respalden nuestros objetivos de investigación.

Componentes del sistema Arduino

Se implementó el sistema Arduino en el prototipo de incubadora artesanal, en la Tabla 2 se detalla la función de cada uno de sus componentes.

Tabla 2. Componentes del sistema Arduino (Caiche, 2023)

Componente	Característica
Tarjeta Arduino UNO	Es una placa que está establecida por un microcontrolador ATMEGA, compuesta por circuitos integrados y tiene como función grabar instrucciones utilizando un lenguaje de programación.
Cable de datos USB	Es un conector que permite enlazar diferentes elementos electrónicos, el cual se utiliza como abastecedor de energía a la placa Arduino o también para instalar la programación desde una computadora.

Cables de conexión jumpers	También llamado saltador, el cual es un mecanismo que permite cerrar circuitos electrónicos de dos tipos de conexiones; este tipo de cable se utiliza en el tablero Protoboard estableciendo la conexión de elementos integrados.
Protoboard	Esta placa posee orificios conectados electrónicamente siguiendo patrones horizontales y verticales, utilizada para realizar ensayos de circuitos electrónicos.
Resistencias	Este componente se encuentra en todo circuito electrónico cerrado, sirve para dar oposición al exceso de flujo de electricidad.
Sensores de temperatura, humedad y distancia	Funciona de manera digital midiendo electrónicamente la temperatura y humedad relativa, equipada con un pin de datos que le permite mostrar sus resultados en un dispositivo electrónico compatible.
Ventilador de 12 voltios	Su característica principal es distribuir aire de manera uniforme nivelando las temperaturas deseadas.

2.3 Desarrollo del experimento

En la primera etapa, se delinearon objetivos específicos que guiaron el desarrollo del proyecto, destacando la construcción del invernadero, la programación detallada del sistema con Arduino y la ejecución de pruebas exhaustivas para identificar posibles deficiencias. Posteriormente, se llevó a cabo un minucioso diseño mecánico utilizando AutoCAD, asegurando la precisión en la planificación del espacio del invernadero, con especial atención a la disposición de la bandeja germinadora de pasto para maximizar la producción de forraje de maíz.

La segunda fase implicó la selección y uso de materiales adecuados para la construcción del invernadero, basándose en consideraciones presupuestarias y la disponibilidad local. Se enfocó en la resistencia a la humedad y la intemperie. Luego, se implementaron funciones clave del invernadero, tales como sensores de humedad, temperatura y distancia ultrasónica, junto con actuadores como la electroválvula y la bombilla incandescente. La programación con Arduino aseguró la interacción coherente entre estos elementos, y las pruebas

subsiguientes permitieron ajustes precisos para optimizar el rendimiento del sistema. Este enfoque sistemático garantizó la eficiencia y confiabilidad del invernadero automatizado.

Se utilizaron herramientas como la plataforma Tinkercad para conceptualizar y visualizar el diseño en 3D, permitiendo una representación clara y compartible del invernadero. La adaptabilidad de Tinkercad facilitó la exportación de modelos a diversos formatos, respaldando la impresión 3D. Este enfoque digital no solo mejoró la visualización del diseño, sino que también agilizó la materialización práctica de las ideas en el espacio tridimensional. En las pruebas físicas, se destacó la eficiencia del sistema de riego, finamente ajustado para reflejar las necesidades específicas del maíz en términos de humedad y temperatura. La combinación de sensores de humedad y una programación adaptativa redujo el riesgo de exceso de riego, optimizando así el uso del agua y recursos disponibles. El control preciso de la temperatura, junto con estrategias de ahorro energético, contribuyó a un entorno térmico óptimo para el crecimiento del maíz. Además, la integración de datos de altura de las plantas en la programación resultó en una cosecha optimizada y una gestión general eficiente del invernadero.

Diseño del invernadero automatizado

El diseño mecánico del invernadero automatizado se llevó a cabo con un enfoque meticuloso, utilizando el software AutoCAD para asegurar precisión y eficiencia. El resultado es un modelo que cuenta con la capacidad de alojar una bandeja germinadora de

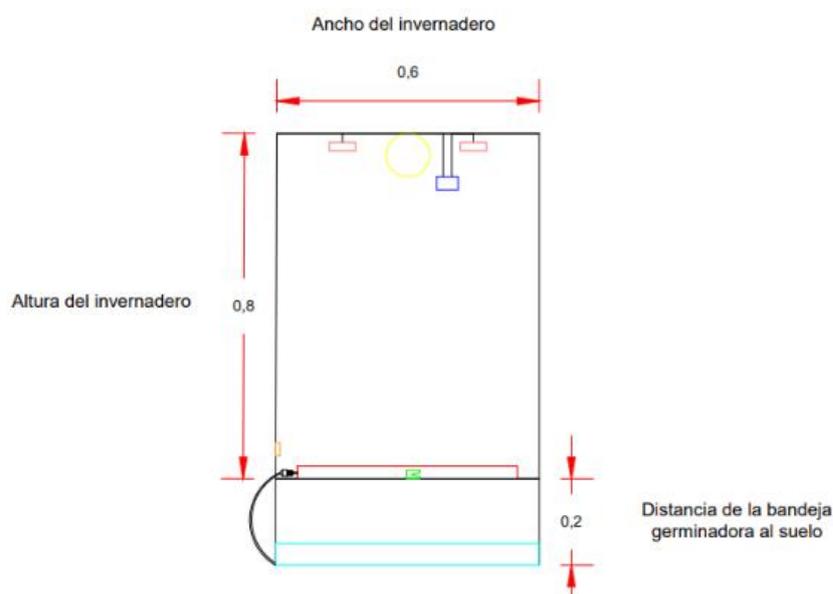


Figura 2. Dimensiones del invernadero (Caiche, 2023).

pasto. Esta cuidadosa planificación garantiza una distribución óptima del espacio y una capacidad adecuada para el cultivo de pasto, lo que contribuye al éxito del proyecto y maximiza la producción de forraje de manera efectiva.

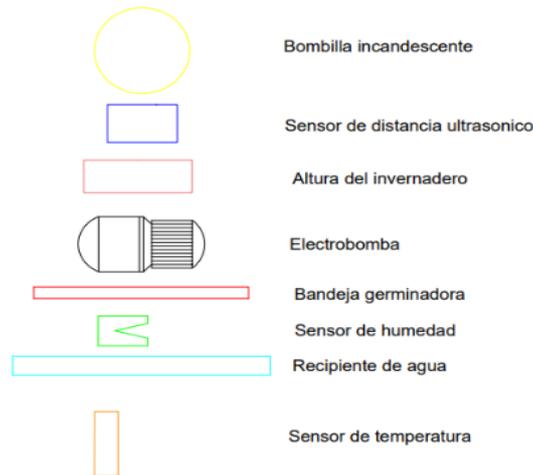


Figura 3. Simbología de componentes a utilizar (Caiche, 2023).

Materiales para la construcción del invernadero

El proceso de investigación en el invernadero comenzó con la construcción de una estructura de madera resistente a la humedad y la intemperie. La elección de los materiales se basó en el presupuesto y la disponibilidad de materiales en la zona. Para la cubierta, se seleccionó un material que permitiera el paso de la luz solar, como lonas oscuras. Además, se instaló un sistema de ventilación para evitar que la temperatura dentro del invernadero se elevara demasiado, con la opción de usar ventanas, puertas o respiraderos. Por último, se diseñó un sistema de riego por goteo o aspersión para asegurar que las plantas recibieran agua periódicamente.



Figura 4. Material de madera para infraestructura (Crespo, 2021).



Figura 5. Lona para cubrir el invernadero (TVC MALL, 2023)



Figura 7. Bandeja germinadora (Fruugo, 2023)



Figura 6. Manguera para sistema de riego (Amazon, 2023)

2.4 Funciones del invernadero

El prototipo tomara decisiones por sí solo de manera independiente, con la ayuda de los sensores y códigos de programación.

Sensor de humedad

El sistema de invernadero automatizado para forraje verde hidropónico de maíz se destacó por la integración del sensor de humedad FC-28 con el programa Arduino. Este sensor midió con precisión la humedad del suelo, generando una señal analógica interpretada por Arduino. Cuando el nivel de humedad desciende, el sistema activa automáticamente el riego, asegurando que las plantas de maíz reciban la cantidad adecuada de agua para un crecimiento óptimo. Este enfoque permitió una gestión eficiente del riego, optimizando el uso de recursos y contribuyendo a la sostenibilidad ambiental.

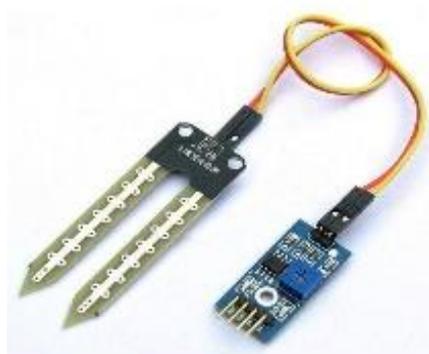


Figura 8. Sensor de humedad (Llamas, 2016)

Electroválvula

La electrobomba de 12V, controlada por Arduino, desempeña un papel crucial en la regulación del flujo de agua en el sistema. Esta electroválvula, al recibir señales específicas de Arduino, pudo abrir y cerrar el paso de fluido, siendo especialmente útil en sistemas de riego automatizado. Su integración permite una gestión precisa y automatizada del riego, garantizando un suministro adecuado de agua a las plantas. La conexión entre la electrobomba y Arduino se realiza mediante relés o módulos de control, permitiendo que el microcontrolador supervise y gestione eficientemente su funcionamiento, llevando a cabo un control meticuloso de los procesos de riego.



Figura 9. Electrobomba (Novatronix, 2023)

Sensor de temperatura

La integración del sensor de temperatura DHT-11 con Arduino para monitorear las condiciones ambientales de medir la temperatura y humedad del entorno en tiempo real. A través de una investigación preliminar, se seleccionó el sensor DHT-11 debido a su precisión y compatibilidad con Arduino. La conexión del sensor al microcontrolador, permitiendo la obtención de lecturas precisas de temperatura y humedad. Esta información se utiliza para monitorear y controlar las condiciones ambientales, siendo esencial en la toma de decisiones para garantizar un entorno óptimo en el invernadero automatizado

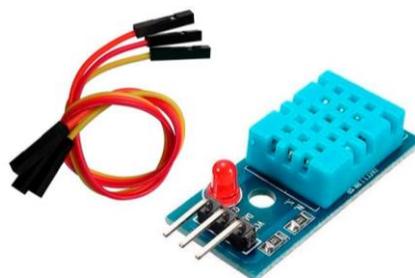


Figura 10. Sensor de temperatura (Hernández, 2021)

Sensor de distancia ultrasónico

El sensor de distancia ultrasónico de Arduino se centró en su implementación para monitorear la altura de las plantas de manera precisa y automatizada. Inicialmente, se estableció el objetivo de utilizar el sensor para medir el crecimiento de las plantas en tiempo real. A través de una selección consciente de este componente, se logró su integración efectiva con Arduino. La conexión del sensor al microcontrolador permitió la obtención de lecturas precisas de distancia, facilitando un monitoreo continuo del crecimiento de las plantas.



Figura 11. Sensor de distancia ultrasónico (Hernández, 2021)

Bombilla incandescente

La bombilla incandescente conectada a Arduino en el invernadero se enfocó en la regulación de la temperatura para crear un entorno óptimo de crecimiento. Se estableció el propósito de utilizar la bombilla como una fuente de calor controlada por Arduino. La conexión efectiva entre la bombilla y el microcontrolador permitió que Arduino regulase la temperatura encendiendo o apagando la bombilla según las necesidades de las plantas, manteniendo así una temperatura estable en el invernadero. El sistema se adapta de manera dinámica a las lecturas de los sensores de temperatura, garantizando condiciones ideales para el cultivo mediante un control preciso de la fuente de calor en función de las variaciones ambientales.



Figura 13. Boquilla de cerámica (DISMEC, 2023)



Figura 12. Bombilla incandescente (Guerrero, 2019)

Led (emisión de señal)

En la implementación del Led como emisor de señal en el invernadero, se centró en su conexión con el sensor de distancia ultrasónico para indicar visualmente el estado de crecimiento de la planta. Se estableció el propósito de utilizar el Led como una alarma visual junto con Arduino. La integración efectiva del Led con el sensor de distancia permitió que Arduino activara el Led cuando la distancia medida coincidía con la altura deseada de la planta. Esta señal visual proporciona una indicación clara y automatizada de que la planta ha alcanzado su punto óptimo de crecimiento, mejorando significativamente la eficiencia del monitoreo en el invernadero sin necesidad de revisiones manuales constantes.



Figura 14. Leds (Quora, 2021)

Ventilación

La estrategia implementada para la ventilación en el invernadero se basó en la integración de un ventilador de 12V controlado por Arduino, en colaboración con el sensor de temperatura DHT11. La definición de determinado objeto es regular la temperatura de manera efectiva. La conexión del ventilador al microcontrolador permitió que Arduino, al recibir lecturas del DHT11 indicando temperaturas elevadas, activara el ventilador para ventilar el invernadero y reducir la temperatura ambiente. Este enfoque garantiza condiciones óptimas para el crecimiento de las plantas y evita el sobrecalentamiento inducido por la bombilla incandescente, contribuyendo así a un entorno controlado y favorable para el desarrollo de las plantas.



Figura 15. Ventiladores de 12v (eBay, 2023)



Figura 16. Finalización del invernadero automatizado con el sistema Arduino (Caiche, 2023)

CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Pruebas en el programa

Este prototipo, creado en la plataforma Tinkercad, destaca por su capacidad para convertir conceptos abstractos en modelos 3D de manera accesible. La herramienta no solo ofrece una representación visual, sino también la posibilidad de exportar los diseños a diversos formatos, facilitando la impresión en 3D y la colaboración entre usuarios.

Tinkercad va más allá de ser una herramienta visual; es un recurso esencial para la creación y desarrollo de prototipos. Su capacidad para convertir ideas en modelos 3D navegables y su interoperabilidad con otros formatos hacen de esta plataforma una elección valiosa para diseñadores y creadores. La posibilidad de compartir y colaborar en tiempo real refuerza su papel como facilitador de interacción y concreción de ideas en el espacio físico.

La concepción de este prototipo a través de Tinkercad no solo simplifica la visualización y conceptualización de proyectos, sino que también destaca por su utilidad práctica. La capacidad de exportar modelos a diversos formatos permite la impresión en 3D y la colaboración colaborativa, ampliando las posibilidades de diseño y fomentando la materialización de ideas en el espacio tridimensional.

Tinkercad no solo es una herramienta de diseño, sino un recurso fundamental para transformar ideas en modelos 3D navegables. Su versatilidad se refleja en la capacidad de compartir y ajustar modelos de manera colaborativa, fortaleciendo la colaboración entre usuarios y la materialización práctica de diseños en el espacio tridimensional.

El papel destacado de Tinkercad radica en su capacidad para convertir conceptos en objetos tangibles de manera intuitiva. La posibilidad de exportar diseños a diferentes formatos no solo facilita la impresión en 3D, sino que también promueve la colaboración entre creadores al permitir compartir y ajustar modelos de manera eficiente.

Tinkercad se posiciona como una herramienta esencial para diseñadores y creadores al transformar ideas en modelos 3D. Su funcionalidad no se limita a la representación visual, ya que la capacidad de compartir y colaborar en tiempo real destaca su papel como facilitador de la interacción y la concreción de proyectos en el ámbito físico.

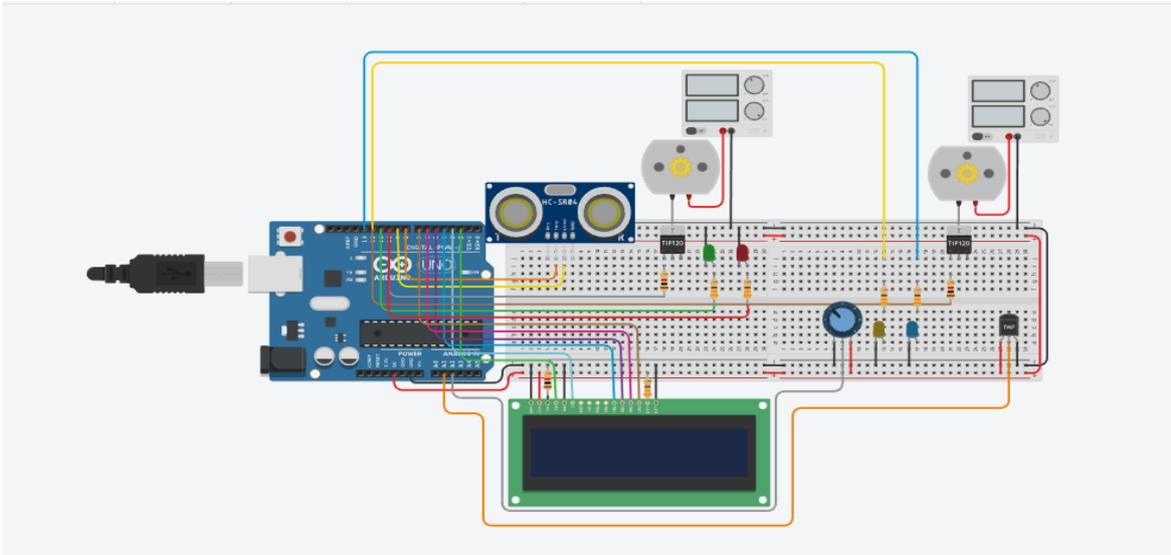


Figura 17. Prototipo de invernadero realizado en la plataforma Tinkercad (Caiche, 2023)

Pruebas físicas

Automatización del Riego

Los ajustes en la programación del sistema de riego han demostrado ser crucial al adaptarse específicamente a las necesidades del maíz en cuanto a humedad y temperatura. Esta adaptabilidad ha permitido una respuesta precisa a las variaciones ambientales y a las diferentes etapas de crecimiento del cultivo, optimizando así la eficacia del riego.

Los análisis detallados realizados para determinar los niveles óptimos de humedad en distintas fases de crecimiento del maíz han contribuido significativamente a la eficiencia del uso del agua. Esta personalización en la programación ha asegurado un suministro de agua preciso, evitando tanto el exceso como la escasez, y reduciendo el desperdicio de este recurso vital.

Tabla 3. Determinación de humedad de la planta (Caiche, 2023)

<i>Humedad de las plantas</i>	<i>Estado de la electrobomba</i>
0 – 79 %	Encendido
80% en adelante	Apagado

Eficiencia en el uso del agua

El sistema de riego circulatorio con bomba de 12V demuestra una notable eficiencia en el uso del agua al controlar con precisión la humedad del suelo. La bomba, alimentada por un voltaje reducido, optimiza el suministro hídrico, garantizando un aprovechamiento eficiente. Además, destaca por su capacidad para recoger y redirigir el agua no utilizada de nuevo al recipiente principal, evitando desperdicios. Este enfoque sostenible no solo asegura un riego adecuado de las plantas, sino también una gestión responsable de los recursos hídricos, contribuyendo así a la conservación del agua en entornos agrícolas.



Figura 188. Eficiencia en el uso del agua Tinkercad (Caiche, 2023)

Control de temperatura

La investigación detallada sobre las necesidades térmicas del maíz ha permitido una personalización más eficiente de la temperatura del entorno. Establecer límites específicos para cada etapa de crecimiento asegura condiciones térmicas óptimas que se alinean perfectamente con las demandas del cultivo en su fase inicial y posterior desarrollo.

Tabla 4. Determinación de temperaturas del invernadero (Caiche, 2023)

<i>Temperatura</i>	<i>Estado de la bombilla</i>	<i>Estado de los ventiladores</i>
0 – 28 °C	Encendido	Apagado
29 °C en adelante	Apagado	Encendido

Estrategias de ahorro energético

La implementación de estrategias de ahorro energético ha sido integral para optimizar el entorno térmico. Ajustar la intensidad de la bombilla incandescente y el encendido y apagado del ventilador según las variaciones térmicas que el cultivo requiera, no solo ha mejorado las condiciones para el maíz, sino que también ha reducido el consumo energético utilizándose cuando se lo necesite

Monitoreo continuo del desarrollo del maíz

El monitoreo constante de las condiciones térmicas no solo ha permitido reaccionar ante variaciones ambientales, sino que también ha generado valiosa información para correlacionar cambios en la temperatura con el desarrollo específico del maíz. Este enfoque proactivo mejoró significativamente la capacidad de detectar el desarrollo del cultivo.

Detección de altura de las plantas

La integración de datos de altura de las plantas, obtenidos a través del sensor de distancia ultrasónico, directamente en la programación general del sistema ha proporcionado una visión en tiempo real del crecimiento de las plantas. Este enfoque ha mejorado la gestión del cultivo al permitir más información específica.

Tabla 5. Determinación de altura de la planta (Caiche, 2023)

<i>Altura de planta</i>	<i>Estado del led</i>
0 – 14 cm	Apagado
15 cm en adelante	Encendido

Optimización de la cosecha

La integración de datos de altura en la programación no solo optimiza el proceso de cosecha, sino que también ha permitido una gestión más precisa y eficiente de los recursos. Al dirigir selectivamente los recursos hacia áreas donde las plantas están listas para ser cosechadas dependiendo de qué tamaño se necesite, se considera que se pueden reducir los tiempos de cosecha y mejorar la productividad general del cultivo.

Contribución a la gestión general del invernadero

La detección de altura no solo se limitó a la disposición espacial, sino que también ha influido en la planificación estratégica de recursos. Conociendo la altura de las plantas en tiempo real, se ha facilitado la asignación precisa de agua, garantizando que cada planta reciba los recursos necesarios según su fase de desarrollo.

La detección de altura de las plantas ha sido fundamental en el establecimiento de sistemas de alerta temprana. Al minimizar el uso innecesario de recursos y alinear la distribución de las plantas con las condiciones ideales, se avanzó hacia un modelo más respetuoso con el ambiente y económicamente eficiente.

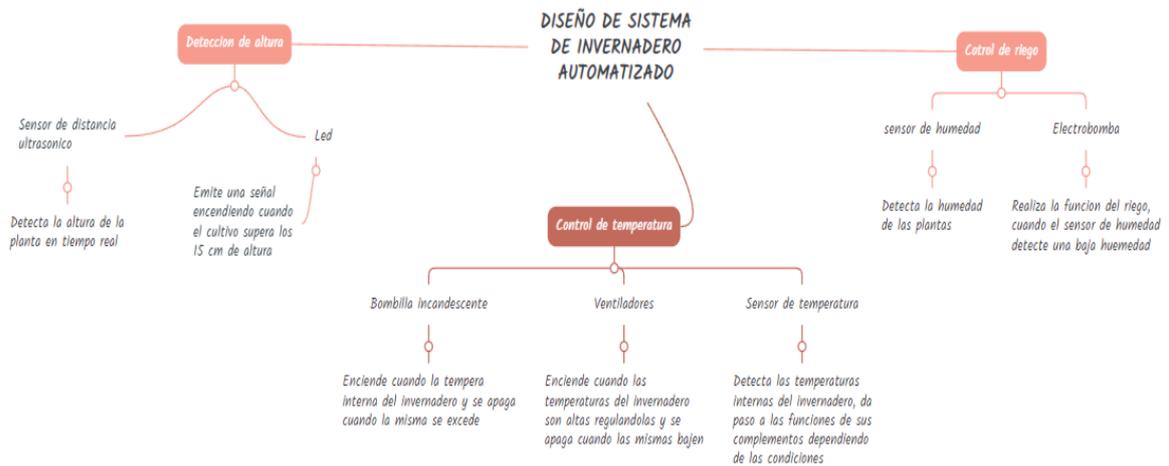


Figura 19. Diseño de sistema de invernadero automático (Caiche, 2023)

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Se concluyó que la etapa de construcción y ensamblaje de este proyecto resultó esencial, destacando la necesidad de una planificación y ejecución meticulosas en la creación física de la infraestructura. Se aseguró la integración automática de todos los componentes en el sistema del invernadero, garantizando un funcionamiento eficiente y sostenible.

La programación del sistema de control automatizado con Arduino se reveló como un componente crucial para coordinar con precisión las diversas funciones del invernadero. La flexibilidad del sistema facilitó la elaboración de un código adaptado, permitiendo una respuesta dinámica a las variables específicas del cultivo de maíz. Esto fortaleció la capacidad del sistema para optimizar el entorno de crecimiento óptimo de las plantas.

Las pruebas realizadas en el sistema automatizado llevaron a la detección y corrección temprana de posibles errores, afinando así el rendimiento del sistema y mejorando su eficacia. Este enfoque iterativo resaltó la importancia de la adaptabilidad y la mejora continua en la implementación de tecnologías agrícolas avanzadas.

Recomendaciones

- Para mejorar la eficiencia energética en el sistema de invernadero automatizado, se recomienda la implementación de tecnologías de energía renovable, como paneles solares. La integración de fuentes de energía sostenibles puede reducir la dependencia de fuentes eléctricas convencionales y contribuir a un funcionamiento más ecológico y económico del sistema. Además, se sugiere la exploración de métodos de almacenamiento de energía, como baterías, para garantizar un suministro constante y fiable, independientemente de las condiciones climáticas.
- Para fortalecer la conectividad y la accesibilidad del sistema, se recomienda la integración de tecnologías que puedan posibilitar la supervisión remota del invernadero como la implementación de sistemas de alerta mediante mensajes o

notificaciones podría mejorar la capacidad de respuesta frente a condiciones adversas, facilitando una gestión más proactiva y eficiente del invernadero automatizado.

- Se recomienda la incorporación de un sistema que calcule la temperatura efectiva emitida por la bombilla incandescente en función de la distancia a las plantas. Esto puede lograrse mediante la implementación de sensores de temperatura estratégicamente ubicados en diferentes puntos del invernadero. Al considerar la relación inversa entre la temperatura y la distancia, este enfoque permitirá ajustes más precisos en la programación del sistema de control de temperatura.
- Se recomienda ajustar la posición del sensor o considerar la adición de sensores adicionales a diferentes alturas en el invernadero. Durante las pruebas fue que el sensor de distancia presentaba limitaciones al detectar la altura de las plantas más pequeñas, centrándose principalmente en las más grandes. Además, se sugiere ajustar los parámetros de sensibilidad y rango del sensor para optimizar su rendimiento y garantizar una medición equitativa de todas las plantas, independientemente de su tamaño.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Anaya Solano, D.A. and Ojeda Field, L.F. (2020) 'Elaboración del prototipo de un sistema de control de variables atmosféricas automatizado para el cultivo de plantas bajo invernadero en ambiente indoor en la Región Caribe'. Available at: <https://hdl.handle.net/11323/6072> (Accessed: 10 January 2024).

Aparicio Albaladejo, M. (2016) 'Diseño y construcción mediante ARDUINO de una sistema de medición de temperaturas en tiempo real'. Available at: <https://repositorio.upct.es/handle/10317/6631> (Accessed: 13 January 2024).

Barrera Martin, E., Herrero Niño, R.V. and Meraz García, A.R. (2014) *Invernadero inteligente*. Available at: <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/14050/INVERNADERO%20INTELIGENTE.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Beltran, D. (2011) 'Automatización en la Agricultura: un caso de aplicación de la visión artificial, control de calidad en semilleros', in. Available at: <https://doi.org/10.13140/2.1.1299.3922>.

Bourceret, A. *et al.* (2022) 'Maize Field Study Reveals Covaried Microbiota and Metabolic Changes in Roots over Plant Growth', *mBio*, 13(2), pp. e02584-21. Available at: <https://doi.org/10.1128/mbio.02584-21>.

Calle, A. (2022) *Forraje Verde Hidropónico*.

Castillo Muñoz, F.V. (2021) *Determinación de las características físicas y relaciones matemáticas del aguacate (Persea americana) cultivado en la provincia de Santa Elena*. Universidad Estatal Península de Santa Elena. Available at: <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/6524/1/UPSE-TCA-2021-0122.pdf>.

Chango Ortiz, R.R. and Llanez Iñiguez, R.J. (2021) *Sistema de monitoreo de temperatura, humedad y control de agua para cultivos del invernadero N°2 del campus salache*. Universidad Técnica de Cotopaxi. Available at: <https://www.docsity.com/es/es-para-descargar-y-estudiar-muy-bueno-recomendado/8608709/> (Accessed: 12 January 2024).

Chavarría Tórrez, A., Castillo Castro, S. del S. and Blanco-Roa, E.A.P.D.N.E. (2018) 'El forraje verde hidropónico (FVH), de maíz como alternativa alimenticia y nutricional para todos los animales de la granja', *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 4(8), pp. 1032–1039.

Chora Garcia, D., Álvarez Martínez, G. and Espinoza Garcia, M. (2018) 'Raspberry Pi y Arduino: semilleros en innovación tecnológica para la agricultura de precisión', *Informática*

y *Sistemas: Revista de Tecnologías de la Informática y las Comunicaciones*, 2(1), p. 74. Available at: <https://doi.org/10.33936/isrtic.v2i1.1134>.

Crespo, C. (2021) ‘VÁLVULAS, VENTOSAS Y OTROS ELEMENTOS DE LOS SISTEMAS DE RIEGO’, *PortalFruticola.com*, 9 September. Available at: <https://www.portalfruticola.com/noticias/2021/09/09/paso-a-paso-para-construir-un-invernadero-de-madera-facil-y-barato/> (Accessed: 13 January 2024).

FAO (2017) *Manual para la construcción de invernáculos*. Rome, Italy: FAO. Available at: <https://www.fao.org/documents/card/en/c/379d6272-0c3e-448b-9c28-75706d329aa9/> (Accessed: 11 January 2024).

Fernández Cruz, L.F. (2017) *Diseño e implementación de una red de sensores para el monitoreo de variables climáticas en un invernadero de orquídeas*. Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. Available at: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14239/1/UPS-CT007001.pdf>.

Fernández, Y. (2022) *Qué es Arduino, cómo funciona y qué puedes hacer con uno*, Xataka. Available at: <https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como-funciona-que-puedes-hacer-uno> (Accessed: 10 January 2024).

Game Cruz, W. *et al.* (2022) ‘Evaluation of a prototype of an artisanal incubator for quail eggs (*coturnix coturnix japonica*) implemented with Arduino technology’, *Universidad Ciencia y Tecnología*, 26, pp. 117–125. Available at: <https://doi.org/10.47460/uct.v26i115.624>.

Goilav, N. and Loi, G. (2016) *Arduino: Aprender a desarrollar para crear objetos inteligentes*. Ediciones ENI.

Iñesta Hernández, B., Arce Villa, P. and Guerri Cebolla, J.C. (2019) *Desarrollo de un sistema de monitorización y automatización de cultivos*. Proyecto/Trabajo fin de carrera/grado. Universitat Politècnica de València. Available at: <https://riunet.upv.es/handle/10251/124657> (Accessed: 12 January 2024).

Izquierdo Bonilla, R.A. (2012) *Evaluación del cultivo de maíz (Zea mays), como complemento a la alimentación de bovinos de leche en épocas de escasez de alimento. Cayambe - Ecuador*. Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito.

Jecrespom (2018) ‘Sensores Arduino’, *Aprendiendo Arduino*, 14 April. Available at: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2018/04/14/sensores-arduino-3/> (Accessed: 10 January 2024).

- López Aguilar, R., Murillo Amador, B. and Rodríguez Quezada, G. (2009) 'El forraje verde hidropónico (FVH): Una alternativa de producción de alimento para el ganado en zonas áridas', *Interciencia*, 34(2), pp. 121–126.
- Magán, H. *et al.* (2017) 'Sensor de Humedad del Suelo de Bajo Coste para Control de Regadíos'.
- Millahual, C.P. (2020) *Descubriendo Arduino*. RedUsers.
- Mora Salcedo, J. (2016) *Desarrollo y calibración de un sensor de luz direccional mediante fotodiodos*. Universitat Politècnica de Valencia.
- Moreno Alvarado, I.A. (2018) 'Evaluación nutricional y económica de la producción de Forraje Verde Hidropónico de Maíz (*Zea mays*) empleando grano comercial.', p. 97.
- Oñate Zúñiga, L.A. (2016) *Duración de las etapas fenológicas y profundidad radicular del cultivo de maíz (*Zea mays*) var. blanco harinoso criollo, bajo las condiciones climáticas del cantón Cevallos*. Universidad Técnica de Ambato.
- Pertierra Lazo, R., Torres, C. and Balmaseda Espinosa, C. (2019) 'Inversión en sistemas hidropónicos: Análisis comparativo de materiales, escalas y sistemas', *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 6(2 Dicbre.), pp. 15–23. Available at: <https://doi.org/10.26423/rctu.v6i2.437>.
- Pozo Rosales, C.O. (2021) *Evaluación de la producción de biomasa y composición nutricional del forraje verde hidropónico (*Zea mays*) frente a la aplicación de silicio (Si)*. Universidad Estatal Península de Santa Elena. Available at: <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/5690/1/UPSE-TIA-2021-0009.pdf>.
- Rodríguez, A.A. *et al.* (2018) 'Sistema de riego automatizado con arduino', 39(37), p. 27.
- Rodríguez Ramirez, F. *et al.* (2017) 'Sistema de riego para invernaderos con interfaz web utilizando un arduino YÚN', *Scribd*, 1(3. 8-17), p. 8.
- Sabry (2021) *Robótica Agrícola de Fouad Sabry (Libro electrónico) Leer gratis durante 30 días*, *Everand*. Available at: <https://es.everand.com/book/538692852/Robotica-Agricola-Como-van-los-robots-al-rescate-de-nuestra-comida> (Accessed: 10 January 2024).
- Sanchis, E. and B. Ejea, J. (2018) 'El diodo de emisión de luz (LED)'. UV.
- Segura Antúnez, C. (2014) 'Estudio de la fiabilidad mediante ensayos acelerados de diodos ultravioleta de alta potencia', p. 116.
- Sogor Torres, D. and García, D. (2022) 'ESTUDIO COMPARATIVO DE APLICACIONES CON ARDUINO PARA LA ESTIMACIÓN DE POSICIÓN Y VELOCIDAD', p. 94.

- Solano Quinde, L.S. (2021) *Comportamiento productivo de cabritos criollos (Capra hircus) con la adición en la alimentación de forraje verde hidropónico de maíz - Santa Elena*. Universidad Estatal Península de Santa Elena. Available at: <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/6360/1/UPSE-TIA-2021-0080.pdf>.
- Supé Palate, C.W. (2023) 'SISTEMA DE COMUNICACIÓN Y CONTROL DE LAS ESTACIONES DE LOS TANQUES DE RESERVA DE JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA POTABLE DE LA PARROQUIA PICAIHUA', p. 106.
- Tejeda Anaya, M.A. (2021) 'Aprende Arduino en un fin de semana', *Vida Científica Boletín Científico de la Escuela Preparatoria No. 4*, 9(18), pp. 47–48.
- Tomalá Flores, N.M. (2021) *Producción de forraje verde hidropónico bajo la aplicación de biofertilizantes*. Universidad Estatal Península de Santa Elena. Available at: <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/5694/1/UPSE-TIA-2021-0013.pdf>.
- Tovar Soto, J.P. *et al.* (2019) 'Internet de las cosas aplicado a la agricultura: estado actual', *Lámpsakos*, (22), pp. 86–105.
- Vallejo Valencia, M. and Arias Londoño, A. (2022) *Introducción a la adquisición y acondicionamiento de señales*, <https://catalogo.itm.edu.co/gpd-introduccion-a-la-adquisicion-y-acondicionamiento-de-senales-9789585122642.html>. Editorial ITM. Available at: <https://repositorio.itm.edu.co/handle/20.500.12622/5649> (Accessed: 10 January 2024).
- Zagal Tranquilino, M. *et al.* (2016) 'Producción de forraje verde hidropónico de maíz con riego de agua cada 24 horas', *Abanico veterinario*, 6(1), pp. 29–34.

ANEXOS



Figura 2A. Construcción del invernadero

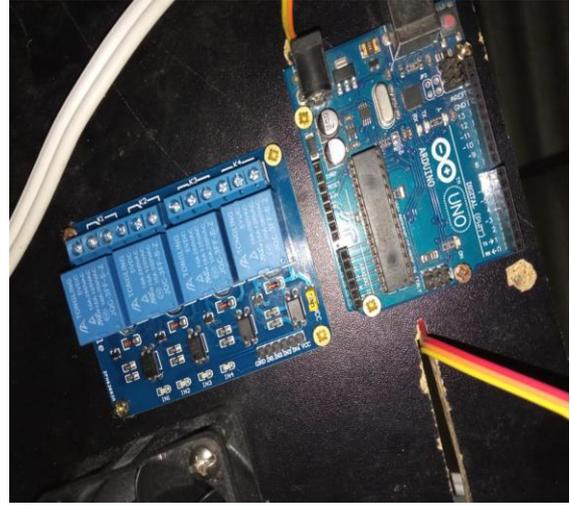


Figura 1A. Conexión de Arduino con relevadores

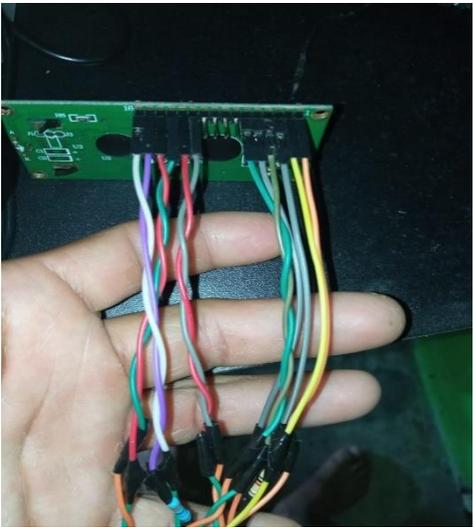


Figura 3A. Instalación de pantalla lcd 16x2

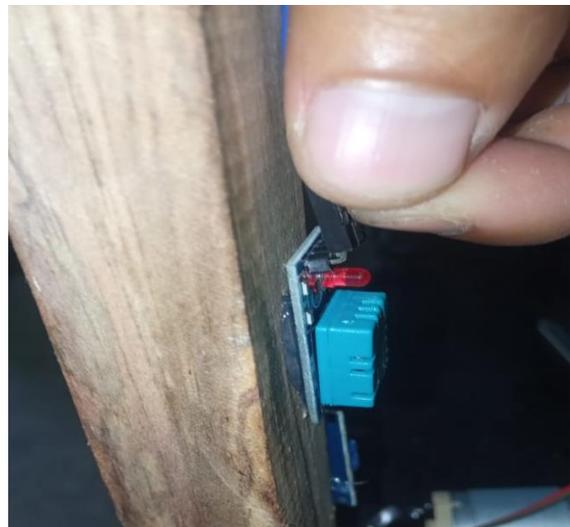


Figura 4A. Instalación del sensor de temperatura



Figura 5A. Instalación de ventiladores



Figura 6A. Instalación del sensor de distancia

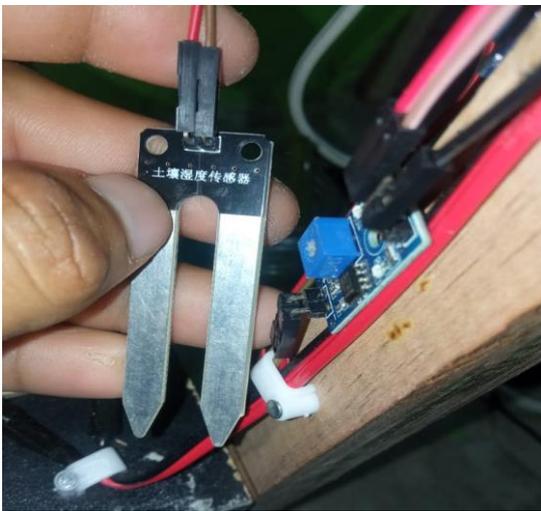


Figura 8A. Instalación del sensor de humedad

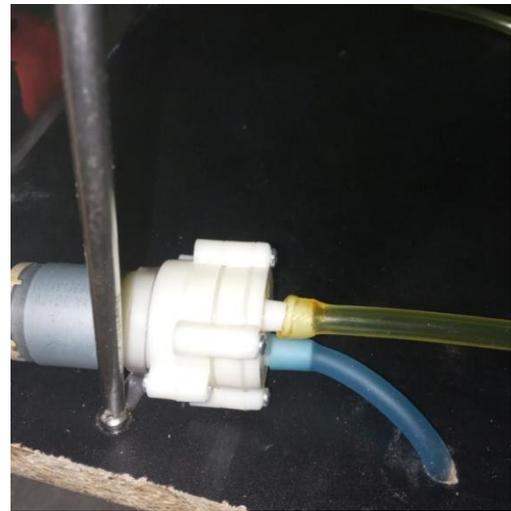


Figura 7A. Instalación de electrobomba



Figura 9A. Instalación de bombilla incandescente



Figura 10A. Colocación de bandeja



Figura 11A. Germinación presentada al día 12

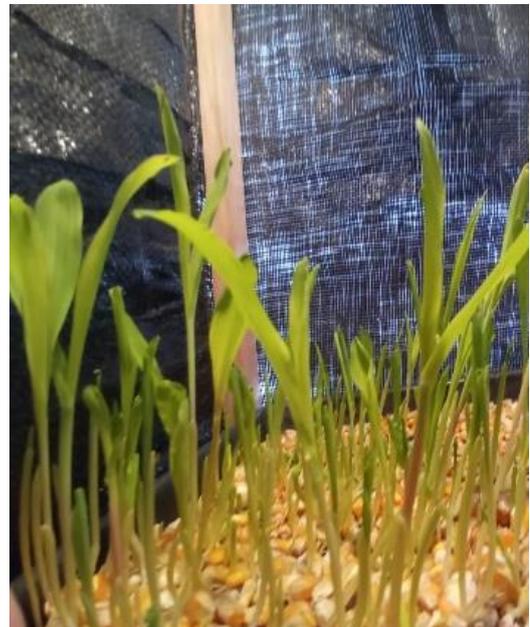


Figura 12A. Pre-germinación de las semillas de maíz



Figura 16A. Altura presentada al día 2 posterior a su siembra



Figura 15A. Altura presentada al día 4 posterior a su siembra



Figura 14A. Altura presentada al día 6 posterior a su siembra



Figura 13A. Altura presentada al día 8 posterior a su siembra



Figura 17A. Altura presentada al día 10 posterior a su siembra



Figura 18A. Led de alarga que indica que la planta supero los 15 cm de distancia



Figura 19A. Temperatura interna del invernadero.



Figura 20A. Estado de la Electrobomba con relación a la humedad presentada



Figura 21A. Detección de humedad de las plantas



Figura 22A. Estado de la bombilla y ventilador acorde a la temperatura presentada

```

#include <LiquidCrystal.h>
// Incluye la librería para trabajar con pantallas LCD.

LiquidCrystal lcd(0, 1, 2, 3, 4, 5);
// Crea un objeto lcd con la configuración de pines para la pantalla LCD.

int electrobomba = 6;
int trip = 8;
int eco = 9;
int rojo = 10;
int bombilla = 11;
int ventilador = 12;
int tiempo;
int altura;
int distancia;
int sensor;
int SensorPin = A0;
// Declara variables para representar los pines y otras variables de control.

#include <DHT.h>
#define DHTPIN 7
#define DHTTYPE DHT11
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
// Incluye la librería DHT, configura el pin y tipo de sensor, crea un objeto dht.

void setup()
{
  lcd.begin(16, 2);
  // Inicia la comunicación con la pantalla LCD, especificando el formato (16x2).

  int humedad = analogRead(SensorPin);
  int porcentaje = map(humedad, 0, 1023, 0, 100);
  delay(100);
  // Lee la humedad del suelo.

  float humidity = dht.readHumidity();
  float temperature = dht.readTemperature();
  // Lee la humedad y temperatura del ambiente usando el sensor DHT.

  if (isnan(humidity) || isnan(temperature)) {
    lcd.println("Error al leer el sensor DHT!");
    delay(2000);
    return;
  }
  // Verifica si se han leído valores válidos del sensor DHT.

  lcd.setCursor(0,0);
  // Establece la posición del cursor en la fila 0, columna 0 de la pantalla LCD.

  lcd.print(" Humedad Inver. ");
  // Imprime el texto "Humedad Inver." en la posición actual del cursor.

  lcd.setCursor(0,1);
  // Establece la posición del cursor en la fila 1, columna 0 de la pantalla LCD.

  lcd.print("      " + String(humidity));
  // Imprime el valor de la humedad (convertido a String) en la posición actual del cursor,
  con espacios de formato.

  delay(3000);
  // Espera 3 segundos.

  lcd.clear();
  // Borra el contenido de la pantalla LCD.
}

if (temperature < 28) {
  // Verifica si la temperatura es menor que 28 grados Celsius.

  digitalWrite(bombilla, HIGH);
  // Enciende la bombilla.

  digitalWrite(ventilador, LOW);
  // Apaga el ventilador.

  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print(" Bombilla: ON ");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print(" Ventilador: OFF ");
  // Muestra en la pantalla LCD que la bombilla está encendida y el ventilador está apagado.

  delay(3000);
  // Espera 3 segundos.

  lcd.clear();
  // Borra el contenido de la pantalla LCD.
}

}

lcd.clear();
// Limpia la pantalla LCD.

pinMode(trip, OUTPUT);
pinMode(eco, INPUT);
pinMode(rojo, OUTPUT);
pinMode(bombilla, OUTPUT);
pinMode(electrobomba, OUTPUT);
pinMode(ventilador, OUTPUT);
// Configura pines como salidas o entradas según sea necesario.

dht.begin();
// Inicia el sensor DHT.
}

void loop()
{
  digitalWrite(trip, HIGH);
  delayMicroseconds(1);
  digitalWrite(trip, LOW);
  // Genera un pulso para medir la distancia usando un sensor ultrasónico.

  tiempo = (pulseIn(eco, HIGH) / 2);
  distancia = (tiempo / 29);
  altura = (40 - distancia);
  delay(100);
  // Hide el tiempo de vuelo del pulso ultrasónico para calcular la distancia y altura.

  lcd.setCursor(7,1);
  // Establece la posición del cursor en la fila 1, columna 7 de la pantalla LCD.

  lcd.print(" % ");
  // Imprime el símbolo de porcentaje (%) en la posición actual del cursor.

  delay(3000);
  // Espera 3 segundos.

  lcd.clear();
  // Borra el contenido de la pantalla LCD.

  // Bloques similares de código para mostrar diferentes lecturas en la pantalla LCD.

  if (temperature > 28) {
    // Verifica si la temperatura es mayor que 28 grados Celsius.

    digitalWrite(bombilla, LOW);
    // Apaga la bombilla.

    digitalWrite(ventilador, HIGH);
    // Enciende el ventilador.

    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print(" Bombilla: OFF ");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(" Ventilador:ON ");
    // Muestra en la pantalla LCD que la bombilla está apagada y el ventilador está encendido.

    if (altura < 15) {
      digitalWrite(rojo, LOW);
    }
    // Apaga un LED (posiblemente indicando un estado) si la altura es menor que 15.

    if (altura > 15) {
      digitalWrite(rojo, HIGH);
    }
    // Enciende un LED si la altura es mayor que 15.

    if (porcentaje > 80) {
      // Verifica si el valor de "porcentaje" es mayor que 80.

      digitalWrite(electrobomba, LOW);
      // Apaga la electrobomba (posiblemente una bomba de agua).

      lcd.setCursor(0, 0);
      lcd.print(" Bomba de agua ");
      lcd.setCursor(0, 1);
      lcd.print(" Encendida ");
      // Muestra en la pantalla LCD que la bomba de agua está encendida.

      delay(3000);
      // Espera 3 segundos.

      lcd.clear();
      // Borra el contenido de la pantalla LCD.
    }

    if (porcentaje < 80) {
      // Verifica si el valor de "porcentaje" es menor que 80.

      digitalWrite(electrobomba, HIGH);
      // Enciende la electrobomba.

      lcd.setCursor(0, 0);
      lcd.print(" Bomba de agua ");
      lcd.setCursor(0, 1);
      lcd.print(" Apagada ");
      // Muestra en la pantalla LCD que la bomba de agua está apagada.

      delay(3000);
      // Espera 3 segundos.

      lcd.clear();
      // Borra el contenido de la pantalla LCD.
    }
  }
}

```

Figura 23. Lenguaje informático del programa Arduino