

Diseño y Construcción de Prototipo de Sistema Automatizado Para Cultivo Experimental de
Germinados

Christian Alejandro Hernández Acosta y Jaime Alberto Muñoz Vásquez

Trabajo de Grado para Optar el Título de Ingeniero Mecánico

Director

Javier Rúgeles Pérez

Magister en informática

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Bucaramanga

2021

Agradecimientos

Agradecemos a cada una de nuestras familias por darnos la oportunidad de estudiar y formarnos contribuyendo cada uno de los días desde que nos inscribimos, apoyándonos y dando todo lo necesario tanto espiritual afectiva y emocionalmente, la familia influye mucho en la formación de cada persona, inculcando valores, fomentando el amor al conocimiento y dejándonos en claro que una de las mejores maneras de hacer la vida más fácil es estudiar, sin ellos sería imposible salir adelante y culminar satisfactoriamente una carrera universitaria, por su solidos respaldo y amor infinitas gracias.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	15
1. Objetivos	17
1.1 Objetivo General	17
1.2 Objetivos Específicos.....	17
2. Referentes teóricos.....	18
2.1 Hidroponía	18
2.1.1 Historia de la Hidroponía.....	19
2.1.2 Ventajas y desventajas de los sistemas hidropónicos.....	21
2.1.3 Sistemas hidropónicos.....	21
2.1.4 Cultivos hidropónicos.....	22
2.2 Germinados.....	23
2.2.1 Propiedades.....	24
2.2.2 Nutrientes.....	25
2.3 Fotosíntesis	26
2.4 Proceso de germinación	27
2.5 Nutrientes requeridos para la germinación	29
2.6 Sustratos	33
2.7 Biomasa.....	34
2.8 Fisiología del germinado.....	35
2.9 Factores que controlar en un cultivo hidropónico.....	35

2.9.1 Calidad de la Semilla:	35
2.9.2 Calidad del Agua de Riego	36
2.9.3 Iluminación	37
2.9.4 Temperatura	37
2.9.5 Humedad	38
2.9.6 Ventilación.....	39
2.10 Manejo de enfermedades	39
2.11 Análisis cuantitativo del crecimiento de un cultivo hidropónico.....	41
2.11.1 Crecimiento del cultivo.....	43
2.11.2 Respuesta térmica de la tasa de desarrollo del cultivo.....	45
2.11.3 Cobertura de dosel verde durante todo el ciclo del cultivo.....	46
2.11.4 Respuesta del rendimiento al agua.....	47
2.11.5 Análisis de datos experimentales generados en la etapa de germinación.....	49
3. Diseño conceptual.....	50
3.1 Subsistemas.....	51
3.1.1 Sistema de acondicionamiento de ambiente	51
3.1.2 Subsistema de irrigación.....	54
3.1.3 Subsistema de adecuación solución de riego.....	56
3.2 Estructura prototipo	58
3.3 Sistema de control y automatización	59
3.3.1 Sistema de control electrónico.....	59
3.4 Software	62
3.5 Desarrollo de aplicativo Android.....	63

4. Diseño en detalle.....	63
4.1 Desarrollo del subsistema de control	63
4.1.1 Selección de componentes.	64
4.1.2 Diseño electrónico.	64
4.1.3 Prototipo electrónico.....	64
4.1.5 Diseño electrónico final.	66
4.1.6 Etapas electrónicas.....	68
4.2 Diseño de software.....	71
4.2.1 Librerías implementadas.....	71
4.2.2 Definiciones de periféricos y especiales	72
4.2.3 Variables	72
4.2.4 Configuración de inicio (Setup).....	72
4.2.5 Rutinas principales de programa (Loop).....	72
4.2.6 Funciones creadas	73
4.3 Diseño y desarrollo de aplicativo Android	75
4.3.1 Diseño de interfaz	75
4.3.2 Códigos de control:	77
4.3.3 Vinculación del dispositivo.....	78
4.3.4 Tamaño de pantalla	79
4.3.5 Elementos gráficos.....	80
4.3.6 Desarrollo de la App.	80
4.3.7 Bloques de programación.	80
4.4 Presupuesto	81

5. Proceso de germinado de maíz	84
5.1 Localización geográfica	84
5.2 Selección del cultivo	84
5.3 Selección de especie a cultivar	85
5.4 Selección método de cultivo	85
5.5 Selección de semilla.....	86
5.6 Limpieza y preparación de las semillas	86
5.7 Siembra de semilla.....	87
5.8 Elaboración de solución nutricional.....	88
5.9 Riego	89
6. Análisis de resultados	90
6.1 Observaciones del proceso de desarrollo del cultivo.....	90
6.2 Cálculos de unidades térmicas del cultivo.....	91
6.3 Crecimiento vertical del germinado vs el tiempo	93
6.4 Consumo de nutrientes vs tiempo	95
6.5 Consumo hídrico vs tiempo	96
6.5.1 Necesidades de agua de riego.	97
6.5.2 Evapotranspiración potencial (ETP) del cultivo.	98
6.6 Cálculos de crecimiento del forraje	99
6.7 Cálculos de biomasa	99
6.7.1 Cálculo de la biomasa por unidad de superficie	100
6.7.2 Cálculo de Biomasa total	100
7. Conclusiones.....	100

8. Recomendaciones 102

Referencias Bibliográficas 103

Apéndices..... 108

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Sistema hidropónico de tomate	18
Figura 2. Ventajas y desventajas de la hidroponía.....	20
Figura 3. Germinados de trigo, maíz y lenteja.....	24
Figura 4. Propiedades de los germinados	25
Figura 5. Fotosíntesis	27
Figura 6. Proceso de germinación de una planta	28
Figura 7. Germinación del maíz (Zea mays)	29
Figura 8. Requerimientos nutricionales del cultivo	30
Figura 9. Fases de la nutrición en la planta.....	31
Figura 10. Factores importantes en el crecimiento de un cultivo hidropónico.....	32
Figura 11. Sustrato	33
Figura 12. Biomasa	34
Figura 13. Efecto de la radiación solar en la planta.....	36
Figura 14. Temperatura optima y base en el desarrollo.....	38
Figura 15. Penicilium en granos de maíz.....	40
Figura 16. Damping off de pos- emergencia en soya	41
Figura 17. Esquema conceptual de la acumulación de biomasa vegetal	42
Figura 18. Esquema del desarrollo y crecimiento del maíz	44
Figura 19. Efecto de la temperatura en el crecimiento diario del cultivo	45

Figura 20. Tiempo térmico de crecimiento del cultivo.....	46
Figura 21. Variación de la cubierta del Docel	46
Figura 22. Esquema general del sistema.....	51
Figura 23. Sistema de acondicionamiento de ambiente.....	52
Figura 24. Subsistema de irrigación.....	54
Figura 25. Subsistema de adecuación solución de riesgo	57
Figura 26. Diseño prototipo en SolidWorks	59
Figura 27. Diagrama pictórico del sistema electrónico	62
Figura 28. Controlador hidropónico basado en ESP32 (prototipo)	66
Figura 29. Controlador hidropónico basado en Arduino MEGA 2560 (diseño final).....	67
Figura 30. Vista superior del circuito impreso (Layout Top).....	70
Figura 31. Interfaz del aplicativo	76
Figura 32. Layout de posicionamiento de objetos de la aplicación	77
Figura 33. Elementos gráficos del aplicativo.....	79
Figura 34. Diagrama de limpieza, desinfección y preparación de la semilla	86
Figura 35. Prototipo cultivo hidropónico instalado	87
Figura 36. Relación de grados día vs tiempo	92
Figura 37. Relación de grados día acumulados versus tiempo	93
Figura 38. Tasa de crecimiento absoluto vs tiempo.....	94
Figura 39. Crecimiento vs tiempo.....	94
Figura 40. Electro conductividad del germinado	96
Figura 41. Esquema prototipo en CAD.....	108
Figura 42. Prototipo	109

Figura 43. Esquema electrónico del controlador hidropónico final.....	110
Figura 44. Fuente de energía, control de carga.....	111
Figura 45. Esquema de electroválvulas, bombas y resistencia calefactora.....	112
Figura 46. Esquema de humidificador y dosificadores.....	113
Figura 47. Esquema de sensores	114
Figura 48. Esquema de Dispositivos de comunicación, tiempo, visualización y aviso.....	115
Figura 49. Vista superior del circuito impreso (Layout Top).....	116
Figura 50. Ubicación de la instalación.....	158
Figura 51. Subsistema de irrigación.....	163
Figura 52. Sistema hidropónico para cultivo experimental de germinados.....	173
Figura 53. Interfaz de la aplicación para celular.....	175
Figura 54. Panel de parámetros.....	176

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Clasificación de sistemas hidropónicos	22
Tabla 2. Clasificación de sistemas hidropónicos	23
Tabla 3 Nutrientes que contienen los germinados	26
Tabla 4. Componentes subsistema de acondicionamiento de ambiente	53
Tabla 5. Componentes del subsistema de irrigación.....	55
Tabla 6. Subsistema de adecuación solución de riego.....	57
Tabla 7. Códigos de control	78
Tabla 8. Materiales requeridos.....	82
Tabla 9. Presupuesto para gastos académicos.....	83
Tabla 10. Presupuesto para gastos de montaje e instalación del sistema.....	83
Tabla 11. Presupuesto para gastos de montaje e instalación del sistema.....	83
Tabla 12. Parámetros en la siembra del germinado del maíz	88
Tabla 13. Solución nutritiva usada en la germinación del maíz	88
Tabla 14. Necesidades de riego	89
Tabla 15. Proceso realizado y observaciones del forraje	90
Tabla 16. Evo transpiración diaria del germinado	97

Lista de Apéndices

	Pág.
Apéndice A. Esquemas diseño del sistema.....	108
Apéndice B. Controlador electrónico	110
Apéndice C. Programa desarrollado	117
Apéndice D. Diseño aplicativo	151
Apéndice E. Desarrollo del sistema de potencia alternativo.....	156
Apéndice F. Diseño al detalle	163
Apéndice G. Manual de mantenimiento	173

Resumen

Título: Diseño y construcción de prototipo de sistema automatizado para cultivo experimental de germinados *

Autores: Christian Alejandro Hernández Acosta, Jaime Alberto Muñoz Vásquez **

Palabras Clave: hidroponía, cultivo sin suelo, sistema NFT, germinados

Descripción:

Se desarrolló un prototipo de medición y control de riego a través de la tarjeta de desarrollo Mega para programación por medio de Arduino con el fin de proporcionarle al cultivo de germinados de maíz un desarrollo óptimo con control de pH, nutrientes, electro conductividad de agua, temperatura y humedad, los cuales son regulados por medio de dosificadores que incorporan al agua de riego para estabilizarlo en el valor requerido, esto es posible a través del sensor GAOHOU PH0-14, sensor de detección de valor más sonda de electrodo PH BNC, del mismo modo el sensor de conductividad eléctrica analógico todos para Arduino, estos registran los valores segundo a segundo, mostrando en la pantalla alfanumérica LCD del componente electrónico está medición y se encarga de distribuir la corriente a cada uno de los sensores y actuadores que finalmente generan las acciones de riego cuando el valor sea el requerido por el usuario a través del aplicativo.

Los riegos definidos cada cuatro horas completando seis riegos diarios con los requerimientos dados por el usuario, a su vez las variables de humedad y temperatura se manipulan con la implementación de un humidificador y dos ventiladores, uno para renovar el aire y el otro ayuda a impulsar el aire a través de una resistencia para aumentar la temperatura de este, finalmente se generan las gráficas planteadas como objetivos específicos y se cumple con el objetivo general de crear un estructura que soportara las diez bandejas, dos tanques de almacenamiento con dos bombas una encargada de generar el riego y la segunda encargada de retornar el líquido a los tanques, con electroválvulas instaladas en cada tanque tanto a la entrada como la salida, las cuales se activan según la necesidad de riego y sus respectivos parámetros.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingeniería Mecánica, Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Javier Rúgeles Rodríguez, Magister en informática

Abstract

Title: Design and construction of automated system prototype for experimental germination culture *

Authors: Christian Alejandro Hernández Acosta, Jaime Alberto Muñoz Vásquez **

Key Words: Hydroponics, soil free culture, NFT system, sprouts

Description:

A prototype of measurement and control of irrigation was developed using the Mega development board for programming with Arduino in order to provide the corn sprout crop an optimal development controlling pH, nutrients, water electroconductivity, temperature and humidity, which are regulated by means of dispensers that incorporate to the irrigation water to stabilize it at the required value, this is possible through the GAOHOU PH0-14 sensor, value detection sensor plus PH BNC electrode probe, as well as, the analog electrical conductivity sensor all for Arduino, these record the values every second, showing it on the alphanumeric LCD screen of the electronic component and is responsible for distributing the electricity to each of the sensors and actuators that finally generate the irrigation actions when the value is required by the user through the application.

The irrigations are set every four hours by completing six daily irrigations with the requirements given by the user, also, the humidity and temperature variables are manipulated with the implementation of a humidifier and two fans, one used to renew the air and the other one helps to push the air through a resistance in order to increase its temperature, finally the plots proposed as specific objectives are generated and is accomplished the general objective of creating a structure that will support the ten trays, two storage tanks with two pumps, one in charge of generate irrigation and the second one in charge of returning the liquid to the tanks, with solenoid valves installed in each tank both at the inlet and at the outlet, which are activated according to the need for irrigation and its parameters.

* Degree Work

** Facultad de Ingeniería Mecánica, Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Javier Rúgeles Rodríguez, Magister en informatica

Introducción

Desde el surgimiento de la agricultura el ser humano busco la forma de mejorar su producción; durante años, los agricultores cultivaron en pequeñas parcelas ubicadas a distintas altitudes, diferentes ambientes y con diversas técnicas, con la colonización y diversas exploraciones la cantidad de productos y la diversificación de cultivos aumento los beneficios y a su vez los problemas, se generaron una gran cantidad de cultivos diferentes, pero también aumentaron las enfermedades en estos cultivos.

La agricultura simboliza la mayor proporción de uso de la tierra utilizada por el hombre en el mundo entero, durante siglos, la agricultura ha inducido un uso intensivo de la tierra, principalmente durante las últimas décadas donde el aumento de producción para suplir las necesidades de alimentación del mundo, genera la evolución y desarrollo de nuevas tecnologías agrícolas, el incremento del uso de semillas transgénicas, semillas híbridas, fertilizantes químicos artificiales, plaguicidas, herbicidas, el desarrollo de cultivos bajo plástico, la utilización de maquinaria agrícola pesada, la deforestación a causa del aumento de la carga ganadera por hectárea de superficie forrajera y otras técnicas invasivas que ejercen un impacto fundamental en la biota del suelo y en la contaminación del medio ambiente.

Por su parte, la producción agrícola en Colombia se ha basado durante décadas en los modelos tradicionales de producción, los productores del agro han asumido la responsabilidad de alimentar al pueblo colombiano en respuesta a las necesidades alimentarias del país, sin embargo, el estado actual de los suelos es decadente, así lo muestra un estudio del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, el cual revelo que el 40% de los suelos en el país tienen algún grado de erosión,

poniendo en riesgo la seguridad alimentaria de la población colombiana (Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales IDEAM, 2017). Los agresivos cambios climáticos, la mala calidad ambiental, malas prácticas agrícolas y agropecuarias con el uso de químicos, sobre uso del suelo, tala de bosques y la contaminación de fuentes de agua, son algunos de los factores que han llevado al empobrecimiento de los suelos (Estado Plurinacional de Bolivia, 2010). Esta situación muestra la necesidad de producir alimentos en lugares donde las condiciones no son aptas por falta de espacio o malas condiciones ambientales y hace necesario que se promueva, implemente e incentive el uso de distintas formas para cultivar alimentos que propicien ambientes adecuados y optimicen el espacio, los requerimientos hídricos, de nutrientes y con los que se alcancen volúmenes de producción óptimos.

En la actualidad, la hidroponía se percibe como una solución a la progresiva disminución de las zonas agrícolas, producto de la violencia, la contaminación, el cambio climático y el crecimiento desproporcionado de las ciudades y demás problemas ya mencionados. Además, de ser una de las más fascinantes ramas de la ciencia agronómica en evolución.

La hidroponía consiste en el cultivo en espacios pequeños de todo tipo de plantas de cosecha rápida, sin utilizar suelo, con aporte de elementos minerales esenciales transportados por una solución nutritiva cuidadosamente dosificada controlando aspectos como la variación de temperatura, humedad, y nutrientes, para conseguir un crecimiento controlado de la cosecha y lograr una estabilidad independiente de la época del año.

El presente proyecto propone el diseño y la construcción de un prototipo de un sistema automatizado hidropónico para realizar estudios y obtener más datos acerca de la producción de germinados, midiendo factores como la temperatura, la humedad, el aporte de nutrientes, los requerimientos hídricos, la estabilización del pH y otros.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Diseñar y construir un prototipo de sistema automático para cultivo de germinados

1.2 Objetivos Específicos

1 Realizar el diseño conceptual del sistema. Con los siguientes subsistemas:

a) Almacenamiento en 10 bandejas de germinados con un área de cultivo cada una de 1250 cm².

b) Control de ambiente.

c) Transporte de fluidos.

d) Adecuación de la solución de riego.

e) Control general

2 Efectuar cultivo con maíz criollo para una siembra de 1Kg semilla/m². El cultivo debe tener una duración de 8 días y obtener de él las siguientes graficas para germinado de maíz DK370:

a) Crecimiento vertical(mm) vs tiempo(s)

b) Consumo de nutrientes(gr) vs tiempo(s)

c) Consumo hídrico(ml) vs tiempo(s)

d) Consumo energético(j) vs tiempo(s)

2. Referentes teóricos

2.1 Hidroponía

La palabra hidroponía deriva del griego hidro (agua) y ponos (labor o trabajo), esto significa trabajo en agua, es un conjunto de técnicas que permite el cultivo de plantas principalmente herbáceo en un medio libre de suelo, es decir sin tierra, aprovechando diferentes sitios como suelos infértiles, invernaderos, terrenos escarpados o rocosos, entre otros; a partir de esto, se desarrollan diferentes técnicas priorizando las necesidades de la planta como la temperatura, humedad, agua y nutrientes (Beltrano & Gimenez, 2015).

Figura 1.

Sistema hidropónico de tomate



Nota: Sistema hidropónico de tomate. (s.f.) [Ilustración]. <https://n9.cl/imuis>

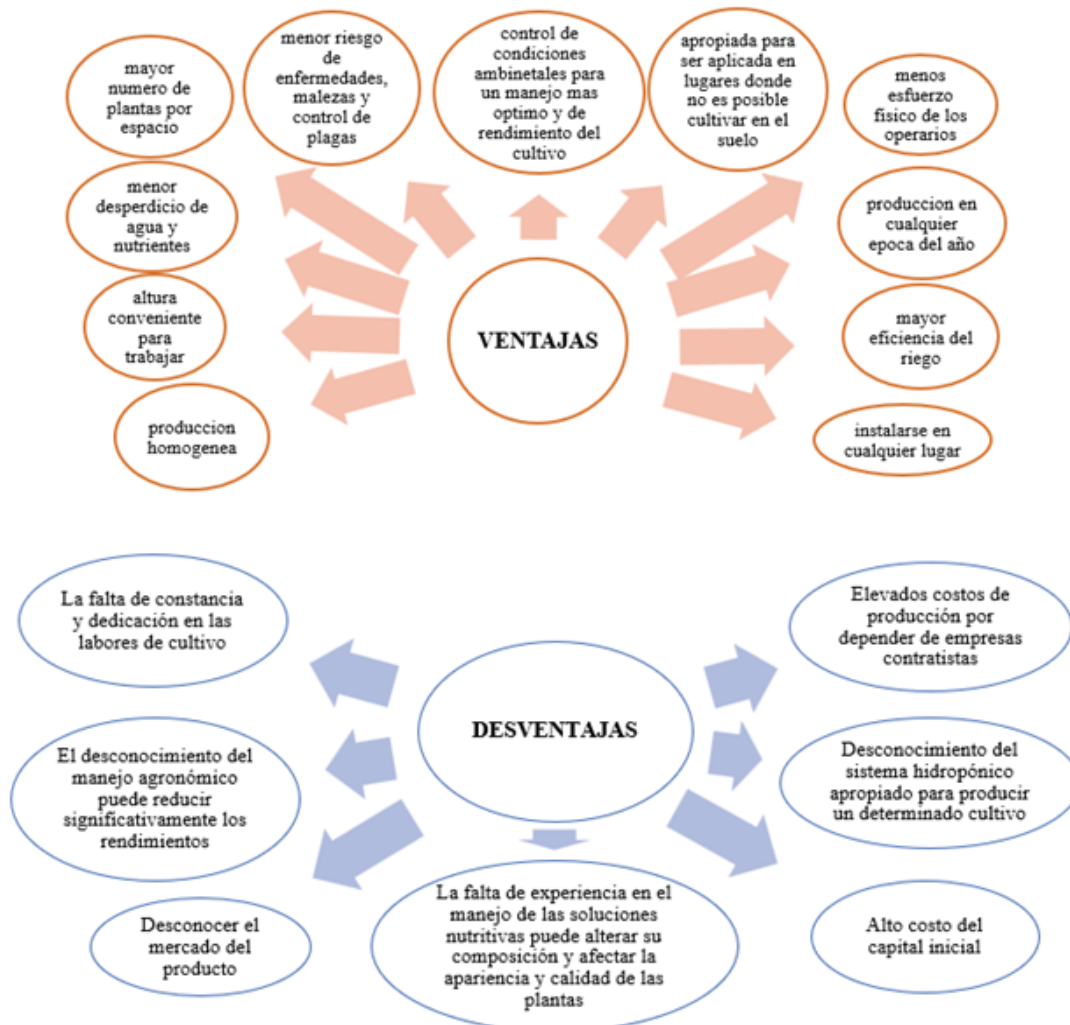
2.1.1 Historia de la Hidroponía.

La hidroponía data de mucho más tiempo que las plantaciones en tierra firme debido a que hace unos 4600 millones de años, tiempo después de que la tierra se formó, esta se encontraba en condiciones extremas, saturada de hidrógeno, dióxido de carbono, monóxido de carbono y vapor de agua entre otros componentes; luego, hace 4000 millones de años al bajar la temperatura en la tierra el vapor de agua se condensa y genera fuertes lluvias que cubrieron el planeta, lo cual provocó grandes masas de agua con acumulación de sustancias disueltas que acompañadas de tormentas eléctricas y reacciones químicas y físicas dieron como resultado la creación de moléculas que fueron importantes para la vida, como los hidratos de carbono, las proteínas, las grasas y ácidos nucleicos como el ARN y ADN.

En la época de los treinta (1929) el término de hidroponía fue designado por W.F. Gericke profesor de la Universidad de California refiriéndose a esta como “agua que trabaja” del griego Hidro (agua) y Ponos (Labor) sus experimentos crearon un gran cambio y fueron difundidos como “El Descubrimiento del Siglo”, al publicar sus experimentos sobre cultivos de tomates en solución nutritiva, muchas más empresas y países avanzaron también en esta clase de cultivos como en Europa, Israel, Japón, India, México, etc. Luego durante la segunda guerra mundial la hidroponía jugó un papel fundamental en la alimentación de las fuerzas militares estadounidenses en el pacífico en donde los cultivos de hortalizas proveían verduras frescas.

Figura 2.

Ventajas y desventajas de la hidroponía



Nota. Gráfico elaborado por autores, información obtenida de Bosques (2010)

En la actualidad, la hidroponía se vislumbra como una solución a la creciente disminución de las zonas agrícolas, producto de la contaminación, la desertización, el cambio climático y el crecimiento desproporcionado de las ciudades. Además, de ser una de las más fascinantes ramas de la ciencia agronómica ya que el rendimiento de los cultivos hidropónicos puede duplicar o más los de los cultivos en suelo.

La disponibilidad de agua y nutrientes, los niveles de radiación y temperatura del ambiente, la densidad de siembra o disposición de las plantas en el sistema hidropónico, la acción de patógenos o plagas, etc., incidirán fuertemente en el rendimiento del cultivo. El modernismo permitió la introducción de los avances de la informática para el control y ejecución de actividades, que han hecho de la automatización del cultivo hidropónico una realidad. Un cultivo hidropónico realizado en un área confinada y climatizada es un sistema altamente repetible, en consecuencia, se ha constituido en una herramienta valiosa para la investigación y la enseñanza (Beltrano & Gimenez, 2015).



2.1.2 Ventajas y desventajas de los sistemas hidropónicos.

Son grandes las ventajas que ofrecen los sistemas hidropónicos sobre el cultivo tradicional, en la Figura 2 se presenta una lista de las principales ventajas y desventajas de los sistemas hidropónicos.

2.1.3 Sistemas hidropónicos.

Los sistemas hidropónicos se pueden clasificar como activos o pasivos sus principales características se enumeran en la Tabla 1.

Tabla 1.*Clasificación de sistemas hidropónicos*

Hidroponía activa	Hidroponía pasiva
<p>Se caracteriza por grandes producciones obtenidas, con sistemas de nutrición y riego automatizados, estos sistemas utilizan bombas hidráulicas para hacer circular la solución nutritiva directamente hacia las raíces. En este tipo de sistemas, las raíces tienen un acceso óptimo al oxígeno porque el medio en el que se desarrollan no absorbe ni retiene agua y nutrientes.</p>	<p>El sistema hidropónico pasivo utiliza sustratos que absorben agua, lo que reduce la cantidad de oxígeno de la zona radicular; en este tipo de sistemas la solución nutritiva está disponible para los cultivos gracias a la acción capilar que se da en el medio de crecimiento alrededor de las raíces, generalmente no se utilizan bombas para hacer que la solución nutritiva llegue a las plantas.</p>
	

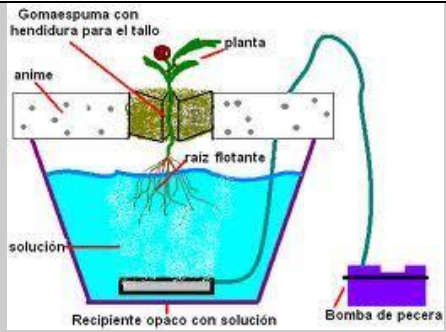
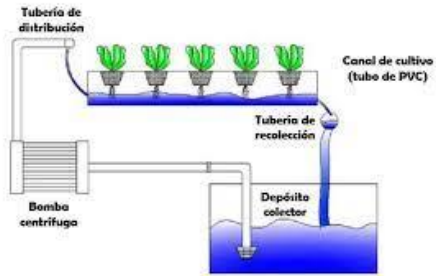
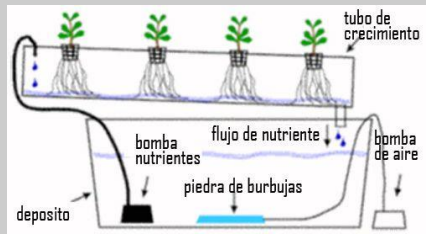
Nota: información obtenida de Nutriculture (2019).

2.1.4 Cultivos hidropónicos.

Existen diversos tipos de sistemas hidropónicos, desde los más simples, con funcionamiento manual o semiautomático, hasta los más sofisticados y completamente automatizados; estos sistemas se pueden clasificar en Sistema de solución estática, sistema de flujo continuo y cultivos en aire o aeropónicos. Se observa en la tabla 2.

Tabla 2.

Clasificación de sistemas hidropónicos

Tipo de sistema hidropónicos	
<p>Sistema de solución estática</p>	<p>En esta categoría se incluyen los tanques o recipientes profundos de solución nutritiva, en las cuales las raíces de las plantas se mantienen sumergidas en la solución nutritiva y solo se añade aire para oxigenarlas (Bosques Vargas J. , 2010).</p> 
<p>Sistema de flujo continuo</p>	<p>La solución nutritiva puede circular de forma continua o intermitente, se utiliza en los sistemas de canales profundos o semi profundos, el aporte de oxígeno no es necesario, ya que la solución se encuentra en movimiento. (Beltrano & Giménez, 2015, p. 74)</p> 
<p>Cultivos en aire o aeropónicos</p>	<p>La mayoría de estos sistemas utilizan un recinto aislado en el que caen las raíces de las plantas y líneas de micro aspersores alineados estratégicamente se encargan de mantener húmeda la raíz, mediante descargas de solución nutritiva de corta duración y frecuencia variable según las condiciones ambientales, la solución sobrante es recogida y conducida a un tanque de reserva (Andreu, Giménez, & Beltrano, 2015).</p> 

2.2 Germinados

Los germinados no son solo el alimento vivo más antiguo, (Figura 3), sino un manantial de clorofila, enzimas, vitaminas y aminoácidos, debido a esto, aumenta su valor nutricional asociado a su alto contenido de compuestos benéficos como los antioxidantes, estos, pueden neutralizar el

estrés oxidativo causado por el exceso de radicales libres que dañan a las células del cuerpo y ocasionan enfermedades degenerativas (Solorzano Sánchez, y otros, 2019).

Figura 3.

Germinados de trigo, maíz y lenteja



Nota. Germinados (s.f.) [Fotografía] <https://n9.cl/uisim>

2.2.1 Propiedades.

Los germinados son alimentos completos en crecimiento, lo que aumenta su nivel nutricional, el consumo de estos facilita la digestión ya que libera los nutrientes consumidos; del mismo modo, dentro de sus beneficios se encuentran diferentes propiedades que favorecen numerosos procesos del cuerpo humano, en la Figura 4 se pueden observar estas propiedades.

Figura 4.

Propiedades de los germinados



2.2.2 Nutrientes.

Los germinados son vegetales vivos que se encuentran en la fase de crecimiento en el momento de su consumo, además son, un complemento ideal para la alimentación por su aporte en vitaminas, proteínas y minerales (Terra, 2013); En la Figura 6 se presenta un listado de los principales nutrientes obtenidos del cultivo de germinados.

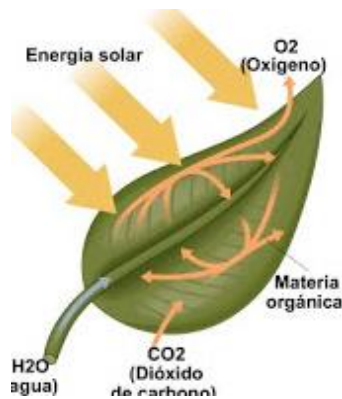
Tabla 3*Nutrientes que contienen los germinados*

Aminoácidos esenciales: proporcionan al organismo proteínas completas que se transforman en los ocho aminoácidos esenciales que son los que no puede sintetizar.	Vitamina B: la tiamina (B1), la riboflavina (B2) y el niacina (B3), contribuyen al buen funcionamiento del sistema nervioso.	Enzimas: cuando se comen crudas las enzimas de las semillas germinadas llamadas diastasas, facilitan la digestión de la fibra, las proteínas y las grasas
Hierro: contienen en cantidades importantes los brotes de alfalfa, fenogreco, lentejas, soja roja y soja verde.	Calcio: los germinados de sésamo proporcionan abundante calcio, también son excelentes fuentes de este mineral los brotes de almendra.	Vitamina C: una de las sustancias que contiene mayor aumento por efecto de la germinación.
Clorofila: activa el metabolismo celular, mejora la defensa, resistencia, capacidad regeneradora de las células y la respiración.	Betacarotenos (provitamina a): vitamina esencial para el crecimiento, el desarrollo, la buena vista y el aparato reproductor.	Oligoelementos: los germinados contienen oligoelementos como el yodo, el zinc, el selenio, el silicio, el cromo y el cobalto.
Vitamina E: actúa como antioxidante celular, es un excelente protector del corazón y un buen tónico.	Vitamina K: posee propiedades coagulantes, se encuentra en la alfalfa germinada.	Potasio: se encuentra en los brotes de almendras, sésamo, girasol, soja y judías.

Nota: tabla elaborada por autores información tomada de Elorza, s.f.

2.3 Fotosíntesis

El crecimiento del cultivo resulta de la acumulación de biomasa vegetal. Esa ganancia de peso se debe, principalmente, al balance neto positivo del intercambio de carbono entre la planta y su ambiente (Figura 5). En dicho balance, las pérdidas por transpiración son sobre compensadas a través del proceso de fotosíntesis, mediante el cual la planta transforma parte de la energía solar recibida en energía química. Por lo tanto, la acumulación de biomasa en el cultivo depende de la cantidad de radiación solar disponible, de la capacidad para interceptarla y de la eficiencia con que el cultivo convierte la radiación capturada en biomasa vegetal.

Figura 5.*Fotosíntesis*

Nota: La maravillosa fotosíntesis. (s.f.) [Ilustración]. <https://n9.cl/5p7jo>

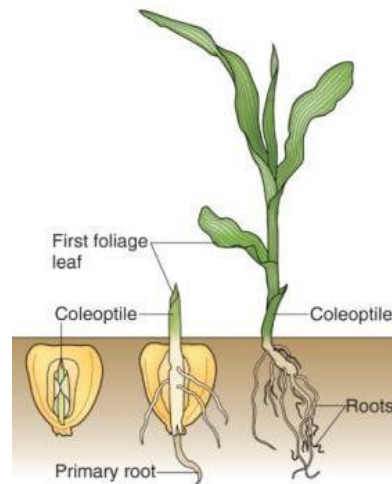
2.4 Proceso de germinación

Es un proceso natural de obtención de alimentos. Cuando un grano cuenta con el agua, el oxígeno y el calor necesario, germina para formar un nuevo ser vivo (Figura 6), una planta que a su vez producirá nuevas semillas” (Perez Galeano y Zapata Valencia, 2015, p. 15).

“En el interior de cada semilla dormida aguarda un germinado invisible, arropado en una nutritiva fécula y protegida por una corteza, el agua y el calor ablandan la corteza, esta ablandada absorbe agua, la semilla se hincha por el agua y se abre, en este momento se produce el nacimiento” (Braunstein & Rodriguez, 2012, p. 15).

Figura 6.

Proceso de germinación de una planta

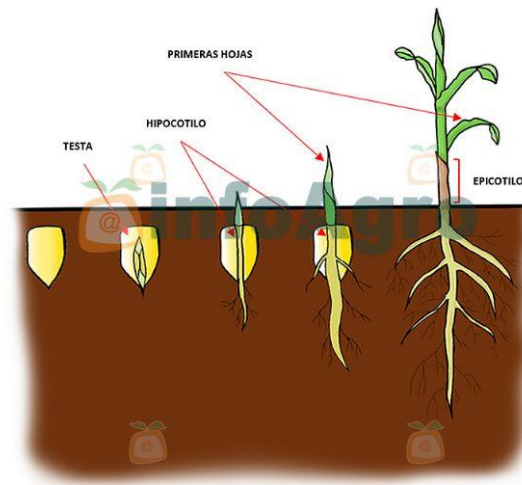


Nota: Fisiología de la germinación. (s.f.) [Ilustración]. <https://n9.cl/11pmg>

En el proceso de germinación de una semilla se produce una serie de transformaciones cualitativas y cuantitativas muy importantes. El germen del embrión de la futura planta, a partir de un almacén de energía en forma de carbohidratos y lípidos, es capaz de transformarse en pocos días en una plántula con capacidad para captar energía del sol y absorber elementos minerales de la solución nutritiva; en este estado la planta tanto en su parte aérea como en la zona radicular se encuentra en un crecimiento acelerado (Figura 7) , poseyendo poco contenido de fibra y un alto contenido en proteína, parte de la cual se encuentra en estado de nueva formación, por lo que gran parte de los aminoácidos están en forma libre y son aprovechables más fácilmente por los animales que los consumen.(Ospina, 2013)

Figura 7.

Germinación del maíz (Zea mays)



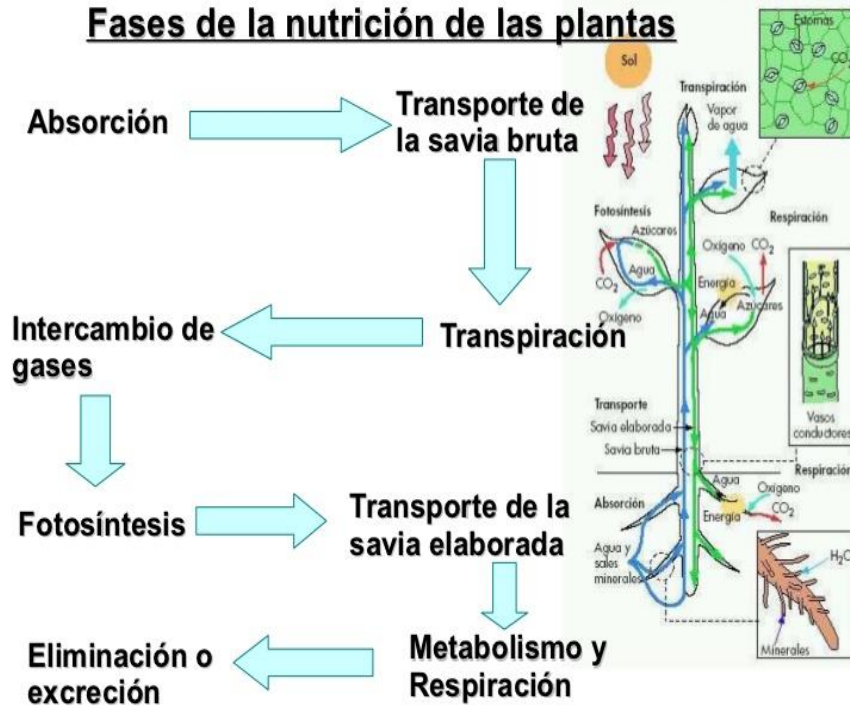
Nota. Germinación hipogea. (s.f.) [Ilustración]. <https://n9.cl/fakor>

2.5 Nutrientes requeridos para la germinación

La absorción de nutrientes es un factor importante en el cultivo de plantas de cualquier tipo, las raíces deben absorber lo que la planta necesita para crecer sana y de un tamaño conveniente, en el cultivo hidropónico los elementos minerales esenciales (Figura 8) son aportados por la solución nutritiva, donde se encuentran en forma iónica y son absorbidos por las raíces; el exceso de energía, la planta la utiliza para desarrollar las partes superiores, incluyendo las flores y los frutos.

Figura 8.*Requerimientos nutricionales del cultivo*

El éxito de un cultivo hidropónico se determina por la constitución adecuada de la solución nutritiva a suministrar para que se den todas las fases de la nutrición de una planta (Figura 9). Es necesario conocer la calidad del agua a utilizar para la preparación de la solución nutritiva, la relación existente entre los diferentes iones minerales, la conductividad eléctrica y el pH, es decir, el equilibrio entre CO_3 (trióxido de carbono) / HCO_3 (bicarbonato). Esta relación es importante para determinar la resistencia del agua a la acidificación, ya que será necesario agregar ácido para reducir el pH a valores cercanos a 5,3-5,5.

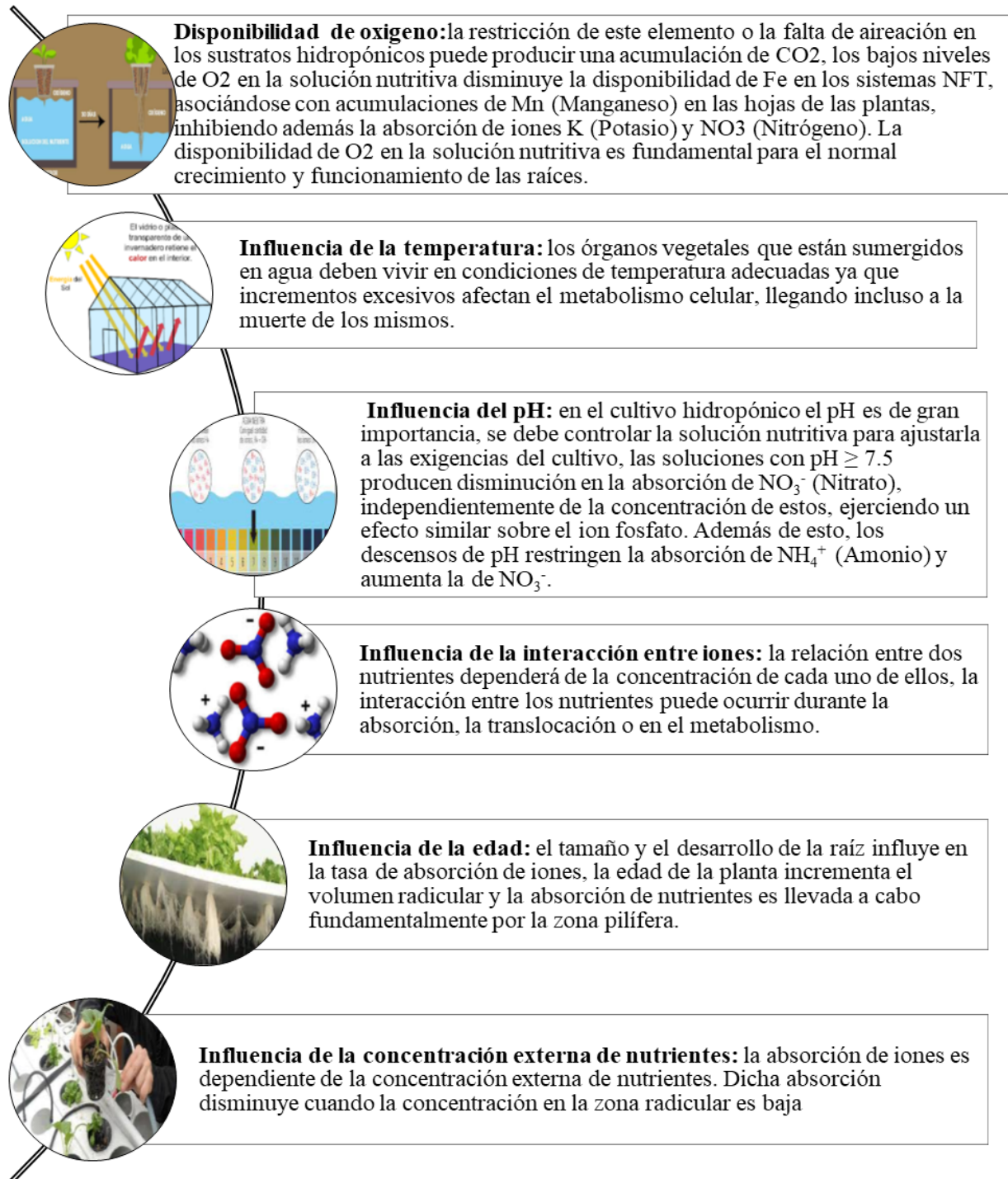
Figura 9.*Fases de la nutrición en la planta*

Nota. Fases de la nutrición de la planta. (s.f.) [Ilustración] <https://n9.cl/d73x>

Otros factores que juegan un rol importante en el desarrollo de las plantas y que se han de controlar para lograr el crecimiento potencial del cultivo hidropónico se listan en la Figura 10.

Figura 10.

Factores importantes en el crecimiento de un cultivo hidropónico



Nota: Factores en el crecimiento del cultivo hidropónico. (Carbone, 2015)

2.6 Sustratos

Un sustrato es un medio sólido e inerte que da soporte a las plantas, éste puede ser de material orgánico, inorgánico o sintético; su función principal es proteger a las raíces de la luz y permitir que tengan una correcta aireación, asimismo deben ayudar a retener el agua y los nutrientes que aportan todo lo que las plantas necesitan para crecer (Figura 11).

Un buen sustrato debe reunir una serie de características como: capacidad para retener la humedad, absorber y distribuir la solución nutritiva; buena aireación, estabilidad física, peso liviano y buen drenaje. Un sustrato adecuado debe estar compuesto de partículas de un tamaño adecuado (de 2 a 7 mm), las partículas muy pequeñas retienen demasiada humedad y limitan la aireación de las raíces, por su parte, las partículas muy grandes dificultan la germinación de la semilla, limitan la retención de humedad y pueden ocasionar formas extrañas en los tubérculos. (Bosques Vargas J. , 2010).

Figura 11.

Sustrato



Nota: Tipos de sustratos para hidroponía. (s.f.)[Fotografía] <https://n9.cl/xhai>

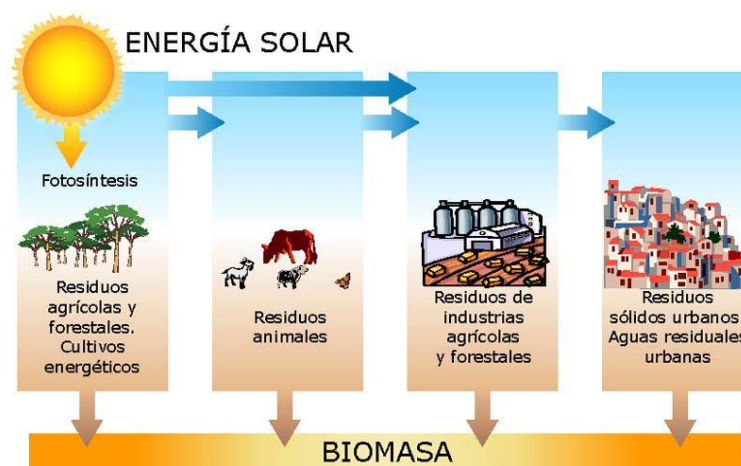
2.7 Biomasa

La Biomasa es la materia orgánica que se genera a través del proceso de fotosíntesis, mediante el cual la planta transforma parte de la energía solar recibida en energía química, tomando CO₂ del aire y transformándolo en sustancias orgánicas (Coordinación de Energías Renovables, Dirección Nacional de Promoción y Subsecretaría de Energía Eléctrica, 2008).

“En el campo energético, se entiende por biomasa a cualquier materia que haya tenido su origen inmediato en un proceso biológico” (Cira & Ramos, 2017). La biomasa es considerada el recurso energético renovable más empleado en el mundo; se encuentra dentro de este recurso como un tipo de energía solar de gran aprovechamiento, principalmente por combustión directa de la biomasa o transformación en otros combustibles derivados de la misma. Una de las ventajas de la biomasa para fines energéticos es la diversificación, una combustión más limpia y neutra en CO₂, además de la restauración de suelos y el desarrollo de áreas rurales (San Miguel & Gutierrez, 2015)

Figura 12.

Biomasa



Nota. Origen. (s.f.) [Ilustración] <https://n9.cl/vd4uh>

2.8 Fisiología del germinado

En el proceso de germinación de una semilla se produce una serie de transformaciones cualitativas y cuantitativas muy importantes. El germen del embrión de la futura planta, a partir de un almacén de energía en forma de carbohidratos y lípidos, es capaz de transformarse en pocos días en una plántula con capacidad para captar energía del sol y absorber elementos minerales de la solución nutritiva; en este estado la planta tanto en su parte aérea como en la zona radicular se encuentra en un crecimiento acelerado, poseyendo poco contenido de fibra y un alto contenido en proteína, parte de la cual se encuentra en estado de nueva formación, por lo que gran parte de los aminoácidos están en forma libre y son aprovechables más fácilmente por los animales que los consumen.(Ospina, 2013)

2.9 Factores que controlar en un cultivo hidropónico

2.9.1 Calidad de la Semilla:

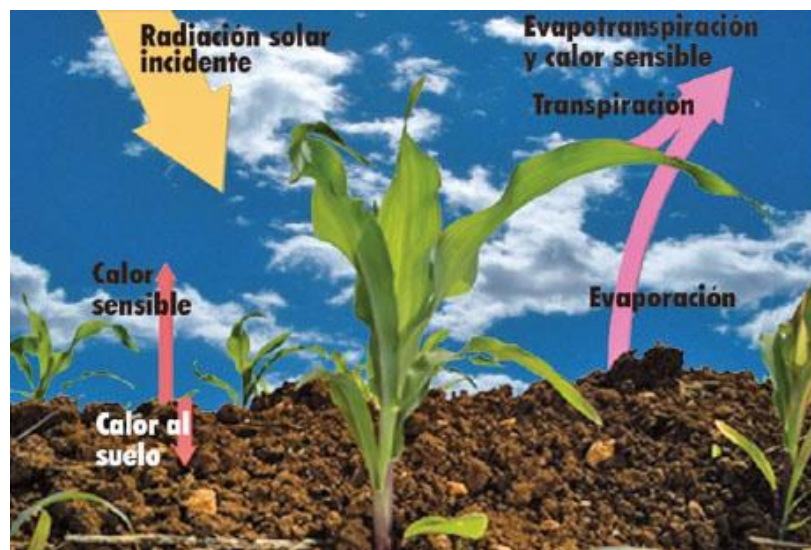
La semilla debe presentar un porcentaje de germinación mayor o igual al 70-75 % para evitar pérdidas en el rendimiento, esta semilla a utilizar tiene que estar limpia y tratada con una solución de hipoclorito de sodio al 1 % a través de un baño de inmersión, el cual dura aproximadamente entre 3 y 5 minutos, y el lote de semillas no debe contener semillas partidas, ni semillas de otros cultivares (FAO, 2001).

2.9.2 Calidad del Agua de Riego

En sistemas hidropónicos se debe utilizar un agua con su característica de potabilidad, es importante realizar un análisis químico de la misma y en base a ello formular la solución nutritiva, así como evaluar que otro tipo de tratamiento tendría que ser efectuado para asegurar su calidad (FAO, 2001).

Figura 13.

Efecto de la radiación solar en la planta



Nota. Partición de los componentes del balance de energía de un campo de maíz en estados tempranos del desarrollo del dosel, con una gran proporción de la superficie del suelo expuesta.

2015. [Ilustración] <https://n9.cl/djmck>

2.9.3 Iluminación

La radiación solar es básica puesto que promueve síntesis de compuestos (vitaminas). Durante la germinación de las semillas no es deseable por lo que hasta el tercer o cuarto día de sembradas las charolas o bandejas, deberán estar en un ambiente de luz tenue, pero con su oportuno riego para favorecer la aparición de los brotes y el posterior desarrollo. La exposición directa al sol (Figura 13) trae consecuencias negativas (aumento de la evapotranspiración, endurecimiento y quemaduras de las hojas). En los dos últimos días del proceso de producción, se exponen las bandejas a la acción de la luz para lograr, como cosa primordial que el forraje obtenga su color verde intenso característico y complete su riqueza nutricional (FAO, 2001).

2.9.4 Temperatura

El control de temperatura depende mucho del tipo de grano escogido y su variedad, el rango óptimo para producir forraje verde hidropónico se sitúa entre los 18 y los 28°C (FAO, 2001).

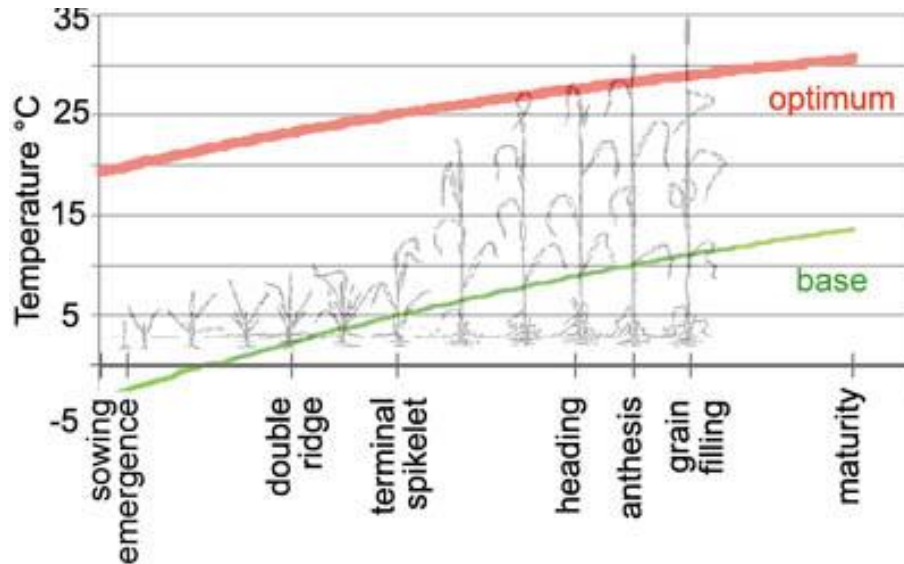
Para evitar problemas de hongos, levaduras y bacterias indeseables nocivas para la calidad del forraje verde hidropónico; algunos granos como (avena, cebada y trigo) requieren temperaturas bajas para su germinación de 18 a 21°C, solamente el maíz requiere un rango mucho más alto de temperatura entre 22°C y 28°C, sin embargo hay que tener precaución ya que la contaminación se agudiza a estas temperaturas, principalmente con los grados de humedad tan alta a los que se trabaja el forraje verde hidropónico (Arano, 1998).

La Temperatura BASE es la temperatura por debajo de la cual el desarrollo fenológico se detiene. Para el maíz se establece en 8 °C, también se debe considera una temperatura de umbral

superior (Figura 14). El umbral de temperatura superior especifica la temperatura por encima de la cual el desarrollo del cultivo ya no aumenta con un aumento de la temperatura del aire.

Figura 14.

Temperatura optima y base en el desarrollo



Nota: Cambios de las temperaturas base y óptima de acuerdo a las fases de desarrollo.(s.f.)

[Gráfica]. <https://n9.cl/eu2xd>

2.9.5 Humedad

En forraje verde hidropónico, los valores de humedad relativa deben ser mayores de 90 %, es aconsejable una buena circulación de aire a efecto de minimizar los excesos de humedad ya que si es muy alta resultaran problemas fitosanitarios debido fundamentalmente a enfermedades fungosas o bacterias difíciles de combatir y eliminar, además de incrementar los costos de

operación. Por otra parte, la poca humedad relativa (ambiente seco) da como resultado forraje deshidratado con baja capacidad de crecimiento y poco valor alimenticio (Arano, 1998).

2.9.6 Ventilación

Una inadecuada ventilación de los invernaderos es otra de las causas de contaminación. Por lo tanto, para combatir esto problema es de vital importancia que exista una buena ventilación. Asegurarse que el área este ventilada suficientemente permitiendo un flujo constante del aire a través del invernadero (Arano, 1998).

2.10 Manejo de enfermedades

Los cultivos son susceptibles a varias enfermedades, que en alguna forma afectan el normal desarrollo de las plantas. Las enfermedades son favorecidas por las condiciones ambientales, el tipo de suelo, la susceptibilidad de los materiales y, en el caso de las enfermedades de origen viral, por las condiciones que favorezcan la migración, establecimiento y supervivencia de los insectos vectores.

Figura 15.

Penicillium en granos de maíz.



Nota: Maices afectados por hongos. (s.f.) [Fotografía]. <https://n9.cl/01ypj>

Algunos hongos que pueden producir mico toxinas (Figura 15). Estos hongos incluyen especies de *Fusarium*, *A/ternaria*, *Cladosporium*, *Claviceps*, *Penicillium*, *Pythium*, *Rhizoctonia* e infecciones endofitas (Scudamore & Livesey, 1998). Las enfermedades ocasionadas por estos hongos fitopatógenos es uno de los factores que afectan el rendimiento de los forrajes, causando enfermedades como la podredumbre de semilla y el damping-off de pre- y pos-emergencia en leguminosas forrajeras. El damping off de preemergencia se caracteriza por la pudrición de las semillas, las cuales se ablandan, se cargan de agua y por lo tanto las raíces no llegan a emerger.

En el damping off de post-emergencia (Figura 16) el patógeno ataca a tallos jóvenes ocasionando la caída y muerte de la planta. Existen otros tres importantes géneros de hongos productores de micotoxinas y que se encuentran ampliamente distribuidos a nivel mundial: *Aspergillus*, *Fusarium* y *Penicillium*. La infección de las cosechas por estos hongos disminuye su rendimiento y los alimentos presentan valores nutricionales menores (Lawior & Lynch, 2001).

Figura 16.

Damping off de pos- emergencia en soya



Nota: Damping off. (s.f.) [Fotografía]. <https://n9.cl/acpby>

El control y manejo de las plagas se puede realizar manteniendo buena ventilación, con la reducción de fuentes de inóculo partiendo de la utilización de material de propagación sano, libre de virus que pueden constituir huéspedes alternativos. Por último, con la desinfección de la estructura del invernadero, siendo posible utilizar para esto una solución de hipoclorito de sodio al 2%. Normalmente la lejía comercial viene en concentración del 7%, por lo que una parte de ésta por tres partes de agua limpia daría la concentración final requerida. (Sandoval Briones, 2004)

2.11 Análisis cuantitativo del crecimiento de un cultivo hidropónico.

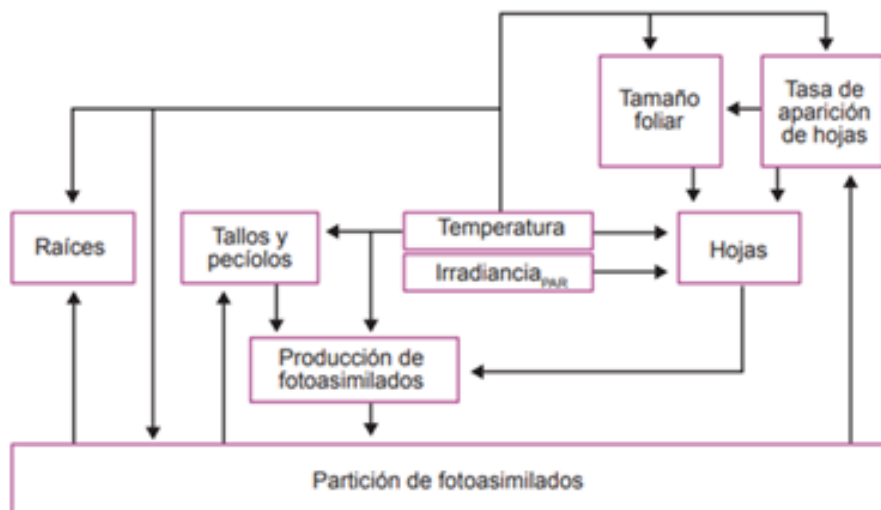
En el presente Trabajo, el análisis de la germinación busca conocer la dinámica del proceso germinativo para establecer un modelo predictivo que permita estimar la cantidad de germinación acumulada (kg) al final de un cierto número de días, a partir de una población de semillas que ha sido colectada y almacenada en condiciones controladas.

Se desarrolla una metodología en dos etapas. La primera es adecuar al proceso de producción de germinados, un modelo de simulación del crecimiento de un cultivo y a partir de esta colección de algoritmos que describe matemáticamente la respuesta de un sistema de cultivo a su entorno, calcular cada día el avance de la fenología, la tasa de crecimiento y la cantidad potencial de biomasa de las plantas en fase de crecimiento. Con base en los resultados de la simulación con estos modelos matemáticos se ha de predecir los requisitos de riego en cada una de las bandejas de germinación del sistema para obtener la cantidad potencial de germinado.

En la segunda etapa, se realiza el análisis de la respuesta germinativa y de crecimiento mediante el tratamiento estadístico de los datos experimentales para ajustar las constantes usadas en el modelo de crecimiento.

Figura 17.

Esquema conceptual de la acumulación de biomasa vegetal



Nota: Esquema partición de foto asimilados. (Totis, 2015)

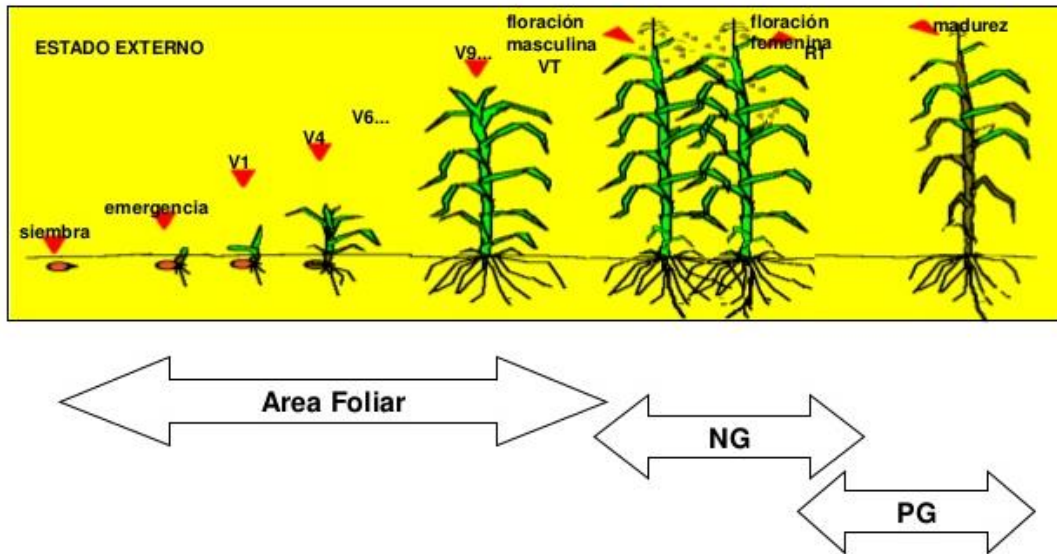
2.11.1 Crecimiento del cultivo.

El crecimiento del cultivo resulta de la acumulación de biomasa vegetal. Esa ganancia de peso se debe, principalmente, al balance neto positivo del intercambio de carbono entre la planta y su ambiente. En dicho balance, las pérdidas por transpiración son sobre compensadas a través del proceso de fotosíntesis, mediante el cual la planta transforma parte de la energía solar recibida en energía química. Por lo tanto, la acumulación de biomasa en el cultivo (Figura 17) depende de la cantidad de radiación solar disponible, de la capacidad para interceptarla y de la eficiencia con que el cultivo convierte la radiación capturada en biomasa vegetal (Totis., 2015).

Durante los primeros días del ciclo, el crecimiento del cultivo está en su mayor parte orientado a generar nuevos tejidos foliares. Posteriormente, durante la etapa de encañe, el crecimiento del tallo es el que da cuenta de la mayor parte del aumento del peso total de la planta. Luego de la floración se detiene la producción de tejido foliar, el tallo continúa su incremento de peso durante un lapso de dos a tres semanas (debido a la acumulación de sustancias de reserva) e inmediatamente después los órganos reproductivos (granos) inician un acelerado proceso de crecimiento (Totis., 2015). El resultado final del cultivo es la consecuencia de las múltiples interacciones que tiene con el ambiente que lo rodea, el cual varía en el tiempo y el espacio.

Figura 18.

Esquema del desarrollo y crecimiento del maíz



Nota: Etapas fenomenológicas del maíz. (Arévalo, 2014) [Ilustración]. <https://n9.cl/ey6zz>

El rendimiento en grano queda determinado por la manera en que el cultivo particiona la biomasa acumulada durante su crecimiento entre los órganos de cosecha y el resto de la planta. La edad fisiológica del cultivo (Figura 18) se describe en 8 fases (Ritchie et al., 1998):

- Siembra - germinación.
- Germinación - emergencia.
- Emergencia - fin del período juvenil.
- Fin del periodo juvenil - iniciación floral.
- Iniciación floral - floración femenina y fin del crecimiento de las hojas.
- Fin del crecimiento foliar - principio del llenado del grano.
- Principio del llenado del grano - madurez fisiológica.
- Madurez fisiológica - cosecha.

2.11.2 Respuesta térmica de la tasa de desarrollo del cultivo

La tasa de desarrollo aumenta linealmente, en función de la temperatura base (8 °C) hasta los 18°C, y decrece linealmente hasta cero cuando la temperatura se incrementa desde 34 a 44 °C. Así mismo, se considera que las tasas de iniciación de hojas y aparición de hojas cambian linealmente y de modo similar en estos dos rangos de temperaturas.

El tiempo térmico de crecimiento del cultivo Se define (GDD en °C-día), como el valor del área bajo la curva Temperatura del aire en °C vs tiempo en días. (Figura 20).

$$GDD[{}^{\circ}C.dia] = \sum_{i=1}^n dias (T_{avgi} - T_{base}) \text{ Ecuación 1.}$$

Figura 19.

Efecto de la temperatura en el crecimiento diario del cultivo

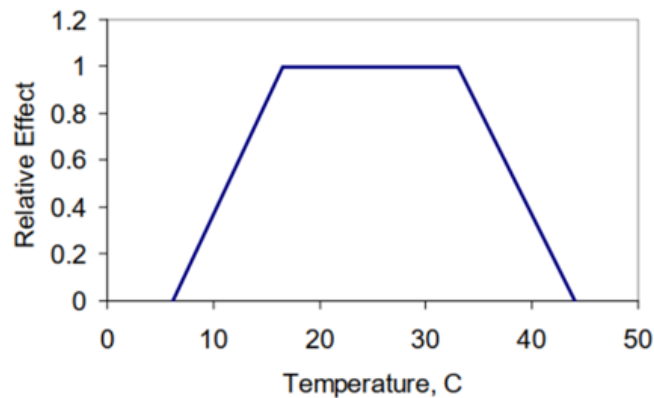
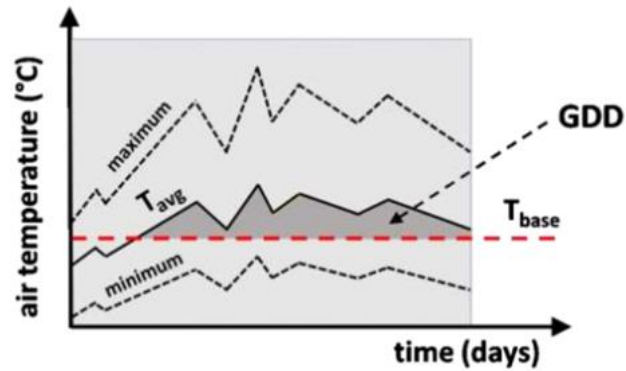


Figura 20.

Tiempo térmico de crecimiento del cultivo

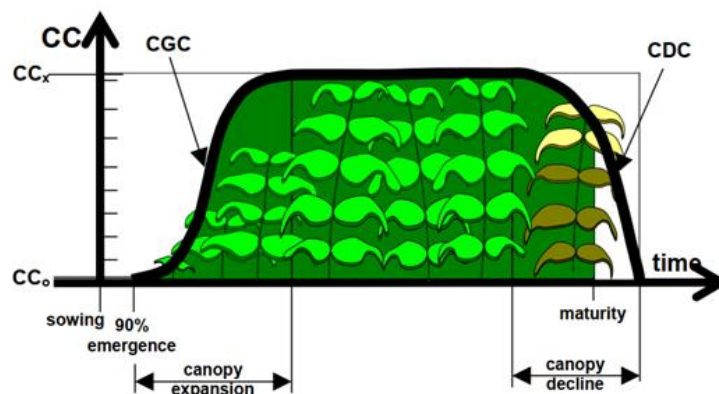


2.11.3 Cobertura de dosel verde durante todo el ciclo del cultivo.

El desarrollo y la senescencia del dosel verde en condiciones óptimas se describen mediante cuatro parámetros (Figura 21):

Figura 21.

Variación de la cubierta del Docel



Nota: Desarrollo de la cubierta verde sin estrés. FAO, 2011. [Grafica]. <https://n9.cl/hydnb>

- CCo: cobertura de dosel inicial en el momento de la emergencia del 90% del cultivo [fracción o porcentaje de cobertura del suelo]. La cobertura del dosel inicial es el producto de la densidad de la planta y el tamaño de la cobertura del dosel por plántula;
- CGC: coeficiente de crecimiento del dosel [fracción o porcentaje de aumento de la cobertura del suelo por día o grado de crecimiento por día];
- CCx: cobertura máxima del dosel para esa densidad de plantas en condiciones óptimas [fracción o porcentaje de cobertura del suelo];
- CDC: coeficiente de disminución del dosel [fracción o porcentaje de disminución de la cobertura del suelo por día o grado día de crecimiento]; y el momento en que se activa la senescencia del dosel verde (es decir, el inicio del recuento de la senescencia del dosel desde la siembra o el trasplante)

La formula que define el crecimiento del dosel verde de un cultivo en términos del tiempo térmico para la etapa de germinación - emergencia de las plantulas es:

$$CC_i = CC_o * e^{GDD_i * CGC} \quad \text{para } CC \leq \frac{CC_x}{2} \quad \text{Ecuación 2.}$$

2.11.4 Respuesta del rendimiento al agua

Función original de producción del agua. El agua evaporada por una superficie vegetal funciona al mismo tiempo como un estabilizador de la temperatura de las hojas ante la demanda evapotranspirativa de la atmósfera. A partir de esto, Jackson et al. (1981) presentaron la teoría del balance energético que separa la radiación neta en calor sensible del aire y calor latente que incide en la transpiración. Cuando el cultivo se somete a estrés hídrico, las estomas se cierran, la transpiración decrece y la temperatura de la hoja aumenta. Cuando una planta transpira sin estrés

hídrico, la temperatura de la hoja es entre 1 – 4 °C menor que la temperatura ambiental. Cuando la transpiración decrece, la temperatura de la hoja asciende y puede alcanzar de 4 a 6 °C más que la temperatura del aire.

La transpiración por unidad de superficie del suelo depende de la fracción de la superficie del suelo cubierta por el dosel (CC) cuando no hay estrés suficiente para limitar la apertura estomática. La dependencia no es estrictamente lineal, porque la micro advección entre hileras suministra energía al dosel además de la suministrada por la radiación, provocando que la Tr sea algo más que proporcional a la CC cuando está considerablemente incompleta.

$$Tr_i = Kc * cc_i * ET_{oi} \quad \text{Ecuación 3.}$$

donde

$Tr_i [mm * d^{-1}]$: Volumen de agua transpirada por unidad de area de cultivo, el día i-esimo

cc_i : porcentaje de crecimiento de la cubierta del docel de las plantas

Kc : Constante del cultivo

$ET_{oi} [mm * d^{-1}]$: evapotranspiración de referencia [mm día⁻¹], en las condiciones del día i-esimo. (ver Apéndice A).

La producción de biomasa aérea seca acumulada (B_n) hasta el n-esimo día de cultivo, desde el día de la siembra, se obtiene a partir de la productividad de agua de biomasa normalizada (WP) y la relación entre la transpiración diaria del cultivo (Tr_i) y la evapotranspiración de referencia para ese día (ET_{oi})

$$B_n [Mg * ha^{-1}] = WP [Mg * ha^{-1} * mm^{-1}] * \sum_{i=1}^n 1[d] * Tr_i [mm * d^{-1}]$$

$$B_n = WP * K_s * \sum_{i=1}^n * CC_i * ET_{oi}$$

$$B_n = WP * K_s * CC_o * \sum_{i=1}^n e^{CGC * GDD_i} * ET_{oi} \quad \text{Ecuación 4}$$

La productividad del agua normalizada para biomasa (WP) es casi constante para un cultivo dado cuando los nutrientes minerales no son limitantes, independientemente del estrés hídrico, salvo en casos extremadamente graves.

El sumatorio se realiza para los intervalos de tiempo que abarcan el periodo en que se produce B_n . En la mayoría de las especies de cultivos, la WP aumenta a medida que se incrementa la concentración de CO_2 en el aire, lo que requiere realizar simulaciones del impacto en el rendimiento bajo diversos escenarios de cambio climático y de concentración de CO_2 . La ecuación se aplica directamente cuando los datos de Tri y ET_{oi} corresponden a intervalos diarios. (Steduto *et al.* 2007).

2.11.5 Análisis de datos experimentales generados en la etapa de germinación.

La ecuación 4 informa que la biomasa acumulada en un cultivo se incrementa inicialmente a una tasa exponencial y está definida por la evapotranspiración potencial del cultivo en cuestión. Para la producción de germinados de pocos días, se puede considerar que la evapotranspiración pasa a ser un valor constante, por lo que la ecuación #3 se puede adecuar a cultivos hidropónicos en la forma

$$B_n = B_o * e^{R * GDD_n} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde,

B_o masa de la semilla por unidad de area del cultivo, el dia de inicio

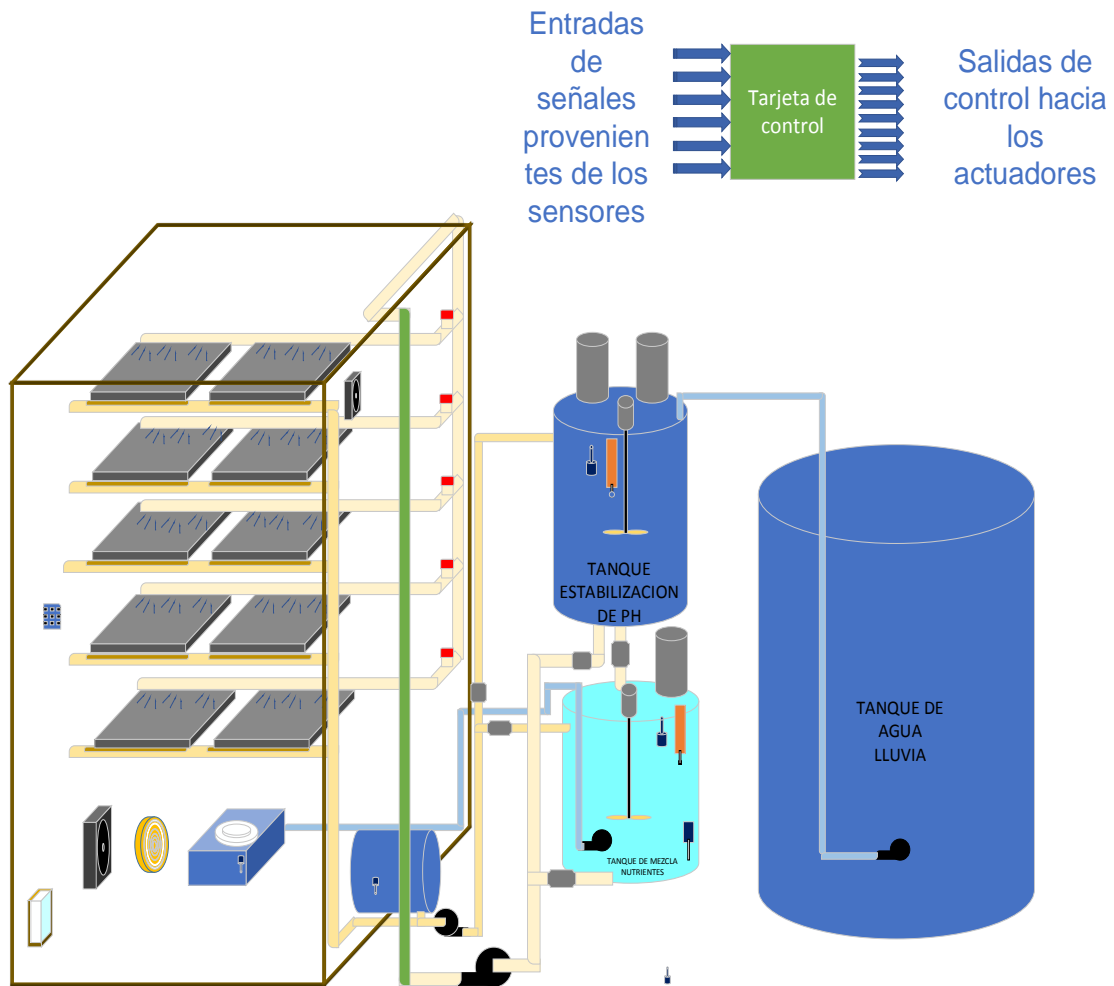
R tasa de incremento de material vegetal por unidad de material vegetal inicial.

La tasa de incremento de material vegetal por unidad de material vegetal inicial, R, queda determinado por la ecuación:

$$R = \frac{(\ln B_n - \ln B_0)}{GDD_n} \quad \text{Ecuación 6}$$

3. Diseño conceptual

Este proyecto fue concebido para brindar una herramienta útil para el estudio de la germinación, con posibilidad de implementar un sistema de medición de los distintos parámetros que intervienen en dichos cultivos, como la humedad y la temperatura, el pH del agua de riego y la concentración de nutrientes en la solución de riego. En la Figura 22 se presenta el esquema general del sistema que consta de tres subsistemas, un subsistema de acondicionamiento del ambiente, un subsistema de irrigación, y un subsistema de control. Además de eso está la planificación de la opción de implementar energías alternativas mediante un subsistema de potencia eléctrica basado en un sistema fotovoltaico. A continuación, se presenta cada subsistema.

Figura 22.*Esquema general del sistema*

3.1 Subsistemas

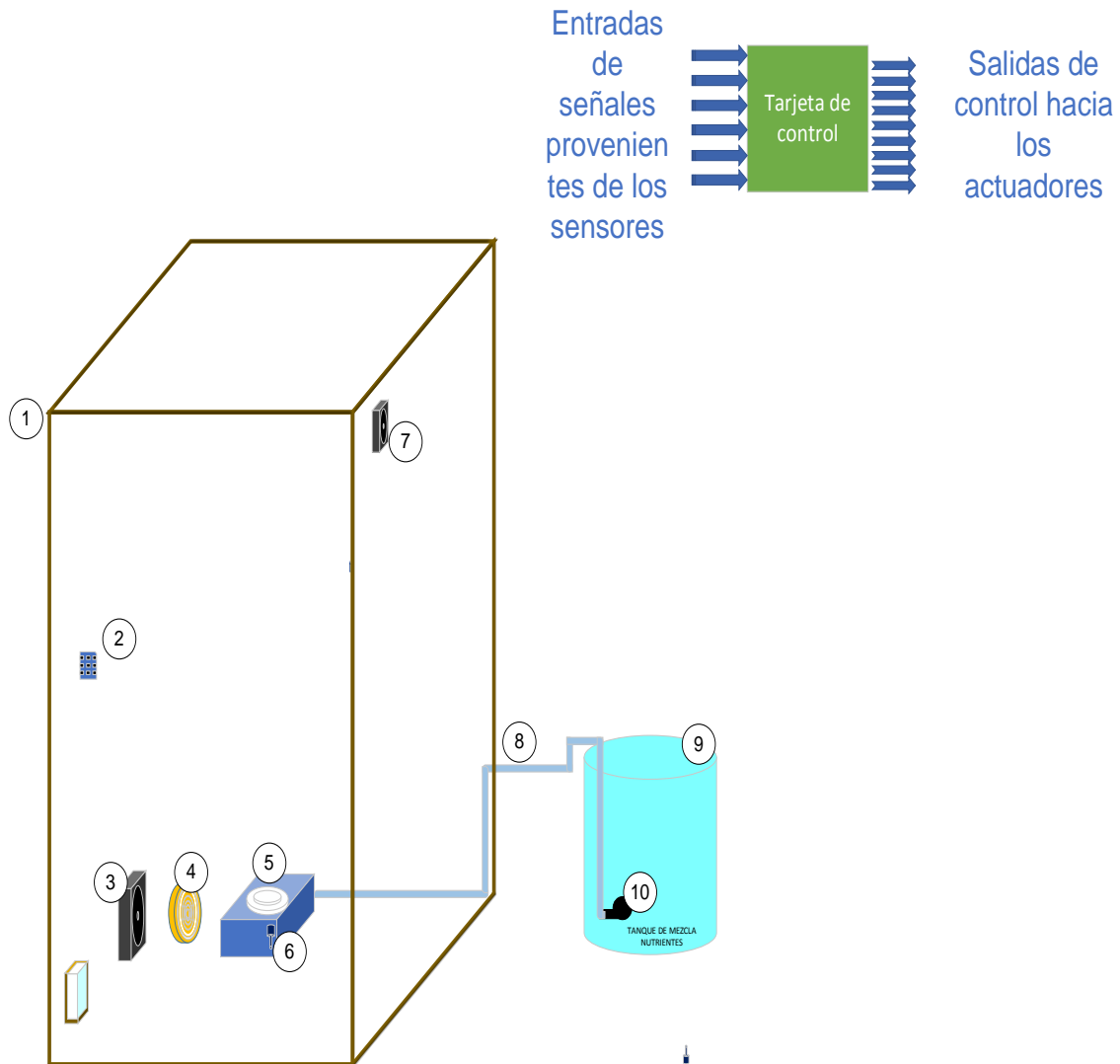
3.1.1 Sistema de acondicionamiento de ambiente

La función del subsistema es la de control de variables del ambiente interior del invernadero, como contenido de humedad, contenido de dióxido de carbono y temperatura del aire.

En la Figura 23 y la tabla correspondiente se encuentra el detalle de las funciones de cada componente.

Figura 23.

Sistema de acondicionamiento de ambiente



Nota: En la figura se encuentra el detalle de cada componente

Tabla 4.*Componentes subsistema de acondicionamiento de ambiente*

Ítem	Nombre	Función	Requerimientos
1	Cubierta	Aislar el cultivo del medio exterior	Buen aislamiento, resistente al agua, durable, translucido.
2	Sensor de temperatura y humedad	Captar temperatura y humedad en el interior del invernadero.	Rango de medida de 0 - 100 °C
3	Ventilador a	Ingresar aire nuevo al invernadero, para variar, temperatura, contenido de humedad y de dióxido de carbono (co2)	Capacidad para cambiar el volumen de aire del invernadero, a velocidades aceptables.
4	Resistencia	Generación de energía térmica, para elevar la entalpia del aire dentro del invernadero	Voltaje de trabajo 12 voltios DC
5	Humidificador	Introducción de agua al aire dentro del invernadero	Capacidad de humidificar el aire que se encuentra dentro del invernadero.
6	Sensor de nivel (Flotador)	Detectar nivel de agua	Voltaje de trabajo 5 voltios DC
7	Extractor de aire	Extraer aire del sistema	Voltaje 12V
8	Manguera	Transporte de un fluido, para humidificar el ambiente interno.	Fácil manipulación para hacer las conexiones.
9	Tanque	Contenedor de agua con nutrientes	Volumen mínimo 15Ltr
10	Bomba	Aportar energía mecánica a un fluido para lograr su transporte	Voltaje 12V Cabeza bomba :2 m

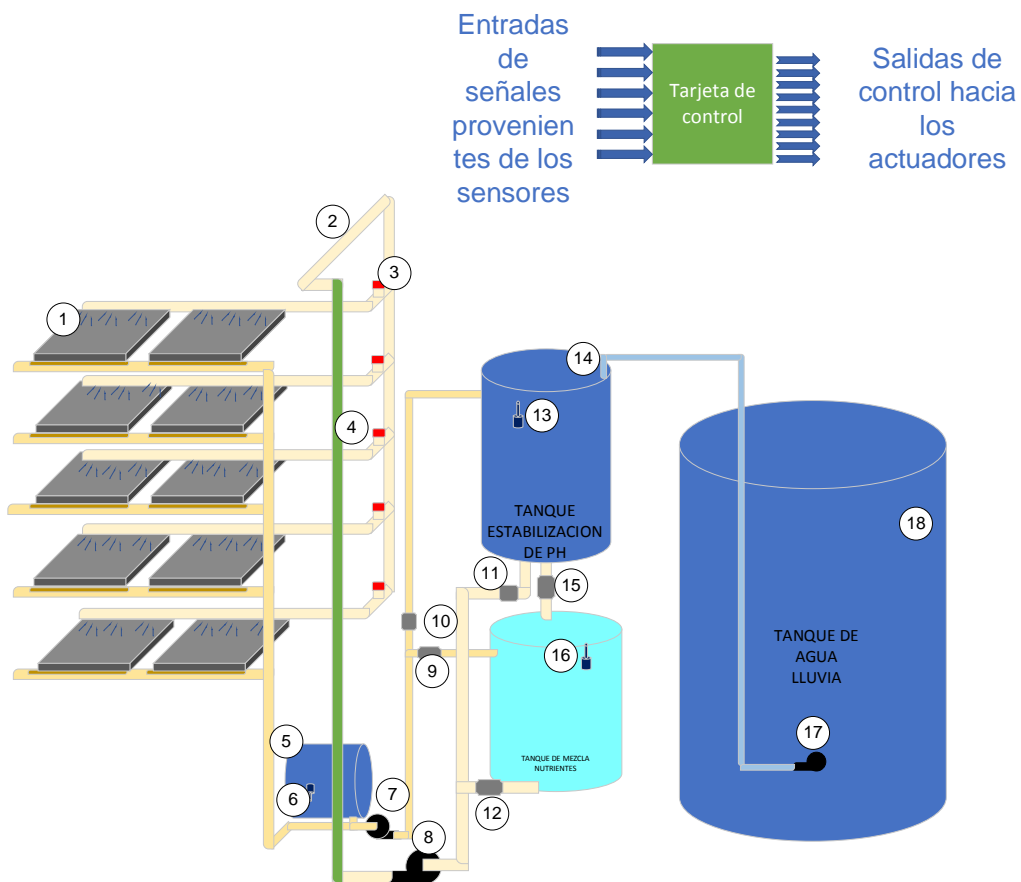
Nota: En la tabla se relacionan los componentes del subsistema.

3.1.2 Subsistema de irrigación.

La función principal del sistema es permitir la nutrición mediante el agua que lleva nutrientes de una forma dosificada y en el momento indicado. A continuación, el detalle de cada uno de sus componentes.

Figura 24.

Subsistema de irrigación



Nota: En la figura se encuentra el detalle de cada componente

Tabla 5.*Componentes del subsistema de irrigación*

Ítem	Nombre	Función	Requerimientos
1	Bandejas para cultivo hidropónico	Contener los germinados	Resistente a factores ambientales.
2	Tubería-manguera	Transporte, distribución y retorno de fluido de riego.	Resistente a la humedad, fácil instalación.
3	Regulador de caudal	Regular el caudal para permitir un flujo aproximadamente igual en cada una de las bandejas	Resistente a la humedad, Fácil manipulación.
4	Manguera	Transporte del agua para riegos con pH y nutrientes.	Facilidad de conexión.
5	Tanque de realimentación.	Detección de nivel de líquido para retorno a tanques.	Volumen mínimo 10Ltr
6	Sensor de nivel de líquido en tanque realimentación.	Detección de nivel de líquido en el tanque de realimentación.	Resistente al agua, confiable, 5V.
7	Bomba B	Realimentación de líquido hacia el tanque de partida.	Cabeza mínima 2 m Voltaje de trabajo :12 V DC
8	Bomba A	Introducir energía al fluido de riego, para que llegue a las bandejas.	Cabeza mínima 2 m Voltaje de trabajo :12 V DC
9	Electroválvula D	Abrir y cerrar paso a flujo de restitución de fluido hacia el tanque de solución nutritiva.	Presión de trabajo definido por la bomba usada. Voltaje de trabajo :12 V DC
10	Electroválvula C	Abrir y cerrar paso para restitución de agua hacia el tanque de estabilización de pH.	Presión de trabajo definido por la bomba usada. Voltaje de trabajo :12 V DC
11	Electroválvula A	Abrir y cerrar paso para riego de agua proveniente del tanque de estabilización de pH.	Presión de trabajo definido por la bomba usada. Voltaje de trabajo :12 V DC
12	Electroválvula B	Abrir y cerrar paso para riego de solución proveniente del tanque de solución nutritiva.	Presión de trabajo definido por la bomba usada. Voltaje de trabajo :12 V DC
13	Sensor de nivel de agua en tanque de pH	Censar que el nivel en tanque sea el adecuado para riegos.	Resistente al agua Voltaje de trabajo :5 V DC

Ítem	Nombre	Función	Requerimientos
14	Manguera alimentación agua lluvia.	Llevar agua de reposición al sistema.	Compatibilidad con accesorios de conexión para tubería de agua de ½ pulgada de diámetro.
15	Electroválvula E	Permitir o cerrar flujo desde tanque de estabilización de pH hacia tanque de solución nutritiva.	Compatibilidad con accesorios de conexión para tubería de agua de ½ pulgada de diámetro. Voltaje de trabajo :12 V DC
16	Sensor de nivel de agua en tanque de pH	Censar que el nivel en tanque sea el adecuado para riegos.	Resistente al agua Voltaje de trabajo :5 V DC
17	Bomba C	Realimentación de líquido hacia el tanque de pH.	Cabeza mínima 2 m Voltaje de trabajo :12 V DC
18	Tanque C	Contener agua lluvia	Capacidad mínima 40 Litros

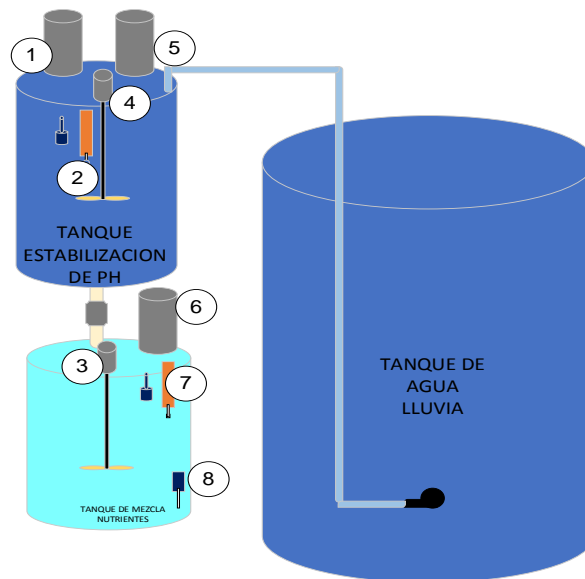
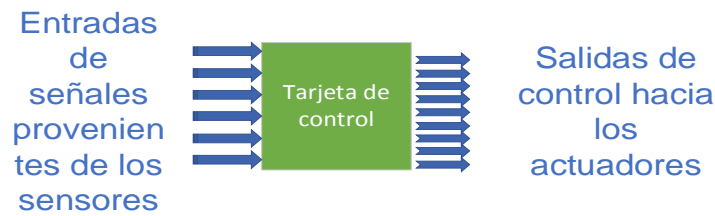
Nota: En la tabla se relacionan todos los componentes del subsistema.

3.1.3 Subsistema de adecuación solución de riego.

Es el encargado de tener el agua con los nutrientes y el PH necesario para que la germinación sea óptima.

Figura 25.

Subsistema de adecuación solución de riego



Nota: En la figura se encuentra el detalle de cada componente

Tabla 6.

Subsistema de adecuación solución de riego

Ítem	Nombre	Función	Requerimientos
1	Dispensador de base	Agregar base para aumentar alcalinidad del agua de riego.	Voltaje de alimentación: 3 V - 12 V DC
2	Sensor de pH	Medición de pH del agua	Compatibilidad con tarjeta de control Arduino
3	Mezclador b	Generar turbulencia en el tanque de solución nutritivo para lograr	Voltaje de alimentación: 3 V - 12 V DC

Ítem	Nombre	Función	Requerimientos
		homogeneidad en la solución de riego.	
4	Mezclador a	Generar turbulencia en el tanque de estabilización de pH para lograr homogeneidad en la solución de riego.	Voltaje de alimentación: 3 V - 12 V DC
5	Dispensador de acido	Agregar acido para aumentar acides del agua de riego.	Voltaje de alimentación: 3 V - 12 V DC
6	Dispensador de nutrientes	Agregar mezcla de nutrientes secos para lograr solución nutritiva adecuada.	Voltaje de alimentación: 3 V - 12 V DC
7	Sensor de nivel de líquido b	Medición de nivel de líquido en el tanque de solución nutritiva.	Compatibilidad con tarjeta de control Arduino
8	Sensor de electro conductividad de liquido	Medición de conductividad eléctrica del líquido (concentración de nutrientes)	Compatibilidad con tarjeta de control Arduino

Nota: En la tabla se relacionan todos los componentes del subsistema.

3.2 Estructura prototipo

El prototipo tiene una estructura modelada en SolidWorks, el dimensionamiento y análisis que aporta el software permite realizar modificaciones previas a la construcción. A continuación, se adelanta el diseño final.

Figura 26.

Diseño prototipo en SolidWorks



Nota: Los planos completos de todo el modelo se encuentran en el Apéndice A.

3.3 Sistema de control y automatización

3.3.1 Sistema de control electrónico.

Consta de las diversas etapas de hardware electrónico-indispensables para la medición, control, visualización de datos y comunicación bluetooth mediante el uso del aplicativo de software o interfaz de usuario, de esta forma se logra una correcta adecuación de la cabina de cultivo y así cumplir con los diferentes parámetros necesarios.

Los aspectos necesarios para lograr una adecuada integración electrónica al sistema fueron:

a. Autonomía: Dado que el objetivo primordial del desarrollo es el de mantener las variables medio ambientales idóneas para el germinado del cultivo, esto implica un monitoreo y control constante sobre el mismo por periodos extensos, esto implica que el sistema no puede depender de la red eléctrica local dado que puede ser susceptible a fallos energético y potencial riesgo de accidentes.

Por lo tanto, es necesario el uso de una fuente de energía principal y una fuente de energía de respaldo constituidos por una batería y un adaptador de voltaje, de esta manera la batería mantendrá la energía necesaria en el sistema mientras que el adaptador de voltaje permite la recarga de dicha batería de forma controlada por el microcontrolador.

b. Tensiones de trabajo: Una vez definida el tipo de fuente de energía a utilizar (corriente directa DC) es necesario conocer el tipo de componentes utilizar, para de esta forma estandarizar las tensiones necesarias a valores comunes, para ello se planteó el tipo de electroválvulas, bombas para agua , agitadores, humidificador, dosificadores, extractores de aire y calefacción necesarios, llegando al punto en el que la mayoría de los componentes anteriormente mencionados podían ser adquiridos con especificaciones para ser energizados con una tensión de 12V exceptuando el humidificador, dosificador y el calefactor.

En el caso del humidificador, sólo se podía adquirir en el mercado dispositivos de baja potencia (5VDC), pero dado que los dosificadores químicos funcionan a la misma tensión, fue necesaria la implantación de una etapa dedicada a estos componentes mediante el uso de un módulo regulador de tensión denominado step-Down, el cual se trata de una fuente conmutada DC/DC que, a diferencia de un regulador lineal, este posee una mayor eficiencia al proporcionar mayores niveles de corriente. Por otra parte, en el caso de la resistencia calefactora (elemento de

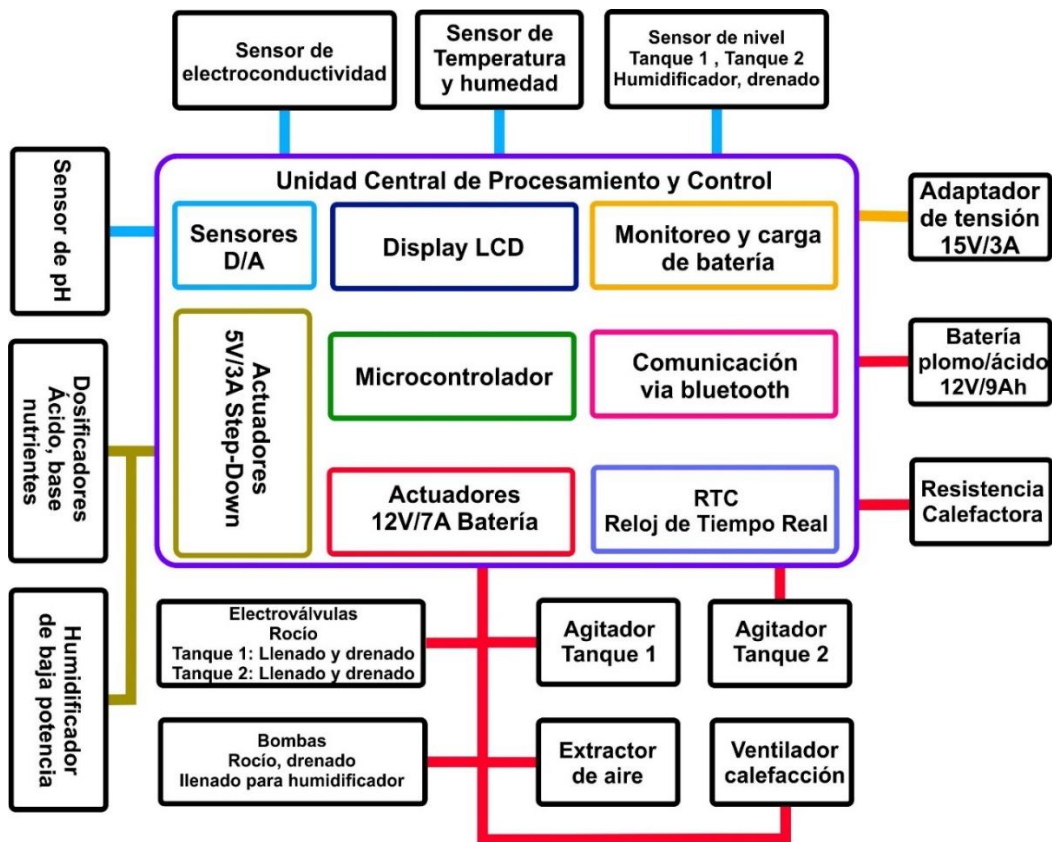
mayor consumo de potencia) fue necesario fabricar una resistencia de potencia acorde a la especificación de corriente de las baterías comerciales, teniendo en cuenta el consumo mínimo, pico y prolongado de potencia, llegando a la definición de utilizar una batería de 12V a 9Ah de tipo plomo-ácido.

c. Integración electrónica: Dado que el sistema consta de múltiples periféricos de control y censado, era necesario desarrollar una placa electrónica que integrara la mayoría o todas las etapas a fin de optimizar el uso de cableado eléctrico y facilitar la inspección de la unidad central de procesamiento y control.

A continuación, se muestra el diagrama preliminar de etapas y periféricos necesarios en el microcontrolador:

Figura 27.

Diagrama pictórico del sistema electrónico



3.4 Software

Para el desarrollo del algoritmo de control y monitoreo del sistema, se tuvo en cuenta diversas situaciones como la capacidad de continuar el proceso o etapa del cultivo en caso de un corte de energía o apagado por el usuario, emplear retardos desatendidos a fin de evitar interrupciones en el proceso o introducción de errores al sistema, uso del módulo de reloj externo RTC a fin de realizar las acciones con tiempos precisos y con un mínimo margen de desfase a largo plazo, establecer un protocolo de intercambio de datos entre el usuario y el controlador sin pérdidas de los mismo y con adecuado sincronismo.

3.5 Desarrollo de aplicativo Android

Debido a que el controlador electrónico no cuenta con interfaz de usuario por seguridad tanto ambiental como alteración del proceso por terceros, se desarrolla el aplicativo para dispositivos Android mediante la herramienta de desarrollo de aplicaciones con lenguaje gráfico MIT App inventor 2 dado que su uso es gratuito y facilidad para el desarrollo de interfaces de usuario. El usuario podrá conectarse con el controlador dentro del área de alcance RF del módulo bluetooth (aproximadamente 10mt según condiciones especiales) y con la cual podrá activar varios elementos del sistema con fines de inspección o realización de ajustes del proceso, además del registro de los parámetros a controlar y periodos de tiempo.

4. Diseño en detalle

Las características del diseño de detalle se pueden encontrar en el Apéndice E.

4.1 Desarrollo del subsistema de control

Para el diseño del subsistema de control y con el fin de lograr un correcto funcionamiento de la cabina de cultivo, fue necesario realizar una selección adecuada para este tipo de aplicación bajo especificaciones acorde con los aspectos preliminares como lo fueron: las bombas que permiten el control del flujo de agua de forma retroalimentada, los dosificadores que permiten

mantener el control sobre los niveles de pH y electro-conductividad, sensores para determinar el nivel de llenado de los tanques humidificador y drenado de la cabina, entre otros elementos. Este subsistema consta de cuatro segmentos: Selección de componentes, Diseño electrónico, Diseño de software y Diseño y desarrollo de aplicativo Android

4.1.1 Selección de componentes.

La selección de componentes se basó en una matriz de decisión que tuvo en cuenta factores como precio, disponibilidad y adaptabilidad. En el Apéndice F se encuentra el detalle de este ítem.

4.1.2 Diseño electrónico.

Los componentes anteriormente mencionados se integran con la unidad central de procesamiento de datos y control mediante varias etapas, por lo tanto, es necesario diseñar una placa prototipo que permita definir el diseño final que cumpla con todos los aspectos del proyecto.

4.1.3 Prototipo electrónico.

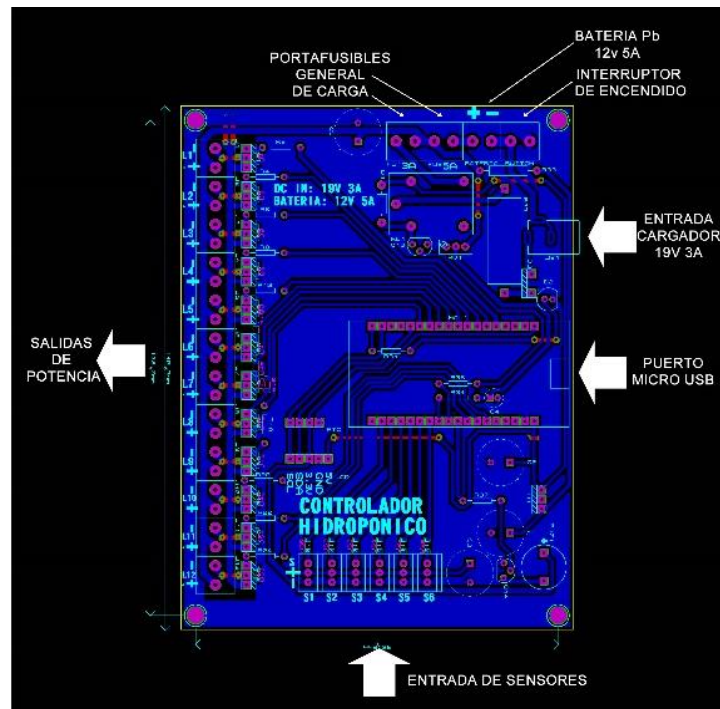
Tal como ya se ha mencionado, inicialmente se desarrolló un circuito impreso cuyo procesador principal se basaba en una placa de desarrollo basada en el ESP32 dado que cuenta con conectividad Bluetooth y WIFI, por lo que sería posible no sólo establecer comunicación con el aplicativo Android del teléfono celular, sino también transmitir datos a un servidor.

Sin embargo, debido a la adición de diversos componentes a la cabina de cultivo, el microprocesador se vio limitado por cantidad de periféricos que se debían procesar y controlar sumado a la dificultad de incorporar la tarjeta a la caja destinada para resguardar la etapa electrónica. Se procedió a analizar las nuevas actualizaciones y requerimientos para el diseño final, logrando así un diseño optimizado. Especificaciones que realizar:

- Reemplazo del microprocesador ESP32 por un microcontrolador con más periféricos.
- Corrección de acoplamiento de tensiones en la etapa de potencia.
- Incorporar módulo regulador de tensión Step-Down para controlar actuadores de 5V.
- Adicionar módulo de comunicación bluetooth.
- Incluir conexión de comunicación alternativa para implementación futura del módulo ESP8266.
- Integrar el display LCD a fin de evitar conexión cableada y hardware adicional de fijación.
- Distribuir los MOSFET de potencia a fin de evitar contacto entre sí y poder disponer de un disipador de calor para el MOSFET que controla la resistencia calefactora debido a la alta corriente que debe controlar.

Figura 28.

Controlador hidropónico basado en ESP32 (prototipo)



4.1.5 Diseño electrónico final.

Establecida las mejoras a realizar y adecuada distribución de conexiones, se desarrolló una placa electrónica embebida que incorporó la placa de desarrollo Arduino MEGA la cual incorpora el microcontrolador Atmega2560 y que cuenta con 54 periféricos, múltiples conexiones de bus serial, lectura de 16 entradas analógicas, 256Kb de memoria y al ser una placa de desarrollo con una amplia área de periféricos, se diseñó un Shield que permitió una mayor comodidad al momento de enrutar las pistas y distribuir mejor sus componentes.

4.1.6 Etapas electrónicas

A continuación, se describen las diferentes etapas que constituyen el controlador hidropónico, referenciadas y enmarcadas.

a) *Fuente de energía y control de carga de batería:* La fuente principal de energía está constituida por la batería de plomo-ácido de 12V/7Ah y la fuente secundaria por el adaptador de voltaje externo conectado a la red doméstica con salida de tensión de corriente continua de 15V hacia el Jack J21, este se emplea para cargar la batería y energizar el controlador y puede ser reemplazado por otro tipo de fuente de alimentación como un panel solar adecuado.

El control de carga de la batería se establece mediante la medición de tensión de la batería a través del divisor resistivo compuesto por el timmer RV1 (usado para calibrar y limitar la tensión considerando la carga máxima aplicando el voltaje máximo permitido de 5V) y la protección R34 mientras que el capacitor C4 permitirá filtrar y estabilizar la tensión regulada, La lectura de dicha tensión se mide en el PIN ADC A0 del Arduino Mega, de esta forma se posibilita la carga de la batería cuando esta se encuentra por debajo de 10V y se suspende la carga al alcanzar 13V con un margen de error menor al 5%, esto mediante el relé RL1 el cual da paso de la tensión del adaptador hacia la batería y los reguladores de tensión U1 U2 para el Arduino MEGA y el módulo Step-Down DC1 para los actuadores de 5V. Finalmente, la resistencia R35 de 20hmios/10W regula y protege el suministro de corriente.

b) *Actuadores de 12V.* Para el control de cargas a 12V se implementó la configuración basada en un Mosfet de canal-N controlado por transistor BJT tipo PNP en modo corte – saturación, esto dado que la tensión a controlar es superior al voltaje lógico de la placa Arduino MEGA (5V) no era posible controlar directamente el Mosfet o utilizar un transistor BJT NPN dado

que la diferencia de tenciones provocaba reducción o modo de operación en el Mosfet, de esta manera cuando el BJT recibe una tensión de 5V (activo), este entra en modo de corte por lo que el Mosfet entra en conducción debido al voltaje suministrado por la resistencia conectada a 12V. Por otra parte, cuando la señal de control cae a 0V, el BJT entra en modo saturación por ser tipo PNP aplicando tensión negativa a la compuerta del Mosfet el cual se inhabilita.

En el caso de la resistencia calefactora la única adecuación incorporada fue la colocación de un disipador de calor dado que la resistencia implementada es de 100W por tanto esto ocasiona calentamiento del Mosfet debido al corriente que debe soportar (5A aproximadamente).

c) *Actuadores de 5V.* Debido a que se implementaron tres dosificadores y un humidificador con tensión de operación de 5V, y dado su uso regular se incorporó el módulo regulador de tensión conmutado (step-Down) LM2596 dada su eficiencia y adecuado paso de corriente (3A) como fuente de energía, en vista de que la tensión aplicada a los actuadores es igual a la tensión lógica, se implementó la configuración con transistor BJT BD135 el cual es de tipo NPN en modo corte-saturación negativa para cada uno de los actuadores.

d) *Sensores.* En cuanto a la interfaz con los diferentes sensores empleados, no fue necesaria la implementación de etapas de adecuación debido a que cada sensor la incorpora, sólo se incorporó resistencias de protección a cada una de las líneas de señal.

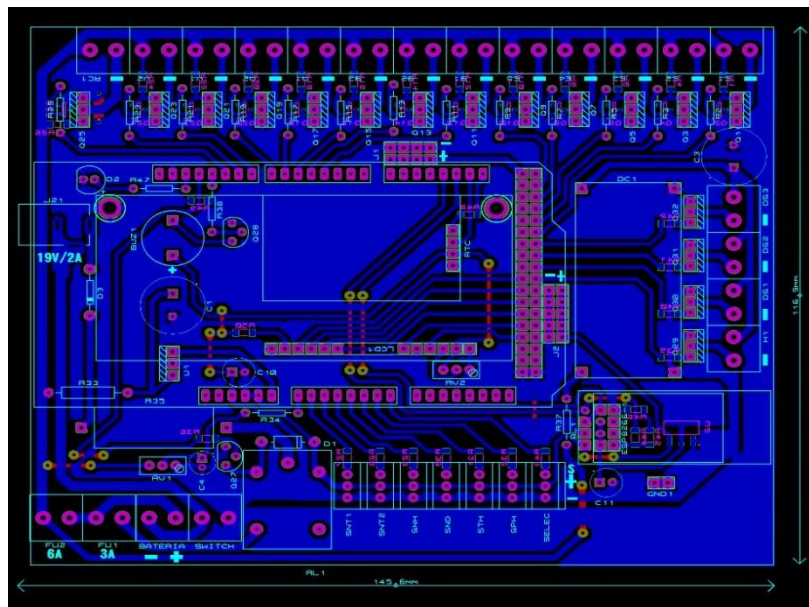
e) *Dispositivos de comunicación, tiempo, visualización y aviso.* Para la visualización de datos y parámetros del controlador hidropónico, se empleó una pantalla alfanumérica LCD (LCD1) de dos filas y 16 columnas, comunicadas mediante bus paralelo de 4 bits mediante socket por lo cual es posible su reemplazo por una pantalla de mayor área. Para el control de tiempo de los procesos del cultivo, se utilizó un reloj de tiempo real RTC de referencia DS3231 a fin de optimizar y precisar la ejecución de procesos dado que si se realizaba por otro método se podía incurrir en

un mayor margen de error acumulativo (por ser procesos lentos), sin embargo, se debe realizar una calibración al menos una vez al año.

Como sistema de comunicación se implementó la comunicación bluetooth con el módulo HC-05 (BL1) el cual cuenta con una interfaz UART-serial, sin embargo también se incorporó un conector para posibilitar el uso del módulo ESP8266 para futuras aplicaciones mediante el uso de redes WIFI y así aplicar técnicas IoT (sólo se puede usar uno de los dos dispositivos dado que comparten la comunicación serial). En cuanto a indicadores de aviso, se adicionó un LED (D2) de propósito general y un buzzer piezoeléctrico activo (BUZ1) como alarma en caso de detectar problemas de carga de batería u otras acciones.

Figura 30.

Vista superior del circuito impreso (Layout Top)



f) *Layout PCB.* Tal como se ha mencionado anteriormente, se diseñó y fabricó un Shield de una capa para una fácil inserción a la placa Arduino MEGA con los periféricos necesarios y

conexiones extras de 5V, GND (J1 J2) y con posibilidad de utilizar más entradas/salidas digitales, también se llevó acabo un enrutado adecuado de las líneas de mayor transferencia de potencia a fin de minimizar los efectos del ruido eléctrico y capacidades de corriente

4.2 Diseño de software

A continuación, se describe el programa desarrollado en sus diversas etapas además el Apéndice C contiene el código implementado en cada etapa:

4.2.1 Librerías implementadas

Debido a que se implementaron algunos módulos electrónicos externos a la placa de desarrollo Arduino Mega, así como protocolos de comunicación o características especiales, debido a que estos módulos emplean sistemas de comunicación o interpretación de lectura/escritura específicos, fue necesario hacer uso de librerías especialmente diseñadas para cada uno a fin de facilitar la implementación de estos. Estos dispositivos fueron:

- a. Modulo RTC (DS3231)
- b. Sensor de temperatura y humedad (DHT11)
- c. Memoria EEPROM (Arduino MEGA)
- d. Display LCD alfanumérico
- e. Sensor de temperatura (DS1820)

4.2.2 Definiciones de periféricos y especiales

A fin de facilitar el desarrollo del algoritmo se definen los periféricos de entrada/salida con el nombre de la función que tendrán así mismo con valores constante o de estado, de esta forma se le asigna un nombre a un valor numérico.

4.2.3 Variables

Dado los múltiples tipos de datos a procesar, fue necesaria sus definiciones en función al tipo y tamaño de cada dato y su compatibilidad con otros a la hora de realizar operaciones o condicionales con los mismos.

4.2.4 Configuración de inicio (Setup)

Aquí se establecen los parámetros de configuración, inicialización y precondiciones del sistema.

4.2.5 Rutinas principales de programa (Loop)

En esta sección se llevan a cabo los condicionales y procesamiento de datos y acciones principales del controlador implementando funciones creadas para facilitar el uso de tareas comunes.

4.2.6 Funciones creadas

Se establecen las rutinas específicas para diversos procesos que simplifican el desarrollo del algoritmo.

a. Control de pH: Si se brinda la orden ActivarpH y el tanque contiene el nivel de agua correcto, se realiza el muestreo del sensor cada segundo y se controla el pH mediante el uso de los dosificadores que contienen sustancias ácida y bases hasta alcanzar el nivel de pH especificado con el mínimo margen de error.

b. Control de conductividad: Si se brinda la orden ActivarConduc y el tanque contiene el nivel de agua correcto, se realiza el muestreo del sensor cada segundo y se controla el nivel de electro conductividad mediante el uso de un dosificador de sales hasta alcanzar el nivel especificado con un error aceptable.

c. Control de humedad: Si se brinda la orden ActivarHume se habilita el extractor de aire de la cabina para compensar la humedad de esta.

d. Control humidificador: Si se brinda la orden ActivarHumi se verifica el nivel de líquido necesario para poder humidificar mediante el uso de la bomba sumergible en uno de los tanques principales hacia el depósito de agua.

e. Recepción de datos vía Bluetooth: Dado que la comunicación del módulo Bluetooth se establece mediante puerto serial tipo UART, los datos se obtienen en cadena string por lo que es necesario implantar el protocolo correcto para segmentar cada uno de los datos en función del parámetro deseado. Para lograr separar los datos, se aplicó la técnica de búsqueda y separación de datos numéricos , para ello a cada parámetro se le asigna una letra seguida del valor numérico, por tanto, al recibir la cadena serial se verifica carácter por carácter la letra asignada y una vez

detectada se procede a tomar el dato numérico que le sigue mediante la función `parseInt()` que se encarga de convertirlo al formato entero y almacenarlo en la variable correspondiente.

También se realizan comprobaciones de estado del proceso y así conceder permisos o acciones requeridas desde la App.

f. Control PID de temperatura: Debido a que la temperatura de la cabina se ajusta mediante una resistencia de potencia y un ventilador, no fue posible realizar una caracterización del sistema dado que las variables que afectan al mismo son volátiles o inestables, por tanto se realizaron pruebas a fin de ajustar manualmente las constantes de sintonización del PID como son K_p , K_i , K_d , sin embargo gracias a que la variación o margen de error de temperatura es mínimo y lento, fue más cómodo alcanzar un control estable.

g. Visualización en pantalla LCD: La visualización de parámetros, estados y mediciones se muestran en la pantalla alfanumérica de forma secuencial a fin de presentar la información de forma ordenada y fácil de comprender, incorporando también mensajes emergentes en caso de avisos concretos como el nivel de batería finalización de alguna de las etapas del cultivo, de esta forma el usuario podrá evaluar el estado ambiental de la cabina y si un proceso se está efectuando correctamente.

Esta función se lleva a cabo de forma desatendida dentro de la función de lectura de los sensores, la cual realiza el muestreo de este cada segundo para actualizar variables.

h. Lectura de sensores: El sistema de control del cultivo emplea diversos tipos de sensores cuyo tratamiento requiere una serie de procedimientos de muestreo, promedio y espera para una nueva lectura, por esa razón se emplean varios retardos desatendidos que permiten una rápida ejecución del proceso sin que exista fallos de lectura o coordinación, así como operaciones de cálculo y conversión para una óptima medición y presentación de datos en pantalla.

4.3 Diseño y desarrollo de aplicativo Android

MIT App inventor es un entorno de desarrollo para el diseño de aplicaciones para sistemas Android y próximamente para IOS sin necesidad de instalar software dado que todo se realiza de forma online en la página web mediante una interfaz que combina el modo visual y programación mediante bloques. Aunque actualmente cuenta con herramientas básicas esta cubre la mayoría de las necesidades del usuario

4.3.1 Diseño de interfaz

El diseño visual del aplicativo se organizó de acuerdo a las funcionalidades indispensables para el usuario y claramente agrupadas e identificadas en tres grupos.

El primer grupo en la parte inferior y enmarcado dentro del recuadro verde representa las acciones básicas necesarias en el aplicativo como lo son: selección de dispositivo bluetooth, información del aplicativo y botón de salida de este.

El segundo grupo corresponde a las acciones de control directo mediante botones como la opción de suprimir los parámetros del cultivo (detención de todo el proceso), envío de nuevos parámetros, aspersión de agua con pH controlado o nutrientes y la activación del extractor de aire o humidificación.

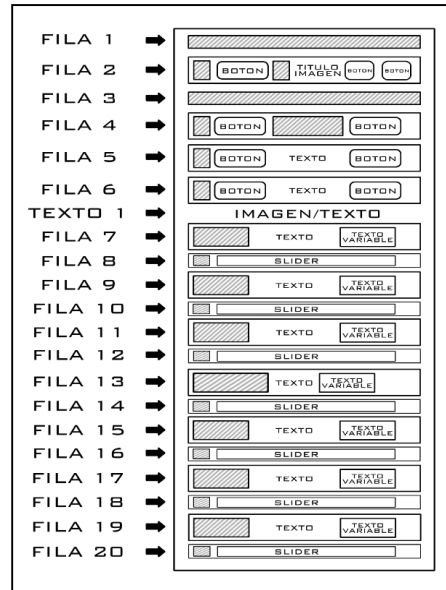
El tercer grupo consta de sliders que permiten parametrizar todo el proceso de forma cómoda y visualmente comprensible, sin embargo, a la hora de reiniciar el aplicativo, estos parámetros no se mantienen debido a que se asume que el usuario definirá parámetros e inmediatamente enviará los mismos al controlador para dar inicio al proceso.

Figura 31.*Interfaz del aplicativo*

Como ocurre con muchos programas de diseño y más aún en App Inventor, hay diferentes formas de obtener el mismo diseño. Para que el diseño sea lo más simple posible de crear, se dispone de una fila en la parte superior que contiene el indicador de conexión y el botón de salida e información precedido por una fila vacía que sirve como límite para que los botones no queden cerca del borde del dispositivo y así evitar contactos en falso.

Figura 32.

Layout de posicionamiento de objetos de la aplicación



Nota. Las zonas rayadas representan bloques vacíos empleados para distanciar los elementos del borde del dispositivo y el correcto distanciamiento los mismos.

4.3.2 Códigos de control:

Como se mencionó en la sección de programación en la IDE de Arduino, cada valor numérico cada parámetro o acción debe antecederle una letra que lo identifique debido a que los datos se transmiten en una cadena, por tanto, cada botón o variable se identifica en la Tabla 7.

Tabla 7.*Códigos de control*

Función	Asignación	Rango
Suprimir	S	0-1
Enviar	Parámetros	-
pH ON/OFF	R0-01	0-1
Nutrientes ON/OFF	R0-R2	0-2
Extractor ON/OFF	E	0-1
Humidificador ON/OFF	H	0-1
Temperatura	T	0-50
Humedad	U	0-100
Nutrientes	C	1-99
pH	P	0-14
Tiempo suministro pH	X	1-30
Tiempo de riego	Q	1-30

4.3.3 Vinculación del dispositivo.

Como en todo dispositivo Bluetooth, este debe ser vinculado por única vez por parte del usuario, para ello se debe acceder a la configuración del bluetooth del dispositivo, activarlo y realizar la búsqueda del módulo bluetooth del controlador llamado “HC-05”, seleccionarlo e introducir el código PIN de fábrica “1234”, estos dos aspectos pueden ser personalizados accediendo directamente al módulo mediante un convertidor USB-Serial mediante comandos AT sin embargo por ser un prototipo de pruebas, este aspecto quedará relegado a futuras actualizaciones.

Una vez vinculado el dispositivo, el usuario deberá verificar que la comunicación bluetooth este activa y posteriormente abrir el aplicativo llamado “control hidropónico”, posteriormente se debe oprimir el logo de bluetooth en donde se desplegará una nueva página con el listado de los

dispositivos vinculados con su correspondiente MAC, basta con seleccionar el dispositivo ya vinculado.

Si por alguna razón no se establece la comunicación, bien sea porque el controlador electrónico no esté energizado o fallos en el módulo, se mostrará un mensaje de error, físicamente el módulo bluetooth del controlador cuenta con un led indicador, el cual permanece parpadeando si no se ha vinculado y deja de parpadear cuando se establece el enlace.

Figura 33.

Elementos gráficos del aplicativo



4.3.4 Tamaño de pantalla

La aplicación fue diseñada para ser adaptada a una pantalla de smartphone de 6.3”, aunque el aplicativo carece de adaptabilidad automática se ha notado que, al emplear dispositivos de menor tamaño, los elementos se aprecian correctamente, pero los que están en la parte inferior no, pero aparecerá una barra lateral de desplazamiento, la cual permite acceder a los mismos.

4.3.5 Elementos gráficos

Los elementos como botones, textos e indicadores pueden ser reemplazados por imágenes a fin de mejorar el aspecto del aplicativo, para ello se emplearon los siguientes diseños editados con el software Corel Draw y adobe Fireworks:

4.3.6 Desarrollo de la App.

Se incorporaron los módulos de conectividad bluetooth, aviso de actividad y notificaciones, estos últimos se emplean para dar aviso del usuario de una acción y confirmación si desea efectuarla a fin de evitar ordenes en falso.

4.3.7 Bloques de programación.

Los bloques de programación se subdividen de la siguiente manera y como Apéndice D se agrega el bloque de programación de forma gráfica:

a) Conectividad: se emplea la funcionalidad de lista desplegable (ListPicker) vinculando la información de la conectividad bluetooth mediante la función connect.

b) Salir del aplicativo: se realiza una confirmación mediante una notificación realizando un llamado a la función que se encarga de validar la acción afirmativa o negativa, por lo tanto, al ser afirmativa, se procederá con el cerrado de la App.

c) Suprimir parámetros: Se realiza una notificación de seguridad para verificar que el usuario efectivamente desea borrar los parámetros enviados al controlador, esto deshabilitara el

control del cultivo por completo. Para esto y una vez realizada la confirmación, se realizará el llamado a la función de envío del texto “S0”.

d) Envío de parámetros: Luego de aceptar la notificación de confirmación de envío de parámetros, se proceder a enviar la cadena de datos mediante el bloque “join” el cual concatena la letra de asignación de cada variable junto con su valor numérico.

e) Acciones de control manual: Para los botones de acciones directa como la aspersión, activación del extractor de aire y el humidificador, se envía el dato con la asignación correspondiente, esta configuración contempla el comportamiento tipo switch de tal forma que al activar uno de los botones, este se comportara como un switch pulsador en el que cada vez que se oprima enviara un valor diferente y modificación del aspecto del botón como cambio de imagen y color de texto superpuesto.

f) Slider de selección numérica: Aplicado a los parámetros del cultivo, las sliders aplican el valor numérico definido en la interfaz de usuario de forma directa a la variable correspondiente en forma de texto y dado que todos son valores enteros, se realiza un redondeo para evitar conflicto con el símbolo de coma decimal.

4.4 Presupuesto

El presupuesto utilizado para la realización de todo se dividió en tres categorías, que son materiales utilizados que se puede verificar en la Tabla 8, gastos académicos en la Tabla 9, gastos de montaje e instalación en la Tabla 10 y la Tabla 11.

Tabla 8.*Materiales requeridos*

#	Componente	Vr. Unitario	Cantidad	Subtotal
1	Bandeja	\$ 13.000	10	\$ 130.000
2	Tubería PVC 1/2 "	\$ 2.500	35	\$ 87.500
3	Llave de bola PVC 1/2 "	\$ 5.000	5	\$ 25.000
4	Manguera 1/2 "	\$ 3.000	2	\$ 6.000
5	Tanque realimentación 20 L	\$ 5.000	1	\$ 5.000
6	Flotador sensor de nivel	\$ 13.000	4	\$ 52.000
7	Bomba 5mca	\$ 100.000	2	\$ 200.000
8	Electroválvula 12 V	\$ 35.000	5	\$ 175.000
9	Bomba para humidificador	\$ 50.000	1	\$ 50.000
10	Tanque control de pH 60 L	\$ 30.000	1	\$ 30.000
11	Tanque control mezcla con nutrientes	\$ 15.000	1	\$ 15.000
12	Tanque de agua lluvia 150 L	\$ 120.000	1	\$ 120.000
13	Sensor de temperatura y humedad	\$ 10.000	1	\$ 10.000
14	Ventilador extractor	\$ 25.000	1	\$ 25.000
15	Ventilador interno	\$ 50.000	1	\$ 50.000
16	Resistencia eléctrica 12v , 100 Watt	\$ 60.000	1	\$ 60.000
17	Humidificador	\$ 30.000	1	\$ 30.000
18	Dosificador (acido, base, sales)	\$ 120.000	3	\$ 360.000
19	Mezclador	\$ 30.000	2	\$ 60.000
20	Sensor de pH	\$ 160.000	1	\$ 160.000
21	Sensor de electro conductividad liquido	\$ 353.000	1	\$ 353.000
22	Sensor temperatura liquido	\$ 10.000	1	\$ 10.000
23	Sistema de control	\$ 865.000	1	\$ 865.000
24	Panel aislante (cedro, plástico traslucido con protección UV)	\$ 80.000	1	\$ 80.000
25	Paquete ,codos, tés, etc.	\$ 65.000	1	\$ 65.000
26	Estructura metálica soporte tanque	\$ 80.000	1	\$ 80.000
27	Sistema de control (board, batería, tarjeta lógica, entre otras.)	\$ 1.450.000	1	\$ 1.450.000
28	Fuente de poder conmutable 12 v , 30 A	\$ 100.000	1	\$ 100.000
				\$ 4.653.500

Tabla 9.*Presupuesto para gastos académicos*

Académico		
Artículos	\$	250.000
Libros	\$	100.000
Manuales y catálogos	\$	150.000
Consultas y asesorías	\$	700.000
Software	\$	100.000
Cursos	\$	300.000
Hardware	\$	120.000
Subtotal	\$	1.720.000

Tabla 10.*Presupuesto para gastos de montaje e instalación del sistema*

Montaje e instalación		
Mano de obra	\$	1.500.000
Transporte	\$	700.000
Viáticos	\$	300.000
Subtotal	\$	2.500.000

Tabla 11.*Presupuesto para gastos de montaje e instalación del sistema*

Gastos totales		
Materiales	\$	4.653.000
Académico	\$	1.720.000
Montaje e instalación	\$	2.500.000
Total	\$	8.873.000

5. Proceso de germinado de maíz

5.1 Localización geográfica

El ensayo se realizó en el municipio de San Juan Girón, el cual, está ubicado en el departamento de Santander a 7 kilómetros de Bucaramanga. Tiene una temperatura promedio de 24° C, una altitud de 777 m.s.n.m y una población aproximada de 102.000 habitantes. (info@amb.gov).

5.2 Selección del cultivo

Se realizó una lista de cultivos hidropónicos realizados en Colombia, con el objetivo de ir descartando los cultivos que presentaban inconvenientes para el desarrollo del proyecto, como establecimiento del cultivo, forma de siembra, calidad de semilla, condiciones climáticas entre otros. A través de la hidroponía es posible cultivar distintas hortalizas y plantas aromáticas, además de verduras, este método permite cultivar frutos rojos como: arándanos, fresas, frambuesas y zarzamoras. La granada, maracuyá, melón, papaya, piña, plátano y sandía también forman parte de las frutas que se pueden obtener por esta técnica.

5.3 Selección de especie a cultivar

Se decidió tomar el maíz, esto debido a que el maíz es una planta resistente a diversos factores ambientales, también la alta variedad de semilla encontrada en el mercado, el rango de un pH óptimo oscila entre 5,5 a 7,8, además de que su ciclo fenológico es aproximadamente de 100 días, y si es para uso de forraje de animales después de los 12 días ya puede ser cosechado, siendo así, un cultivo de doble propósito. También se tuvo en cuenta que es un cultivo que se puede sembrar en cualquier clima.

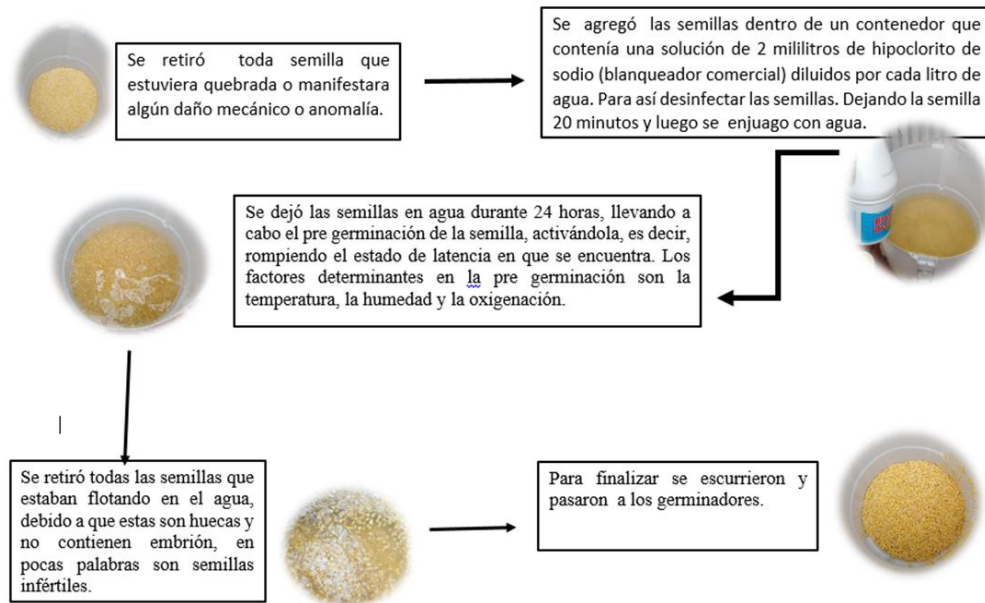
Se seleccionó maíz amarillo regional clima medio, ya que esta variedad tiene una buena adaptación de 1.000-1.800 m.s.n.m, con fertilidad Media- Alta; su densidad de siembra es de 15-20 kg/Ha (1-2 semillas por sitio), sus días de cosecha grano seco es de 180, sus días de cosecha chócolo: 110-130 y sus días de cosecha para silo: 90-100 con una producción hasta de 4 ton/Ha (grano seco). Este cultivar es de uso para Forraje, ensilaje, alimentación humana y animal. (Agro semillas, 2018).

5.4 Selección método de cultivo

Este ítem se basó en el diseño del sistema de riegos, el cual es un sistema hidropónico de tipo NFT, este se caracteriza por sembrar las plantas en una superficie con un pequeño porcentaje de pendiente, que reciben de manera sincrónica agua y minerales, permitiendo disminuir malezas, enfermedades y plagas dentro del cultivo.

Figura 34.

Diagrama de limpieza, desinfección y preparación de la semilla



5.5 Selección de semilla

La semilla es el Insumo de menor costo por área en el cultivo de maíz, pero es el componente que más incide en la productividad. Es conveniente sembrar semilla mejorada de variedades genéticamente puras. En maíz hay dos tipos de variedades. Las de polinización libre y las de polinización controlada o híbridos.

5.6 Limpieza y preparación de las semillas

Luego de la desinfección, se sumergió 15 minutos cada bandeja en un contenedor con una mezcla de 1 ml. de cloro por cada litro de agua para después enjuagarlas con agua natural y así no mantener ningún rastro de cloro.

5.7 Siembra de semilla

Se ubicaron 10 bandejas contenedoras de germinados, cada bandeja con 1x1 m en la base y 3 cm de altura. La disposición fue en 5 hileras separadas verticalmente 30 cm. cada hilera con 2 bandejas. la altura del soporte es 1 m para soportar dos tanques contenedores de agua de 55 galones cada uno.

Figura 35.

Prototipo cultivo hidropónico instalado



Nota: Se observa en el lado derecho el sistema cerrado mediante una cortina de plástico.

Para cada bandeja se usó 2 Kg de maíz de tal manera que quedara la semilla repartida uniformemente, sin utilizar ningún sustrato, puesto que la unión de las raíces de estas va formando su propio sustrato, formándose un tapete que sirve como sostén para las plantas. Se tienen en cuenta además los siguientes parámetros, como se ve en la tabla siguiente:

Tabla 12.*Parámetros en la siembra del germinado del maíz*

Parámetros	
Temperatura	20°C
Humedad relativa	70%
Conductividad eléctrica	1,5 dS/m
pH	6
Suministro de nutrientes	10 días
Tiempo de riego	2 minutos cada 4 horas

5.8 Elaboración de solución nutricional

La solución nutritiva que se preparo tiene alto contenido en fosforo, ya que este macroelemento es esencial para el proceso de crecimiento aéreo de la planta, el desarrollo de las raíces y el rendimiento en grano. La solución se desarrolla para 1000 litros de agua.

Tabla 13.*Solución nutritiva usada en la germinación del maíz*

Gr	Activo	Grado	Ppm
300	Nitrato de calcio Ca(NO ₃) ₂	150026	N 45 Ca 78
200	Sulfato de magnesio MgSO ₄	0001618	P 32 S 36

5.9 Riego

El riego se efectuó por microaspersión y nebulización, los cuales son altamente eficientes, generando un riego uniforme y sin desperdicio de agua. tiene también la capacidad de facilitar microclimas, es decir nos permite generar las condiciones climáticas óptimas para el desarrollo de cultivo.

Este se efectuó desde el inicio de germinación de la semilla, siendo programado al sistema con una duración de 2 minutos cada 4 horas al día. También se inicia proporcionándole solución nutritiva a las plantas durante los primeros 8 días y luego solo se proporciona agua hasta la cosecha.

Tabla 14.

Necesidades de riego

Variables	Parámetros
Necesidades de riego	Características del cultivo: Tipo de cultivo: Germinados hidropónico de maíz, utilizado para forrajes como alimento con alto contenido de proteína para animales. <i>(Zea mays)</i>
	Duración del cultivo: 1-15 días
	Clima Evapotranspiración de cultivo 1,15 mm/ d
Dosis de riego	Tipo de sistema de riego: aspersión y nebulización Eficiencia de aplicación : 75%
	Características del cultivo: humedad relativa por encima de 60% con temperatura promedio 18 °C -20°C déficit permisible de manejo 50%
	Características físicas del suelo: sin ningún sustrato Agua utilizable por el cultivo: agua potable con pH

VARIABLES	Parámetros
Intervalo entre riego aproximado	entre 5.5 y 6.5 y CE menor de 1.5 dS/m ⁻¹
	Dosis neta de riego ajustada
	Intervalo entre riegos intervalos de 4 horas diarias con duración de 2 minutos cada riego



6. Análisis de resultados





6.1 Observaciones del proceso de desarrollo del cultivo

En la siguiente tabla se evidencia el proceso realizado y observaciones del forraje.

Tabla 15.

Proceso realizado y observaciones del forraje

Fecha	Actividad	Esperado	Observaciones	Imagen
Día 1 desinfección y remojo	Se desinfecto la semilla y dejó 24 horas en remojo.	Solo dejar semillas viables.	Se observó impurezas en la parte superficial del agua y buena calidad de semillas.	
Días 2 y 3 Reposo	Se dejó germinando las semillas en las bandejas y con riego.	Que el embrión de la semilla se active y comience su desarrollo.	Se dejó en cada bandeja esparcidas un total de 2 kg	

Fecha	Actividad	Esperado	Observaciones	Imagen
Día 4 Desarrollo de la raíz	Observación de desarrollo y riego constante.	Empiezo emerger de la semilla.	El riego se controla mediante el aplicativo para que funcione por 2 minutos cada 4 horas en el día.	
Días 5 y 6 Primera hoja	Observación y vigilancia del sistema de riego	Desarrollo pleno de radícula.	de Se evidencia las primeras hojas.	
Días 7 y 8 Crecimiento uniforme	Observación y vigilancia del sistema de riego.	Crecimiento óptimo	Se evidencia el crecimiento homogéneo en la bandeja.	
Días 9-12 Crecimiento	Observación y cambio en el sistema de riego de solución nutritiva a solo riego de agua.	Crecimiento óptimo	Se evidencia un crecimiento mayor y color de hojas más intenso	
Día 13 cosecha	Recolección de los forrajes, toma de peso, medición foliar y altura promedio.	Ya se procede a ser dado a los animales.	Se observa un forraje verde y grande apto para alimentar ya a los animales.	

Nota: Resultados del proceso de germinación y crecimiento de los germinados

6.2 Cálculos de unidades térmicas del cultivo

Según Cross y Zuber (1972), Derieux y Bonhomme (1982 a, b), Ritchie y Nesmith (1991) la relación entre la temperatura y desarrollo sustentó la elaboración de los métodos de cálculo del tiempo térmico (a través de funciones de ajuste lineales, exponenciales o mediante ecuaciones más

complejas) ampliamente usados para predecir, con éxito variable, el momento de ocurrencia de distintos sucesos fenológicos en maíz, basados en la acumulación de grados-día.

Se obtuvo como resultado una relación de grado día por cada día, donde se fue evidenciando los días de mayor acumulación de grados días para el desarrollo de la planta.

Una de las aplicaciones de los GD más utilizada es cartografiar etapas de desarrollo esperadas sobre una región de tamaño considerable. Esto mediante una red de estaciones donde se registren los datos requeridos (fenológicos y de temperatura), generando pronósticos del desarrollo de ese cultivo en esa área determinada, para la próxima cosecha siendo un parámetro para la agricultura de precisión. En la figura 37 se puede ver día a día los grados día que fue acumulando el cultivo hasta el día 13 que se cosecho.

Figura 36.

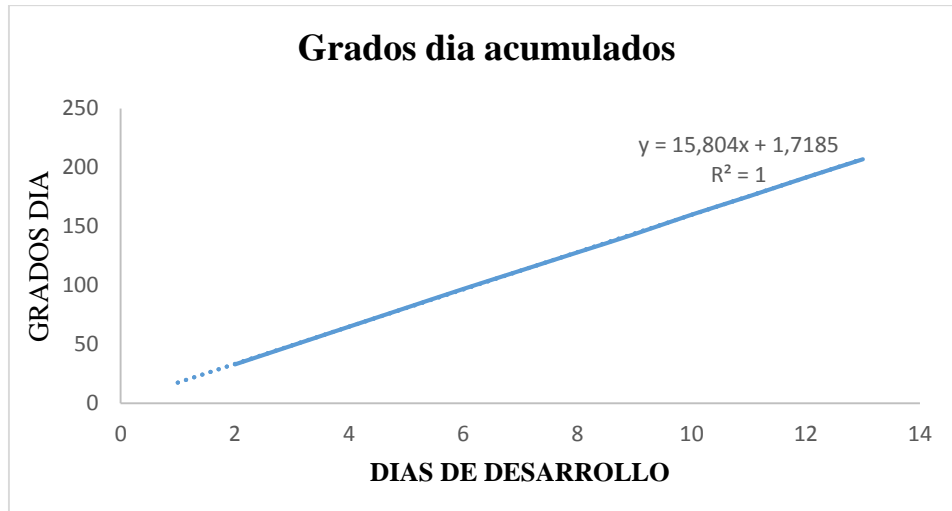
Relación de grados día vs tiempo



Nota. En la gráfica se puede observar los grados días obtenidos el cultivo cada día.

Figura 37.

Relación de grados día acumulados versus tiempo



6.3 Crecimiento vertical del germinado vs el tiempo

La biomasa seca acumulada de una planta se incrementa inicialmente a una tasa exponencial, más tarde lo hace linealmente y finalmente crece a una tasa decreciente hasta alcanzar un nivel máximo, lo que se asemeja a una curva sigmoidea (Poorter, 2002).

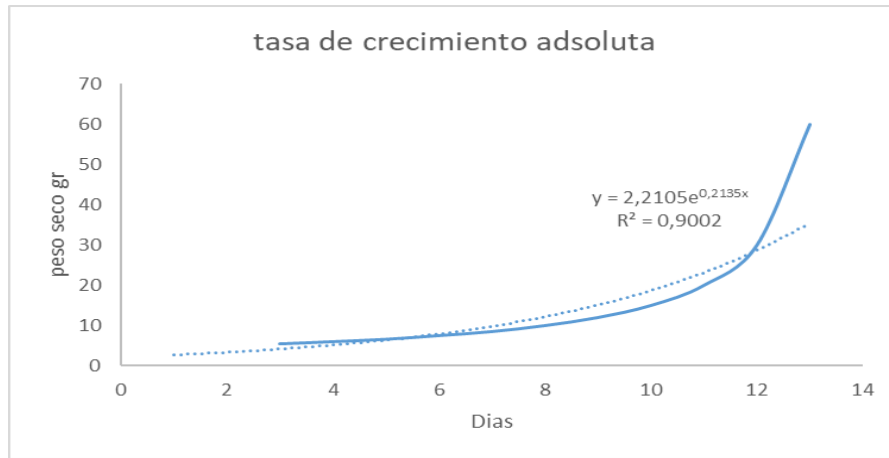
La pendiente de esta curva es la tasa de crecimiento absoluto (AGR, g día⁻¹)

$$AGR = \frac{dW}{dt}$$

En relación al cálculo anterior se realizó la curva de crecimiento absoluto basándose en el peso seco obtenido en el día 13 de cosecha.

Figura 38.

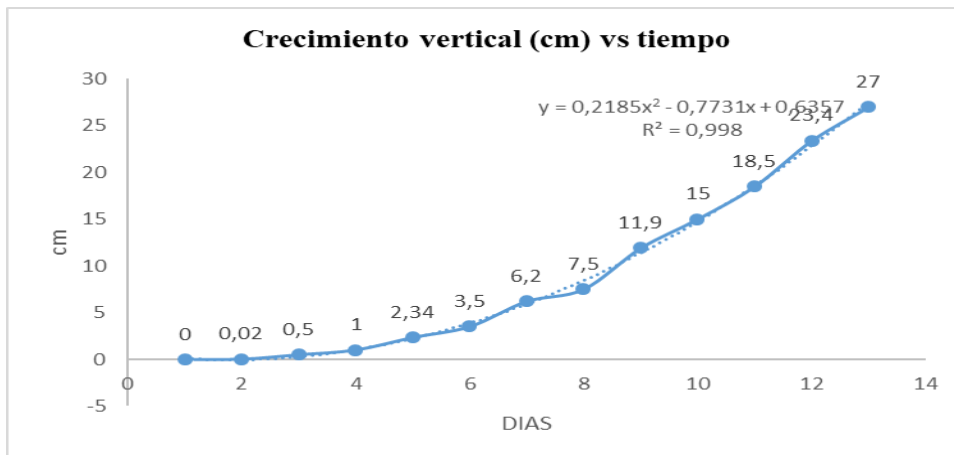
Tasa de crecimiento absoluto vs tiempo



Con la recolección y promedio de datos de crecimiento vertical se determinó la curva de crecimiento del cultivo día a día.

Figura 39.

Crecimiento vs tiempo



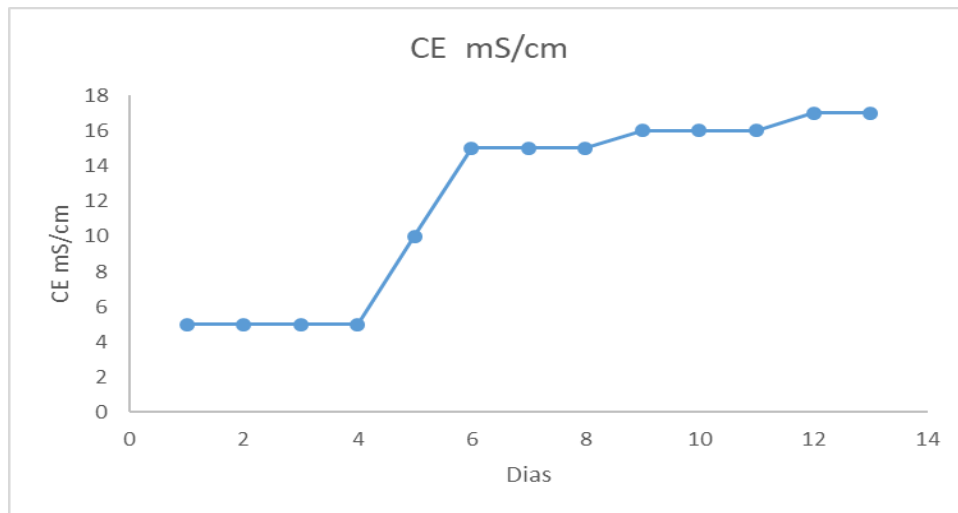
En la figura 39 el crecimiento vertical en función del tiempo sigue la misma tendencia del crecimiento absoluto con un comportamiento exponencial, donde el día 14 las plantas alcanzaron una altura promedio de 27 cm. Según Zegal *et al*; la producción de granos germinados para uso forrajero bajo control de temperatura y humedad relativa, densidad, humedad y buena calidad de la semilla; alcanza un rendimiento de 10 a 12 veces el peso de la semilla, en pasto fresco y una altura de 20 cm, aproximadamente, en un periodo de 7 a 10 días. Por consiguiente, el sistema de riego fue eficiente para tener las condiciones óptimas para su crecimiento.

6.4 Consumo de nutrientes vs tiempo

El consumo de nutrientes se ve evidenciado en el electro conductividad del sistema pues que es un estimador de la concentración de sales disueltas en el agua, permitiendo evaluar la capacidad del agua para conducir la corriente eléctrica. Lo cual es importante para la absorción de los elementos.

Figura 40.

Electro conductividad del germinado



Se observa en la gráfica los cuatro primeros días la CE se mantiene constante, puesto que estos días solo se le suministro a la germinada agua con un control de CE de 5 mS/cm, luego se fue controlando entre 15 y 16 mS/cm, pero los últimos días hubo una saturación de nutrientes que el sistema llego a medir una CE de 17 mS/cm; esto se debió a la acumulación de sales en el sistema.

6.5 Consumo hídrico vs tiempo

El requerimiento de riego se define como la profundidad (o cantidad) de agua necesaria para satisfacer la pérdida de agua por evapotranspiración; en otras palabras, es la cantidad de agua necesaria para que los diversos cultivos crezcan óptimamente (FAO, 2016).

Por lo tanto, se determinó la evo transpiración mediante el método de Penman-Monteith propuesto por la FAO, los días que se desarrolló el germinado, utilizando las variables de

temperatura máxima y mínima, humedad relativa, velocidad del viento, coordenadas, altitud, horas luz.

Tabla 16.

Evo transpiración diaria del germinado

Día	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
E_T mm/día	3,16	3,35	3,54	3,4	3,27	3,42	3,32	3,43	3,42	2,49	3,1	3,35	3,34

La evo transpiración del germinado se mantuvo en un rango de 2,49 a 3,54 mm/día durante los 13 días de su crecimiento.

6.5.1 Necesidades de agua de riego.

Para realizar el cálculo de las necesidades de riego se estimó por medio del uso consultivo, utilizando como variables la evo transpiración, coeficiente del cultivo, porcentaje de área de sombrero y eficiencia del riego. En la Tabla 16. se observa la variación de necesidad del riego la cual es variable y se ve muy influenciado por la evo transpiración siguiendo la misma tendencia. Llegando a necesitar por planta hasta 1,13 mm/ día de agua .los primeros días fue más constante el valor ya que su aporte era fundamental, puesto que el germinado no se le agrego solución nutritiva sino hasta el día 4.

$$RR = (ETc - Pef)$$

Donde,

RR = Requerimientos de riego (mm/mes)

ETc = Evapotranspiración del cultivo (mm/mes)

Pef = Precipitación efectiva (mm/mes)

La evo transpiración del cultivo se halló mediante a siguiente ecuación.

$$ET_c \left(\frac{mm}{d} \right) = ET_0 * K_c$$

$$ET_c \left(\frac{mm}{d} \right) = 3,84 * 0,30$$

$$ET_c \left(\frac{mm}{d} \right) = 1,152$$

ET_C :Evapotranspiración del cultivo

ET₀: Evapotranspiración de referencia de la zona

K_c : coeficiente de referencia del cultivo

Estimación de necesidades netas máximas, a partir de la fórmula:

$$Nn = 0.9 * ET_0$$

$$Nn = 0.9 * 3,84$$

$$Nn = 3,45 \frac{mm}{dia}$$

6.5.2 Evapotranspiración potencial (ETP) del cultivo.

La evo transpiración del cultivo se halló mediante la siguiente ecuación.

$$ET_c = (P + R - D) I$$

Donde,

ET_c : Evapotranspiración del cultivo, mm/día.

P : Precipitación, mm/día.

R : Riego, mm.

D : Drenaje, mm.

I : Intervalo en días entre dos riegos consecutivos.

6.6 Cálculos de crecimiento del forraje

La tasa de crecimiento relativo (RGR, g g⁻¹ día⁻¹) .Es el concepto central del análisis de crecimiento, y ampliamente empleada en producciones.

$$RGR = \frac{(ln(11,000) - ln(1,000))}{(t_{13} - t_0)}$$

$$RGR = 0,1844$$

Como una primera aproximación es posible desdoblar RGR como el producto entre la tasa de asimilación neta (NAR, g cm⁻² día⁻¹)” y la relación de área foliar (LAR, cm² g⁻¹ (Johnson et al., 2003; Osone et al., 2008), es decir:

$$RGR = NAR \times LAR$$

$$RGR = 176,9 \times 0,000541$$

$$RGR = 0,086$$

$$NAR = \frac{(W_2 - W_1)}{(t_2 - t_1)} \frac{(lnA_2 - lnA_1)}{(A_2 - A_1)}$$

$$NAR = 176,9$$

$$LAR = \frac{1}{2} \frac{A_1 + A_2}{W_1 + W_2}$$

$$LAR = 0,000541$$

6.7 Cálculos de biomasa

Volumen por unidad de superficie (m³/ha)

$$V = \frac{10000 \cdot H \cdot (B)}{3 \cdot D}$$

$$V = \frac{10000 \times 0,30 \times (0,50)}{3 \cdot (0,01)}$$

$$V = 5 \text{ m}^3/\text{Ha}$$

6.7.1 Cálculo de la biomasa por unidad de superficie

$$B = 300 \times 5$$

$$B = 1500 \text{ kg/ha}$$

6.7.2 Cálculo de Biomasa total

$$BT = B \times S$$

$$BT = 1500 \times 0,0125$$

$$BT = 18,73 \text{ kg}$$

7. Conclusiones

En la actualidad los sistemas hidropónicos y agricultura de precisión, están en auge, y el desarrollo de sistemas de riego automatizados son de gran ayuda para la producción agrícola. Con el trabajo hecho se puede inferir que este sistema de riego es una buena opción de manejo, por

varios factores; es un sistema económico, se puede desarrollar a la escala que se desea, se encuentran disponibles en el mercado las herramientas para lograr el funcionamiento de este; también contribuye al medio ambiente, reduciendo el uso del agua puesto que este genera solo el riego y la necesidad del cultivo sin desperdicio. También reduce los costos de fertilización, ya que permite aportar al cultivo los nutrientes necesarios para la planta sin irse a excesos o desperdicio. Aunque se pudo evidenciar que algunos sensores encontrados en el mercado compatibles con las placas Arduino como el sensor de PH de líquidos y sensor de conductividad eléctrica de líquidos no ofrecen confiabilidad, ya que presentan errores en la medida al usarse constantemente.

También comprendido el desarrollo y crecimiento de germinados, se dejó ver que hay variables que influyen mucho en su desarrollo, como la temperatura, esta afecta la acumulación de grados día, puesto que a mayor temperatura la planta podría absorber mayor energía para su crecimiento, y viceversa. La humedad relativa también jugó un papel muy importante, no obstante, al tener temperaturas altas la humedad relativa aumenta y si el porcentaje de ella está por encima del 90 % podría el cultivo tener condiciones propicias para el desarrollo de enfermedades, en este caso la humedad relativa no alcanzo este valor, gracias a que este sistema no aplicaba más del agua necesaria para el germinado y que tenía una buena aireación.

Se observo que los factores ambientales afectan la evo transpiración de las plantas, y el consumo hídrico, donde influye también el coeficiente del cultivo, el porcentaje de sombra y la eficiencia de este riego. En el crecimiento se observó ser lento los primeros días pero que subió exponencialmente los últimos días antes de su cosecha, generando una capa o tapete, puesto que las raíces del germinado se unieron entre si dando soporte a las plantas alcanzo esta un promedio de 27 cm de altura.

8. Recomendaciones

Se buscaría que a este sistema de riego se le pueda implementar el sistema de envío de datos al servidor MQTT, agregándole a las tarjetas el módulo para mejorar la recolección de los datos, para obtener mayor información del cultivo para mejor optimización en la producción. También sería recomendable hacer un análisis bromatológico del germinado final, así evidenciar el contenido nutricional de este para su uso agrícola a gran escala, ya que el sistema de riego hidropónico influye mucho en la nutrición del germinado.

Por último, sería bueno generar o ampliar software agrícola para la aplicación de modelos matemáticos de crecimiento de cultivos hidropónicos, ya que es limitada la información que nos brinda y a su vez los datos obtenidos son una herramienta de trabajo para implementar parámetros en el sistema de riego .

Referencias Bibliográficas

- Andreu, R., Gimenez, D., & Beltrano, J. (2015). Soluciones nutritivas I en cultivos hidropónicas. En J. Beltrano, & D. Gimenez, *Cultivo en hidroponía* (págs. 73-90). Argentina: Editorial de la universidad de la Plata.
- Arismendi Romero, G. (2011). FOTOSISTEMA II y fotosíntesis artificial: buscando una nueva alternativa energética. *Revista de Química PUCP*, 25, 1-2. <https://n9.cl/25sap>
- Avalos, R. P. (2014). Los invernaderos como alternativa para optimizar el uso del suelo y elevar los rendimientos de cosecha: caso del cultivo de tomate. *Tesis de grado para optar al título de Maestro en Ciencias. Facultad de Ciencias Economicas. Escuela de Estudios de Posgrado. Universidad de San Carlos de Guatemala*. Guatemala. Recuperado el 24 de julio de 2019, de www.biblioteca.usac.edu.gt/tesis/03/03_4609.pdf
- Beltrano, J., & Gimenez, D. (2015). *Cultivo en hidroponía*. Argentina: Editorial de la universidad de la Plata. ISBN 978-950-34-1258-9
- Bosques Vargas, J. (2010). *Curso basico de Hidroponia*. Capa: Lulu. Recuperado el 10 de junio de 2019, de <https://n9.cl/sqz1n>
- Bosques Vargas, J. (2010). *Curso básico de hidroponía*. Moca, PR.
- Braunstein, M., & Rodriguez, S. (2012). *Germinados: Guia para cultivarlos en casa*. Barcelona: Ediciones de Serbal, S.A.
- Cañón Quiroga, D., & Cifuentes Camacho, E. (2018). Prototipo de un sistema automatizado de riego para jardines. *Tesis de grado para optar al título de ingeniera de sistemas. Programa de Ingeniería de Sistemas, Facultad de ingenierias y ciencias basicas, Fundación*

- Universitaria Los Libertadores*. Bogotá. Recuperado el 25 de julio de 2019, de <https://n9.cl/nbkg0>
- Carbone, A. (2015). Nutrición mineral. En J. Beltrano, & D. Gimenez, *Cultivo en hidroponía* (págs. 62-72). Argentina: Editorial de la universidad de la Plata.
- Castilla, N. Invernaderos de plástico. (2007). *Tecnología y manejo*. 2ª Edición. Mundi-Prensa. ISBN:84-8476-321-8. Recuperado 17 septiembre 2020, de <https://n9.cl/z2dmj>
- Chaparro, D., Pismag, R., & Elizalde, A. (2011). Efecto de la germinación sobre el contenido de hierro y calcio en amaranto, quinua, guandul y soya. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 51-59.
- Cira, P., & Ramos, R. (2017). Evaluación de la biomasa potencial. En: Cogeneración de energía, eléctrica y térmica, mediante un sistema híbrido biomasa-solar para explotaciones agropecuarias en la isla de Cuba. *CIEMAT*. Recuperado el 10 de junio de 2019, de <https://n9.cl/es>
- Contreras P., J. L., Tunque Q., M., & Cordero F., A. G. (26 de febrero de 2015). Rendimiento hidropónico de la arveja con cebada y trigo de la producción de germinados. *Revista de investigaciones veterinarias del Perú*, 9-19. Recuperado el 20 de julio de 2019, de <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v26i1.10910>
- Coordinación de Energías Renovables, Dirección Nacional de Promoción y Subsecretaría de Energía Eléctrica. (2008). *Energías Renovables 2008 - Energía Biomasa*. Buenos Aires. Recuperado el 10 de junio de 2019, de
- Echeverry González, S. N. (2016). Tecnificación e implementación de tres métodos de cultivo hidropónico: Water Culture, Ebb & Flow (Flow and Drain) y Drip System Recovery,. *Tesis de grado para optar al título de Ingeniero electrónico, Departamento de Electrónica y*

- Ciencias de la computación, Facultad de Ingenierías, Pontificia Universidad Javeriana.*
Santiago de Cali. Recuperado el 25 de julio de 2019, de <https://n9.cl/s9s0>
- Elorza, M. (s.f). *Brotos y germinados - sus beneficios y como hacerlos en casa.* Santiago: Certificación ambiental municipal.
- Estado Plurinacional de Bolivia. (2010). *El vivir bien como respuesta a la crisis global.* La Paz: Ministerio de Relaciones Exteriores. Recuperado el septiembre de 2019, de <https://n9.cl/q3wk7>
- Gómez Cortés, J. C., Rodríguez Mercado, D., & Díaz Carmona, J. J. (2018). Sistema de control de riego con funciones de monitoreo para cultivos hidropónicos basado en el método de bandeja de demanda. *Pistas educativas*, 40(130), 117-131. Recuperado el 24 de julio de 2019, de <http://www.itcelaya.edu.mx/ojs/index.php/pistas/article/view/1798/1336>
- Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales IDEAM. (2017). *Protocolo de degradación de suelos por erosión y salinización.* Bogotá: IDEAM.
- Lopez Tolentino, G., Mendez Arguello, B., & Lira Saldivar, r. H. (2016). Medición de intercambio gaseoso, área foliar e índice de clorofila en plantas elicidadas con nanopartículas. En Conacyt. Coahuila: Conacyt. Recuperado el 19 de julio de 2019, de <http://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1025/338>
- Lubbert Carmona, J. P. (2016). Análisis, diseño y construcción de un sistema hidropónico automatizado para autoconsumo de vegetales y plantas ornamentales. *trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Civil Industrial. Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.* Santiago de Chile. Recuperado el 24 de julio de 2019, de <https://n9.cl/p3wma>

- Matallana, A, y Montero, J.I. (2001) *Invernaderos. Diseño, construcción y ambientación*. 2ª Edición. Mundi-Prensa. ISBN: 84-7411-498-0. Recuperado 20 de julio de 2019, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=213156>
- Morán, M. J. y Shapiro, H. N. (2004) *Fundamentos de termodinámica técnica*. 2ª Edición. Reverté. ISBN: 84-291-4313-0. Recuperado 19 de mayo de 2019, de <https://n9.cl/8o2m>
- Nutriculture. (2019). *¿Qué es la hidroponía?* Obtenido de *¿Qué es la hidroponía?*: <http://www.nutriculture.es/abouthydroponicses.html>.
- Ortega Ortíz, J. (2014). Desarrollo de un prototipo de adquisición de variables ambientales en cultivos hidropónicos de lechuga, mediante una red de sensores, utilizando un sistema embebido. *Tesis de grado para optar al título de Ingeniera electrónica e ingeniera de telecomunicaciones. Escuela de Ingeniería electrónica y de telecomunicaciones, Facultad de Ingeniería, Universidad San Buenaventura*. Bogotá. Recuperado el 20 de julio de 2019, de biblioteca.usbbog.edu.co:8080/Biblioteca/BDigital/83534.pdf
- Perez Galeano, A., & Zapata Valencia, S. (2015). *Evaluación del comportamiento comercial de los germinados y brotes tiernos en la ciudad de Medellín: posibles alternativas de comercialización*. Antioquia: Corporación universitaria Lasallista.
- Ripa, M. (2000). *Modulo: Fotosíntesis*. Lomas de Zamora: Catedra de biología. Recuperado el 10 de junio de 2019, de <https://n9.cl/f4zif>
- Rojas Cardona, O., Vaca Lozano, J. Z., & Vaca Lozano, Y. (2017). Diseño e implementación de un sistema automatizado para invernadero hidropónico. *Tesis de grado para optar al título de Tecnólogo en electrónica. Escuela de Ciencias Básicas tecnológicas e Ingenierías, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)*. Mariquita. Recuperado el 25 de julio de 2019, de <https://n9.cl/m86md>

- San Miguel, G., & Gutierrez, F. (2015). *Tecnologías para el uso y transformación de biomasa energética*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa. Recuperado el 25 de julio de 2019, de <https://n9.cl/jx58>
- Sandoval Briones, C. (2004). *Manual técnico manejo integrado de enfermedades en cultivos hidropónicos* [Libro electrónico]. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. <https://n9.cl/u7r3y>
- Solorzano Sánchez, A., Ruiz Nieto, J., Sansón Gómez, D., Hernández Ruiz, J., Sotelo Gonzales, J., & Mireles Arriaga, A. (2019). *Evaluación de actividad antioxidante en germinados de lenteja (lens culinaris) producidos bajo luz artificial en distintos rangos nanométricos*. Guanajuato: Jovenes en la ciencia. Recuperado el 18 de julio de 2019, de <https://n9.cl/es/s/kcar0>
- Valera, D. L., Molina, F. D. y Álvarez, A. J. (2008) *Protocolo de auditoria energética en invernaderos. Auditoría energética de un invernadero para cultivo de flor cortada en Mendigorría*. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). ISBN: 978-84-96680-26-5. Recuperado 25 de septiembre 2020, de <https://n9.cl/104f>.
- Villalobos, J., Mateos, L., Orgaz, F. Fereres, E. (2002) *Fitotecnia. Bases de la producción agrícola*. Mundi-prensa. ISBN: 84-8476-049-9. Recuperado 17 septiembre 2020, de <https://n9.cl/oi7r>

Apéndices

Apéndice A. Esquemas diseño del sistema

Figura 41.

Esquema prototipo en CAD

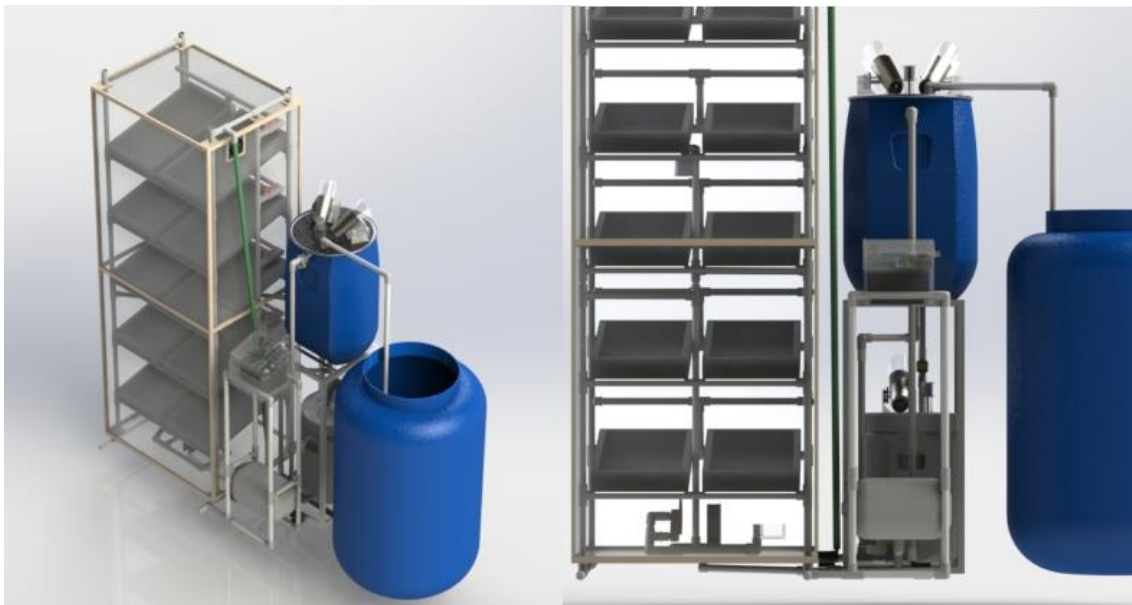


Figura 42.

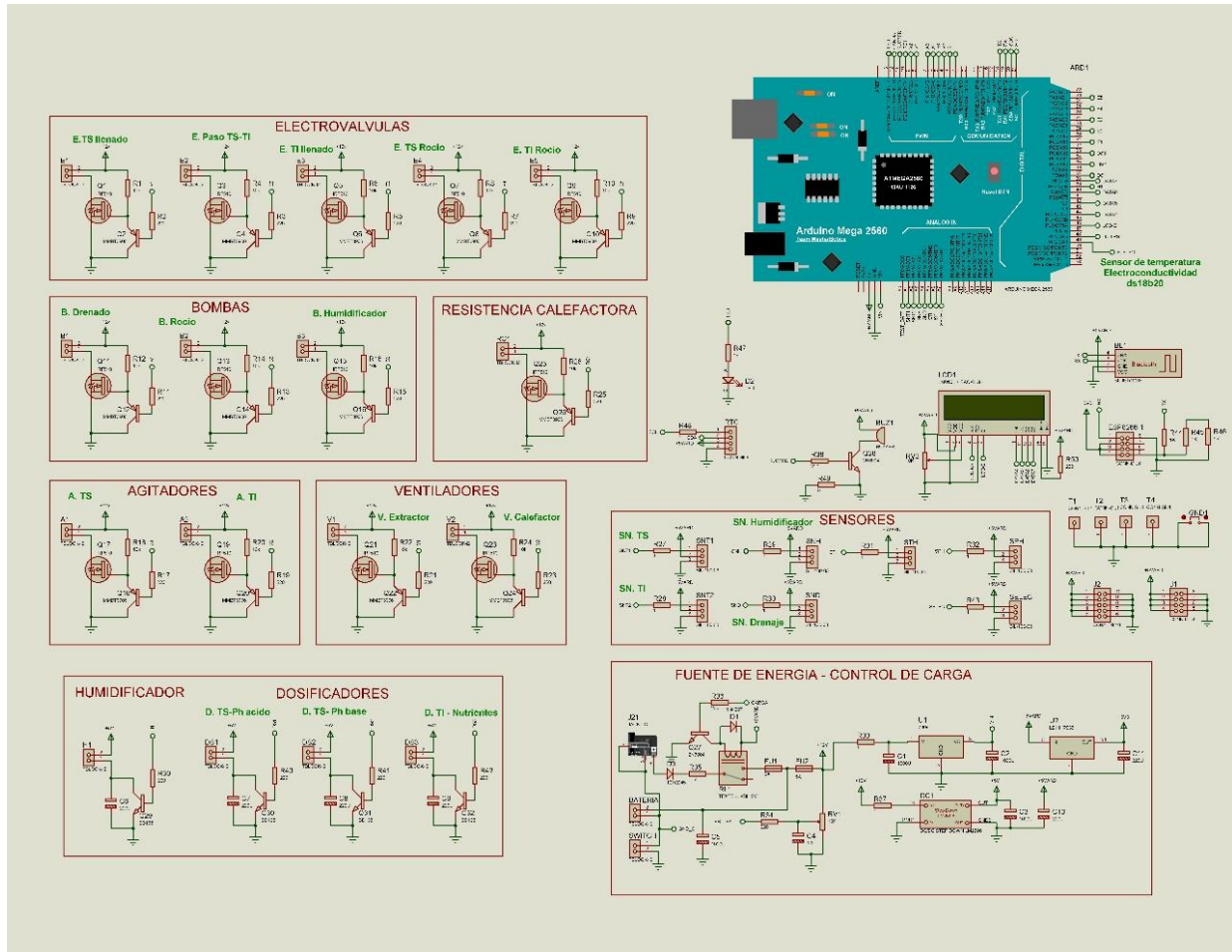
Prototipo



Apéndice A. Controlador electrónico

Figura 43.

Esquema electrónico del controlador hidropónico final



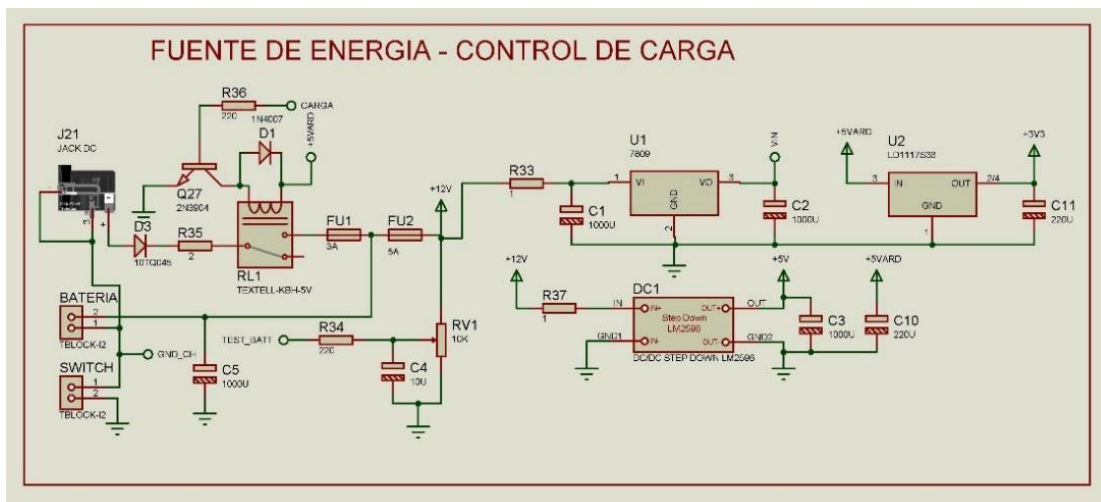
B.1 Etapas electrónicas

A continuación, se describen las diferentes etapas que constituyen el controlador hidropónico, referenciadas y enmarcadas.

B.1.1 Fuente de energía y control de carga de batería: La fuente principal de energía está constituida por la batería de plomo-ácido de 12V/7Ah y la fuente secundaria por el adaptador de voltaje externo conectado a la red doméstica con salida de tensión de corriente continua de 15V hacia el Jack J21, este se emplea para cargar la batería y energizar el controlador y puede ser reemplazado por otro tipo de fuente de alimentación como un panel solar adecuado.

Figura 44.

Fuente de energía, control de carga



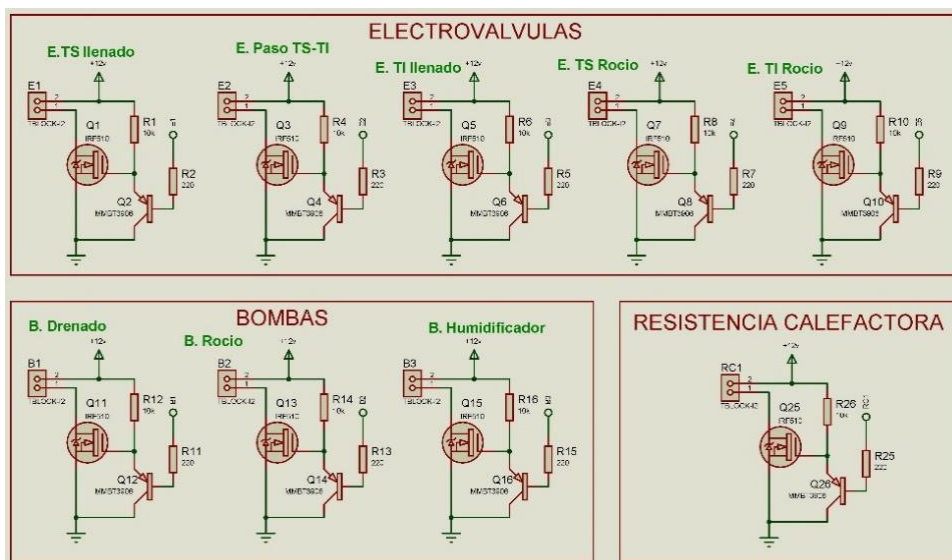
El control de carga de la batería se establece mediante la medición de tensión de la batería a través del divisor resistivo compuesto por el timmer RV1 (usado para calibrar y limitar la tensión considerando la carga máxima aplicando el voltaje máximo permitido de 5V) y la protección R34 mientras que el capacitor C4 permitirá filtrar y estabilizar la tensión regulada, La lectura de dicha tensión se mide en el PIN ADC A0 del Arduino Mega, de esta forma se posibilita la carga de la batería cuando esta se encuentra por debajo de 10V y se suspende la carga al alcanzar 13V con un margen de error menor al 5%, esto mediante el relé RL1 el cual da paso de la tensión del adaptador

hacia la batería y los reguladores de tensión U1 U2 para el Arduino MEGA y el módulo Step-down DC1 para los actuadores de 5V. Finalmente, la resistencia R35 de 20hmios/10W regula y protege el suministro de corriente.

B.1.2 Actuadores de 12V: Para el control de cargas a 12V se implementó la configuración basada en un Mosfet de canal-N controlado por transistor BJT tipo PNP en modo corte – saturación, esto dado que la tensión a controlar es superior al voltaje lógico de la placa Arduino MEGA (5V) no era posible controlar directamente el Mosfet o utilizar un transistor BJT NPN dado que la diferencia de tenciones provocaba reducción o modo de operación en el Mosfet, de esta manera cuando el BJT recibe una tensión de 5V (activo), este entra en modo de corte por lo que el Mosfet entra en conducción debido al voltaje suministrado por la resistencia conectada a 12V. Por otra parte, cuando la señal de control cae a 0V, el BJT entra en modo saturación por ser tipo PNP aplicando tensión negativa a la compuerta del Mosfet el cual se inhabilita.

Figura 45.

Esquema de electroválvulas, bombas y resistencia calefactora

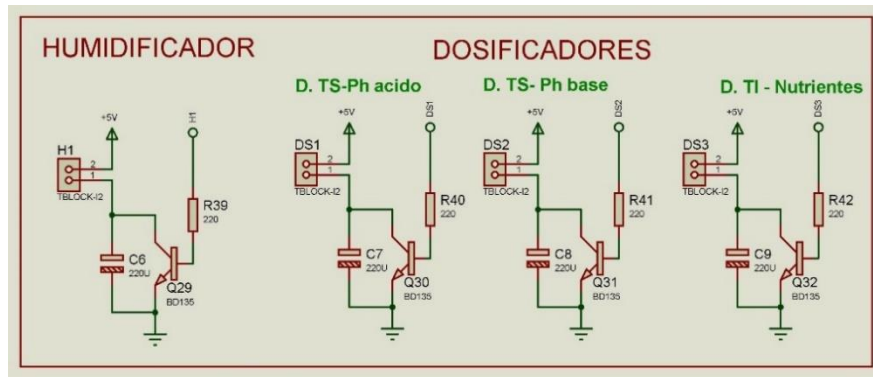


En el caso de la resistencia calefactora la única adecuación incorporada fue la colocación de un disipador de calor dado que la resistencia implementada es de 100W por tanto esto ocasiona calentamiento del mosfet debido al corriente que debe soportar (5A aproximadamente).

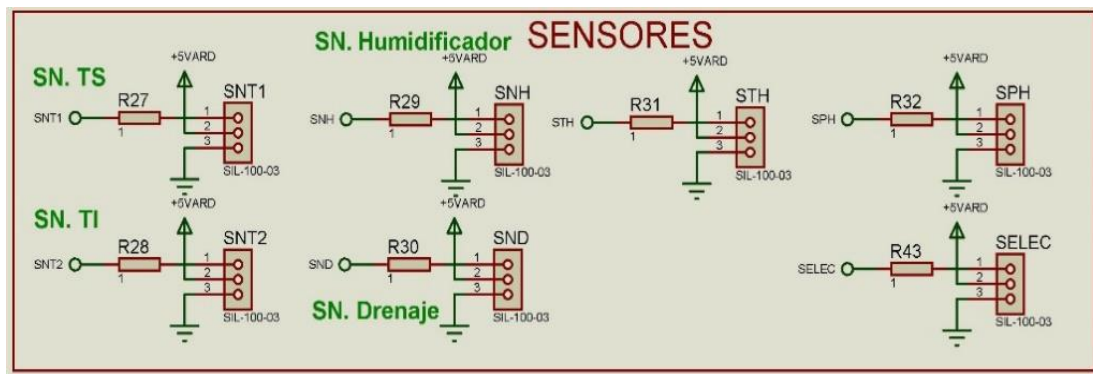
B.1.3 Actuadores de 5V: Debido a que se implementaron tres dosificadores y un humidificador con tensión de operación de 5V, y dado su uso regular se incorporó el módulo regulador de tensión conmutado (step-Down) LM2596 dada su eficiencia y adecuado paso de corriente (3A) como fuente de energía, en vista de que la tensión aplicada a los actuadores es igual a la tensión lógica, se implementó la configuración con transistor BJT BD135 el cual es de tipo NPN en modo corte-saturación negativa para cada uno de los actuadores.

Figura 46.

Esquema de humidificador y dosificadores



B.1.4 Sensores: En cuanto a la interfaz con los diferentes sensores empleados, no fue necesaria la implementación de etapas de adecuación debido a que cada sensor la incorpora, sólo se incorporó resistencias de protección a cada una de las líneas de señal.

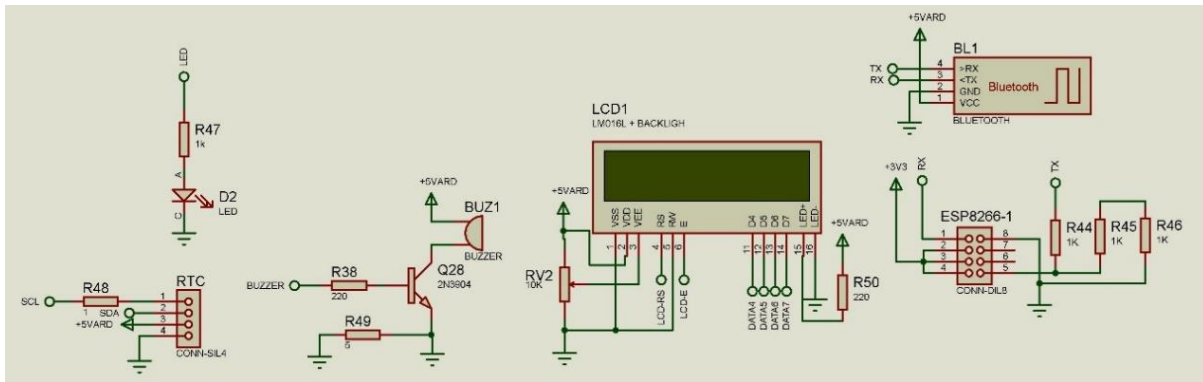
Figura 47.*Esquema de sensores*

B.1.5 Dispositivos de comunicación, tiempo, visualización y aviso: Para la visualización de datos y parámetros del controlador hidropónico, se empleó una pantalla alfanumérica LCD (LCD1) de dos filas y 16 columnas, comunicadas mediante bus paralelo de 4 bits mediante socket por lo cual es posible su reemplazo por una pantalla de mayor área. Para el control de tiempo de los procesos del cultivo, se utilizó un reloj de tiempo real RTC de referencia DS3231 a fin de optimizar y precisar la ejecución de procesos dado que si se realizaba por otro método se podía incurrir en un mayor margen de error acumulativo (por ser procesos lentos), sin embargo, se be realizar una calibración al menos una vez al año.

Como sistema de comunicación se implementó la comunicación bluetooth con el módulo HC-05 (BL1) el cual cuenta con una interfaz UART-serial, sin embargo también se incorporó un conector para posibilitar el uso del módulo ESP8266 para futuras aplicaciones mediante el uso de redes WIFI y así aplicar técnicas IoT (sólo se puede usar uno de los dos dispositivos dado que comparten la comunicación serial). En cuanto a indicadores de aviso, se adicionó un LED (D2) de propósito general y un buzzer piezoeléctrico activo (BUZ1) como alarma en caso de detectar problemas de carga de batería u otras acciones.

Figura 48.

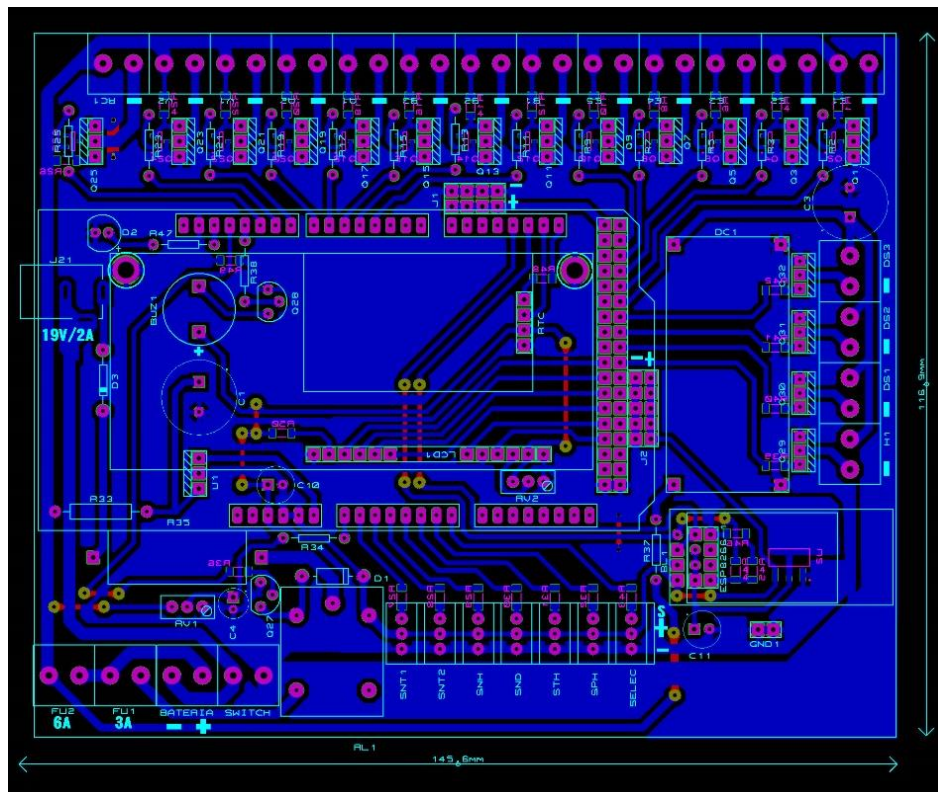
Esquema de Dispositivos de comunicación, tiempo, visualización y aviso



B.1.6 Layout PCB: Tal como se ha mencionado anteriormente, se diseñó y fabricó un Shield de una capa para una fácil inserción a la placa Arduino MEGA con los periféricos necesarios y conexiones extras de 5V, GND (J1 J2) y con posibilidad de utilizar más entradas/salidas digitales, también se llevó a cabo un enrutado adecuado de las líneas de mayor transferencia de potencia a fin de minimizar los efectos del ruido eléctrico y capacidades de corriente

Figura 49.

Vista superior del circuito impreso (Layout Top)



Apéndice B. Programa desarrollado

A continuación, se describe el programa desarrollado en sus diversas etapas.

C.1 Librerías implementadas

C.1.1 Definición de periféricos y especiales

```
#include "RTCLib.h"
```

```
#include "DHT.h"
```

```
#include <EEPROM.h> // incluye la librería para el manejo de la memoria EEPROM
```

```
#include <LiquidCrystal.h>
```

```
#include <DallasTemperature.h>
```

```
#include <OneWire.h>
```

```
OneWire ourWire(49); //Se establece el pin 49 como bus OneWire
```

```
DallasTemperature SenEC(&ourWire); //Se declara una variable u objeto para nuestro
```

```
sensor
```

```
DHT dht(STH, DHTTYPE);
```

C.1.2 Variables

```
#define bateria A0
```

```
#define PWMres 10
#define Ventilacion 9
#define Vextractor 8
#define Humidificador 39
#define Bomba_humi 5
#define SnivelPH A1
#define SnivelN A2
#define SnivelHumi A3
#define SnivelDre A4
#define Relay 12
#define LEDr 13
#define E_rocioNut 23
#define E_rocioPh 25
#define E_llenadoPh 31
#define E_llenadoNut 27
#define E_pasoPhNut 29
#define Bomba_drenado 3
#define Bomba_rocio 4
#define AgitadorNutrientes 7
#define DosificadorNutrientes 33
#define DosificadorAlkalino 35
#define DosificadorAcido 37
#define AgitadorPH 6
```

```
#define LEDr 13

#define SensorPH A6

#define STH A5

#define ECsensorPin A7 //EC Meter analog output,pin on analog A7

#define DS18B20_Pin 49 //DS18B20 signal, pin on digital 49

#define StartConvert 0

#define ReadTemperatureEC 1

#define DHTTYPE DHT11
```

C.1.3 Configuración de inicio (Set up)

```
String daysOfTheWeek[7] = { "Domingo", "Lunes", "Martes", "Miercoles", "Jueves",
"Viernes", "Sabado" };

String monthsNames[12] = { "Enero", "Febrero", "Marzo", "Abril", "Mayo", "Junio",
"Julio","Agosto","Septiembre","Octubre","Noviembre","Diciembre" };

const int rs = 48, en = 46, d4 = 44, d5 = 42, d6 = 40, d7 = 38;

LiquidCrystal lcd(rs, en, d4, d5, d6, d7);

//Temperature chip i/o

OneWire ds(DS18B20_Pin); // on digital pin

const byte numReadings = 20; //the number of sample times

unsigned int

AnalogSampleInterval=25,printInterval=1000,tempSampleInterval=850; //analog sample
interval;serial print interval;temperature sample interval
```

```
unsigned int readings[numReadings]; // the readings from the analog input
byte index = 0; // the index of the current reading
unsigned long AnalogValueTotal = 0; // the running total
unsigned int AnalogAverage = 0,averageVoltage=0; // the average
unsigned long AnalogSampleTime,printTime,tempSampleTime;
float temperatureEC,ECcurrent;
////////////////////////////////////
float TempDHT;
int HumedDHT;
////////////////////////////////////
int contLCD;
unsigned long int sumValuePH; //sumatoria de lecturas ADC PH
int contSamplesPH;
float phValuePH;
float Vbat;
unsigned long Tcarga;
bool Ecarga;
////////////////////////////////////
float temperature_read = 0.0;
float set_temperature = 40;
float PID_error = 0;
float previo_error = 0;
float elapsedTimePID, TimePID, timePrevPID;
```

```
unsigned long PIDsample=100,PIDtd;

int PID_value = 0;

//PID constants

int kp = 9.1; int ki = 0.3; int kd = 1.8;

int PID_p = 0;

int PID_i = 0; int PID_d = 0;

////////////////////////////////////

bool Activo=false;

////////////////////////////////////

int R_value=0,E_value=0,H_value=0;

int T_value=0,U_value=0,C_value=0,P_value=0,X_value=0,Y_value=0,S_value=0;

char BluetoothData;

////////////////////////////////////

unsigned long Memdosificar,TiempoDosificar=1000;

unsigned long Memdosificar2,TiempoDosificar2=1000;

bool ConducCompletada=false,PHCompletada=false;

////////////////////////////////////

unsigned int Suministro,DiaFinalPH,DiaFinalN;

int MemDia;

int NumRiego=6,HoraSuministro[6]={ 1, 3, 5, 7, 9, 16};//militar

int TiempoRiego=59;//5 En minutos

int Dia_value, Mes_value, Ano_value, Hora_value, Minuto_value,Seg_value;

unsigned long MTmuestreoMPH,MTmuestreoMN;
```

```
////////////////////////////////////  
  
bool E_drenaje=false;  
  
int TiempoDrenaje=30000;  
  
unsigned long MemDrenaje;  
  
////////////////////////////////////  
  
int FinProceso=0;  
  
unsigned long Mfin;  
  
int Tfin=200;  
  
bool estadoLed;  
  
////////////////////////////////////  
  
bool MNivelPH=false,MNivelN=false;  
  
////////////////////////////////////  
  
void setup() {  
  
    // Velocidades de comunicación serial  
  
    Serial.begin(9600);// USB  
  
    Serial1.begin(9600);//BLUETOOTH  
  
    //Definición de periféricos de salida  
  
    pinMode(Relay,OUTPUT);  
  
    pinMode(LEDr,OUTPUT);  
  
    pinMode(Vextractor,OUTPUT);  
  
    pinMode(PWMres,OUTPUT);  
  
    pinMode(Ventilacion,OUTPUT);  
  
    pinMode(E_rocioNut,OUTPUT);  
  
}
```

```
pinMode(E_rocioPh,OUTPUT);
pinMode(E_llenadoPh,OUTPUT);
pinMode(E_llenadoNut,OUTPUT);
pinMode(E_pasoPhNut,OUTPUT);
pinMode(Bomba_drenado,OUTPUT);
pinMode(Bomba_rocio,OUTPUT);
pinMode(SnivelDre,INPUT);
pinMode(SnivelHumi,INPUT);
pinMode(SnivelPH,INPUT);
pinMode(SnivelIN,INPUT);
pinMode(Humidificador,OUTPUT);
pinMode(Bomba_humi,OUTPUT);
pinMode(AgitadorNutrientes,OUTPUT);
pinMode(DosificadorNutrientes,OUTPUT);
pinMode(DosificadorAlkalino,OUTPUT);
pinMode(DosificadorAcido,OUTPUT);
pinMode(AgitadorPH,OUTPUT);

//Modificación de frecuencia PWM
TCCR2B = TCCR2B & B11111000 | B00000011; // set timer 2 divisor to 32 for
PWM frequency of 980.39 Hz

//inicialización de librerías
lcd.begin(16, 2);
rtc.begin();
```

```
dht.begin();

SenEC.begin();

// Se inicializan las lecturas a 0 para EC electroconductividad:

for (byte thisReading = 0; thisReading < numReadings; thisReading++)

  readings[thisReading] = 0;

TempProcess(StartConvert); //let the DS18B20 start the convert

////////////////////////////////////

//Lectura de datos de la memoria interna

MemDia = EEPROM.read(9);delay(5);

DiaFinalPH = EEPROM.read(10);delay(5);

DiaFinalN = EEPROM.read(11);delay(5);

Suministro = EEPROM.read(12);delay(5);

T_value = EEPROM.read(13);delay(5);

U_value = EEPROM.read(14);delay(5);

C_value = EEPROM.read(15);delay(5);

P_value = EEPROM.read(16);delay(5);

PHCompletada= EEPROM.read(17);delay(5);

ConducCompletada= EEPROM.read(18);delay(5);

//impresión de mensajes por puerto serial-USB (sólo para verificación)

Serial.print("Día de último registro: ");Serial.println(MemDia);

Serial.print("Nivel de agua en tanque pH (1=completado):

");Serial.println(PHCompletada);
```

```
Serial.print("Nivel de agua en tanque nutrientes (1=completado):
");Serial.println(ConducCompletada);

Serial.println("*****");

Serial.print("Dias Final PH restante: ");Serial.println(DiaFinalPH);

Serial.print("Dias Final Nutrientes restante: ");Serial.println(DiaFinalN);

Serial.print("Suministro (1=ph, 2=Nut): ");Serial.println(Suministro);

Serial.print("Setpoint temperatura: ");Serial.println(T_value);

Serial.print("Setpoint humedad (%): ");Serial.println(U_value);

Serial.print("Setpint nutrientes (ms/cm): ");Serial.println(C_value);

Serial.print("Setpoit pH: ");Serial.println(P_value);

Serial.println("");

delay(5000);
```

C.1.4 Validación de estado del proceso en caso de reinicio o apagado

```
if(Suministro>=1)

{ Activo=true;

DateTime now = rtc.now();

ReadRTC(now);

MemDia=Hora_value;////////

Serial.println("Continuando parametros...");

Serial.println("");delay(2000);}

////////
```

```
AnalogSampleTime=millis();  
printTime=millis();  
tempSampleTime=millis();  
TimePID = millis();  
}  
  
// FIN VOID SETUP
```

C.1.5 Validación de estado del proceso en caso de reinicio o apagado

```
if(Suministro>=1)  
{Activo=true;  
DateTime now = rtc.now();  
ReadRTC(now);  
MemDia=Hora_value;/////////  
Serial.println("Continuando parametros...");  
Serial.println("");delay(2000);}  
  
/////////////////////////////////////  
AnalogSampleTime=millis();  
printTime=millis();  
tempSampleTime=millis();  
TimePID = millis();  
}  
  
// FIN VOID SETUP
```

C.1.6 Rutinas principal programa Loop

```
void loop() {  
  
  Datos_Bluetooth();// muestreo de comunicación bluetooth  
  
  LeerSensores();// registro de datos de los sensores  
  
  if(H_value==1)// acción del uso del humidificador  
  {Humidificar(true);}else{Humidificar(false);}  
  
  if(Activo==true)// activación del proceso de control  
  {  
  
    PIDcontrol(Activo);// control de temperatura de la cabina  
  
    HumedadControl(Activo);//Control de humedad de la cabina  
  
    if(Suministro==1)//suministro tanque superior ph controlado  
    {  
  
      PHControl(Activo);  
  
      if(PHCompletada==true)  
      {  
  
        if(millis()-MTmuestreoMPH>=1000)  
        {  
  
          Serial.print("*****MODO rociado con PH controlado***** ");  
  
          Serial.println(DiaFinalPH);Serial.println(" ");  
  
          DateTime now = rtc.now();  
  
          ReadRTC(now);  
  
          if(Hora_value!=MemDia)////////
```

```
{
  Serial.println("*****Cambio de dia*****");
  if(DiaFinalPH>=1)
  {
    DiaFinalPH--;
    MemDia=Hora_value;////////
    EEPROM.update(10,DiaFinalPH);//memorización
    //Serial.println(DiaFinalPH);
  }
}else
{
  bool Regar=0;
  for(int cont=0;cont<NumRiego;cont++)
  {if(Minuto_value==HoraSuministro[cont])////////
    {Regar=1;}
  }
  if(Regar==1&&Seg_value<TiempoRiego)////////minutos
  {Serial.println("***** Rociando pH *****");
  Serial.println(" ");
  digitalWrite(E_rocioPh,HIGH);
  digitalWrite(Bomba_rocio,HIGH);
  }else
  {
```

```
if(DiaFinalPH==1&&Minuto_value>=HoraSuministro[5])////////
{Serial.println("*****< Rociando pH FINALIZADO >*****");
Serial.println("*****");
MemDia=Hora_value;////////
EEPROM.update(10,DiaFinalPH);
//delay(5000);
}else
if(DiaFinalPH==0)////////
{Serial.println("*****< Cambio pH - Nutrientes >*****");
Serial.println("*****");
//Serial.println(" ");
Suministro=2;
EEPROM.update(12, Suministro);delay(5);
MemDia=Hora_value;////////
EEPROM.update(11,DiaFinalN);
delay(5000);
//Serial.println(DiaFinalPH);
}
digitalWrite(E_rocioPh,LOW);
digitalWrite(Bomba_rocio,LOW);
Serial.println("***** Esperando próximo rocío *****");
Serial.println(" ");
}
```

```
    }  
    MTmuestreoMPH=millis();  
    }  
    }  
    }  
    else//fin suministro PH controlado*****  
    if(Suministro==2)  
    {  
    ConductividadControl(Activo);  
    if(ConducCompletada==true)  
    {  
    if(millis()-MTmuestreoMN>=1000)  
    {  
    Serial.print("*****MODO rociado con nutrientes  
controlado***** ");    Serial.println(DiaFinalN);  
    DateTime now = rtc.now();  
    ReadRTC(now);  
    if(Hora_value!=MemDia)/////////  
    {  
    Serial.println("*****Cambio de dia*****");  
    Serial.println(" ");  
    //Serial.print("*****DiaFinalPH: ");  
    if(DiaFinalN>=1)
```

```
{DiaFinalN--;

MemDia=Hora_value;////////

EEPROM.update(11,DiaFinalN);

}

}else

{

    bool Regar2=0;

    for(int cont=0;cont<NumRiego;cont++)

    {if(Minuto_value==HoraSuministro[cont])////////

        {Regar2=1;}

    }

    if(Regar2==1&&Seg_value<TiempoRiego)////////minutos

    {Serial.println("***** Rociando nutrientes *****");

    Serial.println(" ");

    digitalWrite(E_rocioNut,HIGH);

    digitalWrite(Bomba_rocio,HIGH);

    }else

    {

        if(DiaFinalN==1&&Minuto_value>=HoraSuministro[5])////////

        {Serial.println("*****CULTIVO FINALIZADO *****");

        Serial.println("*****");

        Serial.println(" ");

        Suministro=0;FinProceso=true;
```

```
        EEPROM.update(12,Suministro);

        //delay(5000);

    }

    digitalWrite(E_rocioNut,LOW);

    digitalWrite(Bomba_rocio,LOW);

    Serial.println("***** Esperando próximo rocío *****");

    Serial.println(" ");

    }

}

MTmuestreoMN=millis();

}

}

}///// fin suministro con nutrientes

else

{

if(millis()-Mfin>=Tfin)

{

// Serial.print("*****FIN DEL PROCESO ***** ");

estadoLed=!estadoLed; //cambia el estado del led

digitalWrite(LEDr,estadoLed);

Mfin=millis();

}}

}//fin loop
```

C.1.7 Control de pH

```
void PHControl(bool ActivarPH)
{
  if(ActivarPH==true&&digitalRead(SnivelPH)==true)
  {
    if(millis()-Memdosificar2>=TiempoDosificar2)//cada 1seg
    {
      if(phValuePH<P_value)
      {
        digitalWrite(DosificadorAcido,LOW);
        digitalWrite(DosificadorAlkalino,HIGH);
        digitalWrite(AgitadorPH,HIGH);
        //PHCompletada=false;
      }else
      if(phValuePH>P_value+1)
      {
        digitalWrite(DosificadorAlkalino,LOW);
        digitalWrite(DosificadorAcido,HIGH);
        digitalWrite(AgitadorPH,HIGH);
        //PHCompletada=false;
      }else
      { PHCompletada=true;
```

```
    if(MNivelPH==false)
    {EEPROM.write(17, PHCompletada);MNivelPH=true;}
        digitalWrite(DosificadorAlkalino,LOW);
    digitalWrite(DosificadorAcido,LOW);
    digitalWrite(AgitadorPH,LOW);}
    Memdosificar2=millis();
}
}else
{
digitalWrite(DosificadorAlkalino,LOW);
digitalWrite(DosificadorAcido,LOW);
digitalWrite(AgitadorPH,LOW);
}
}
```

C.1.8 Control de conductividad

```
void ConductividadControl(bool ActivarConduc)
{
    if(ActivarConduc==true&&digitalRead(SnivelN)==true)
    {
        digitalWrite(E_pasoPhNut,LOW);
        if(millis()-Memdosificar>=TiempoDosificar)//cada 1seg
```

```
{
  if(ECcurrent<=C_value)
  {
    digitalWrite(DosificadorNutrientes,HIGH);
    digitalWrite(AgitadorNutrientes,HIGH);
    //ConducCompletada=false;
  }else
  { digitalWrite(DosificadorNutrientes,LOW);
    digitalWrite(AgitadorNutrientes,LOW);
    ConducCompletada=true;
    if(MNivelN==false)
    {EEPROM.write(18, ConducCompletada);MNivelN=true;}
  }
  Memdosificar=millis();
}
}else
{
  digitalWrite(E_pasoPhNut,HIGH);
  digitalWrite(DosificadorNutrientes,LOW);
  digitalWrite(AgitadorNutrientes,LOW);
}
}
////////////////////////////////////
```

Control de humedad

```
void HumedadControl(bool ActivarHume)
{
  if(ActivarHume==true)
  {
    if(HumedDHT<=C_value)
    {Humidificar(true);digitalWrite(Vextractor,LOW);}else
    {Humidificar(false);digitalWrite(Vextractor,HIGH);}
  }else
  {
    Humidificar(false);digitalWrite(Vextractor,LOW);
  }
}
```

C.1.9 Control humidificador

```
void Humidificar(bool ActivarHumi)
{
  if(ActivarHumi==true)
  {
    if(digitalRead(SnivelHumi)==true)
    {
      //Serial.println("HUMIDIFICANDO...");
    }
  }
}
```

```
    digitalWrite(Bomba_humi,LOW);
digitalWrite(Humidificador,HIGH);}else
{digitalWrite(Bomba_humi,HIGH);
digitalWrite(Humidificador,LOW);}
}else
{digitalWrite(Bomba_humi,LOW);
digitalWrite(Humidificador,LOW);
}
}
```

C.1.10 Recepción de datos vía Bluetooth

```
{
  if (Serial1.available()){
    BluetoothData=Serial1.read(); //Get next character from bluetooth
    if(BluetoothData=='R') R_value=Serial1.parseInt();//ROCIO 1=NUTRIENTES 2=PH
0=OFF
    if(BluetoothData=='E') E_value=Serial1.parseInt();//EXTRACTOR
    if(BluetoothData=='H') H_value=Serial1.parseInt();//HUMIDIFICADOR
    if(BluetoothData=='T') T_value=Serial1.parseInt();//SETPOINT TEMPERATURA
CONTROL
    if(BluetoothData=='U') U_value=Serial1.parseInt();//SETPOINT HUMEDAD
CONTROL
```

```
if(BluetoothData=='C') C_value=Serial1.parseInt();//SETPOINT CONDUCTIVIDAD
(NUTRIENTES)

if(BluetoothData=='P') P_value=Serial1.parseInt();//SETPOINT PH CONTROL

if(BluetoothData=='X') X_value=Serial1.parseInt();//DIAS DE SUMINISTRO CON
PH

if(BluetoothData=='Y') Y_value=Serial1.parseInt();//DIAS DE SUMINISTRO CON
NUTRIENTES

if(BluetoothData=='S')

{S_value=Serial1.parseInt();//ACTIVO

if(S_value==true)

{Activo=true;

DateTime now = rtc.now();

ReadRTC(now);DiaFinalPH=X_value;DiaFinalN=Y_value;

MemDia=Hora_value;////////

Suministro=1;PHCompletada=false;ConducCompletada=false;

EEPROM.write(9, MemDia);delay(5);

EEPROM.write(10, DiaFinalPH);delay(5);

EEPROM.write(11, DiaFinalN);delay(5);

EEPROM.write(12, Suministro);delay(5);

EEPROM.write(13, T_value);delay(5);

EEPROM.write(14, U_value);delay(5);

EEPROM.write(15, C_value);delay(5);

EEPROM.write(16, P_value);delay(5);
```

```
EEPROM.write(17, PHCompletada);delay(5);

EEPROM.write(18, ConducCompletada);delay(5);

}else

{ Activo=false;digitalWrite(LEDr,LOW);FinProceso=0;EEPROM.write(12, 0);}

}

if(R_value==1)

{ digitalWrite(E_rocioNut,HIGH);

digitalWrite(Bomba_rocio,HIGH);}else

if(R_value==2)

{ digitalWrite(E_rocioPh,HIGH);

digitalWrite(Bomba_rocio,HIGH);}else

if(R_value==0)

{ digitalWrite(E_rocioPh,LOW);

digitalWrite(E_rocioNut,LOW);

digitalWrite(Bomba_rocio,LOW);}

if(E_value==1)

{ digitalWrite(Vextractor,HIGH);}else

{ digitalWrite(Vextractor,LOW);}

}

}
```

C.1.11 Control PID de temperatura

```
void PIDcontrol(bool ActivoPID){
  if(PIDtd-millis()>=PIDsample)
  {
    set_temperature=T_value;
    temperature_read = TempDHT;

    //Next we calculate the error between the setpoint and the real value
    PID_error = set_temperature - temperature_read;

    //Calculate the P value
    PID_p = kp * PID_error;

    //Calculate the I value in a range on +-3
    if(-3 < PID_error <3)
    {
      PID_i = PID_i + (ki * PID_error);
    }

    //For derivative we need real time to calculate speed change rate
    timePrevPID = TimePID;           // the previous time is stored before the actual
    time read

    TimePID = millis();              // actual time read
    elapsedTimePID = (TimePID - timePrevPID) / 1000;

    //Now we can calculate the D value
```

```
PID_d = kd*((PID_error - previo_error)/elapsedTimePID);

//Final total PID value is the sum of P + I + D

PID_value = PID_p + PID_i + PID_d;

//Serial.println("PID_value: ");Serial.println(PID_value);

//We define PWM range between 0 and 255

if(PID_value < 0)

{  PID_value = 0;  }

if(PID_value > 255)

{  PID_value = 255;  }

//Now we can write the PWM signal to the mosfet on digital pin D3

if(ActivoPID==true)

{

analogWrite(LEDr,PID_value);

analogWrite(PWMres,PID_value);

analogWrite(Ventilacion,map(PID_value,0,255,50,100));

}else

{

analogWrite(LEDr,0);

analogWrite(PWMres,0);

analogWrite(Ventilacion,0);

}

previo_error = PID_error;  //Remember to store the previous error for next loop.

PIDtd=millis();
```

```
}  
}
```

C.1.12 Visualización en pantalla LCD

```
void printLCD(DateTime date)  
{  
  if(contLCD<=1)  
  {  
    lcd.clear();  
    lcd.setCursor(0, 0);  
    lcd.print(" CONTROLADOR");  
    lcd.setCursor(0, 1);  
    lcd.print(" HIDROPONICO");  
    contLCD++;  
  }else  
  if(contLCD==2 && FinProceso==true)  
  {  
    lcd.clear();  
    lcd.setCursor(0, 0);  
    lcd.print(" CULTIVO");  
    lcd.setCursor(0, 1);  
    lcd.print(" FINALIZADO");  
    Serial.println("*****CULTIVO FINALIZADO *****");
```

```
Serial.println("*****");

Serial.println(" ");

contLCD++;

}

else

if(contLCD>=2+FinProceso&&contLCD<=6+FinProceso)

{lcd.clear();

lcd.setCursor(3, 0);

lcd.print(date.day(), DEC);

lcd.print('/');

lcd.print(date.month(), DEC);

lcd.print('/');

lcd.print(date.year(), DEC);

lcd.print(" ");

//lcd.print(daysOfTheWeek[date.dayOfTheWeek()]);

//Serial.print(" ");

lcd.setCursor(4, 1);

lcd.print(date.hour(), DEC);

lcd.print(':');

lcd.print(date.minute(), DEC);

lcd.print(':');

lcd.print(date.second(), DEC);

lcd.print(" ");
```

```
contLCD++;

}else

if(contLCD>=7+FinProceso&&contLCD<=11+FinProceso)

{lcd.clear();

lcd.setCursor(0, 0);

lcd.print("Temp: ");

lcd.print(TempDHT);

lcd.print(F("\337C "));//=°C

lcd.setCursor(0, 1);

lcd.print("Humedad: ");

lcd.print(HumedDHT);

lcd.print("%");

contLCD++;

}else

if(contLCD>=12+FinProceso&&contLCD<=16+FinProceso)

{lcd.clear();

lcd.setCursor(0, 0);

lcd.print("Conductividad: ");

lcd.setCursor(0, 1);

//lcd.print("Temp: ");

lcd.print((int)temperatureEC);

lcd.print(F("\337C "));//=°C

//lcd.print("EC: ");
```

```
lcd.print(ECcurrent);

lcd.print("ms/cm");

contLCD++;

}else

if(contLCD>=17+FinProceso&&contLCD<=21+FinProceso)

{lcd.clear();

lcd.setCursor(0, 0);

lcd.print("pH: ");

lcd.print(phValuePH);

lcd.setCursor(0, 1);

lcd.print("Batt: ");

lcd.print(Vbat);

lcd.print("V");

if(contLCD==21+FinProceso)

{contLCD=0;}else{contLCD++;}

}

}
```

C.1.13 Lectura de sensores

```
void LeerSensores(void)

{

/*
```

```
Muestreo del valor ADC y promedio

*/

if(millis()-AnalogSampleTime>=AnalogSampleInterval)

{

    // restar la ultima lectura

    AnalogValueTotal = AnalogValueTotal - readings[index];

    // lectura del sensor

    readings[index] = analogRead(ECsensorPin);

    // sumatoria de lecturas

    AnalogValueTotal = AnalogValueTotal + readings[index];

    // incremento de posición del array

    index = index + 1;

    // final de la matriz

    if (index >= numReadings)

        // reinicio

        index = 0;

    // cálculo del promedio

    AnalogAverage = AnalogValueTotal / numReadings;

    /////medición de PH

    if(contSamplesPH<9)

        {sumValuePH=sumValuePH+analogRead(SensorPH);

        contSamplesPH++;}else

        { pHValuePH=(float)sumValuePH*5.0/1024/10; //convert the analog into millivolt
```

```

    pHValuePH=3.5*pHValuePH;

    contSamplesPH=0;sumValuePH=0;

}

    AnalogSampleTime=millis();

}

/*

De vez en cuando, MCU lee la temperatura del DS18B20 y luego deja que
el DS18B20 inicie la conversión.

Atención: ¡el intervalo entre iniciar la conversión y leer la temperatura
debe ser mayor de 750 milisegundos, o la temperatura no es precisa!

*/

if(millis()-tempSampleTime>=tempSampleInterval)

{

    tempSampleTime=millis();

    temperatureEC = TempProcess(ReadTemperatureEC); // lectura actual del
sensor DS18B20

    TempProcess(StartConvert); //despues de leer se inicia la conversión para una nueva
lectura

}

//////////

if(millis()-printTime>=printInterval)

{

    readTempHumed();

```

```

averageVoltage=AnalogAverage*(float)5000/1023;// Voltaje promedio

Serial.print("Analog value:");

Serial.print(AnalogAverage); //analog average,from 0 to 1023

Serial.print("  Voltage:");

Serial.print(averageVoltage); //millivolt average,from 0mv to 4995mV

Serial.print("mV  ");

Serial.print("temp:");

Serial.print(temperatureEC); //Temperatura del sensor de electroconductividad

Serial.print("^C  EC:");

float TempCoefficient=1.0+0.0185*(temperatureEC-25.0); //temperature
compensation formula: fFinalResult(25^C) = fFinalResult(current)/(1.0+0.0185*(FTP-
25.0));

float CoefficientVolatge=(float)averageVoltage/TempCoefficient;

if(CoefficientVolatge<150)Serial.println("No solution!"); //25^C 1413us/cm<--
>about 216mv if the voltage(compensate)<150,that is <1ms/cm,out of the range

else if(CoefficientVolatge>3300)Serial.println("Out of the range!"); //>20ms/cm,out
of the range

else

{

if(CoefficientVolatge<=448)ECcurrent=7.4*CoefficientVolatge-
64.32; //1ms/cm<EC<=3ms/cm 6.84 64.32

else if(CoefficientVolatge<=1457)ECcurrent=6.98*CoefficientVolatge-
127; //3ms/cm<EC<=10ms/cm

```

```

    else ECcurrent=5.3*CoefficientVolatge+2000;//
2278          //10ms/cm<EC<20ms/cm

    ECcurrent/=1000; //convert us/cm to ms/cm

    Serial.print(ECcurrent,2); //two decimal

    Serial.println("ms/cm");

    }

Serial.print("CoefficientVolatge: ");

Serial.print(CoefficientVolatge); //current temperature

    Serial.print(" Temp (DHT):");

    Serial.print(TempDHT); //current temperature

    Serial.print("^C  Humedad:");

    Serial.print(HumedDHT);

    Serial.println("%");

C.1.14 Carga de batería

Vbat=(analogRead(bateria)*11.75)/558;//conversión de análogo a voltage

if(Vbat<=10.0){Ecarga=1;} //si la medicion es menor a 10V se activa el rele de carga

if(Ecarga==1&&Vbat<=14)// Hasta alcanzar 14V máxima carga

{ digitalWrite(Relay,HIGH);}else

{Ecarga=0;digitalWrite(Relay,LOW);}

////////////////////////////////////

//Verificación de nivel de llenado de los tanques en función de la etapa del cultivo

if(digitalRead(SnivelDre)==true)

```

```
{E_drenaje=true;}

if(millis()-MemDrenaje>=TiempoDrenaje && E_drenaje==true)

{

if(digitalRead(SnivelDre)==true && Suministro>=1)

{

if(Suministro==1)

{digitalWrite(E_llenadoPh,HIGH);digitalWrite(Bomba_drenado,HIGH);} else

if(Suministro==2)

{digitalWrite(E_llenadoNut,HIGH);digitalWrite(Bomba_drenado,HIGH);}

}else

{digitalWrite(E_llenadoPh,LOW);digitalWrite(Bomba_drenado,LOW);

E_drenaje=false;}

MemDrenaje=millis();

}

// Obtener fecha actual y mostrar por Serial

DateTime now = rtc.now();

printLCD(now);

printTime=millis();

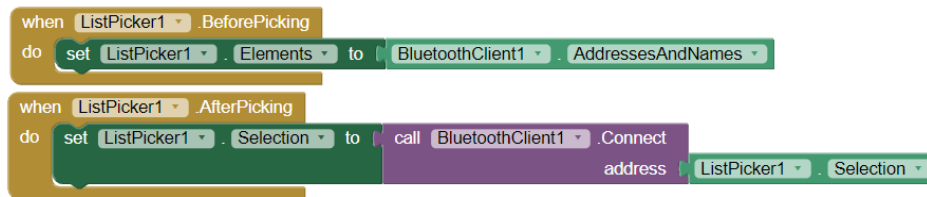
}

}
```

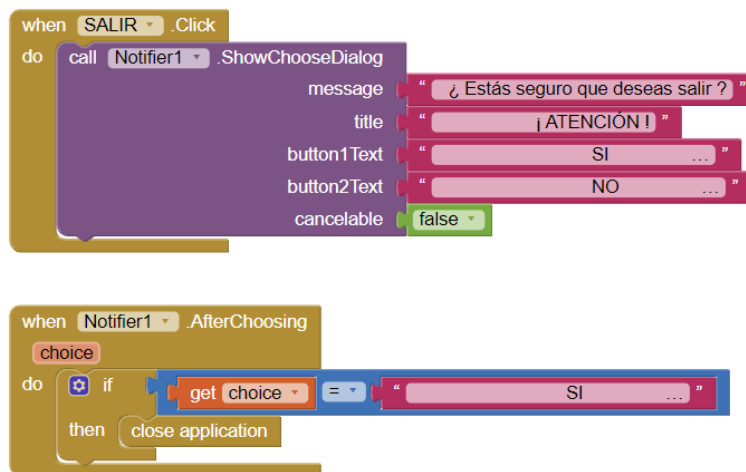
Apéndice C. Diseño aplicativo

El diseño del aplicativo en cada una de sus etapas a continuación:

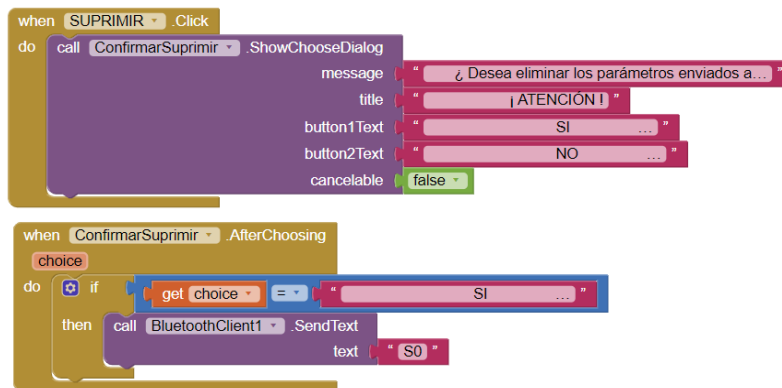
a) Conectividad



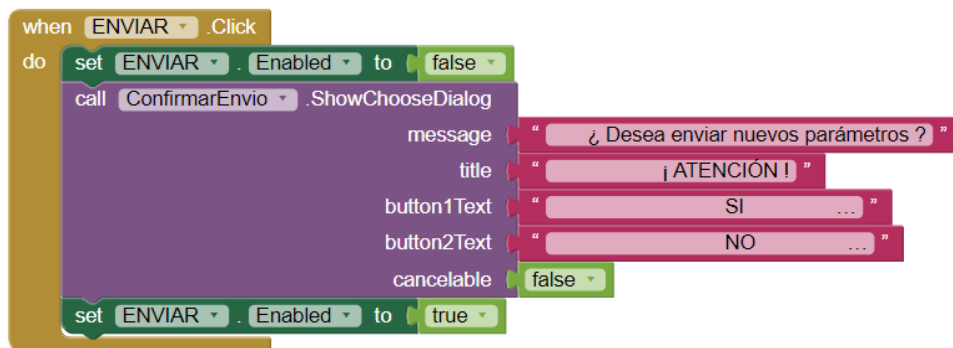
b) Salir del aplicativo

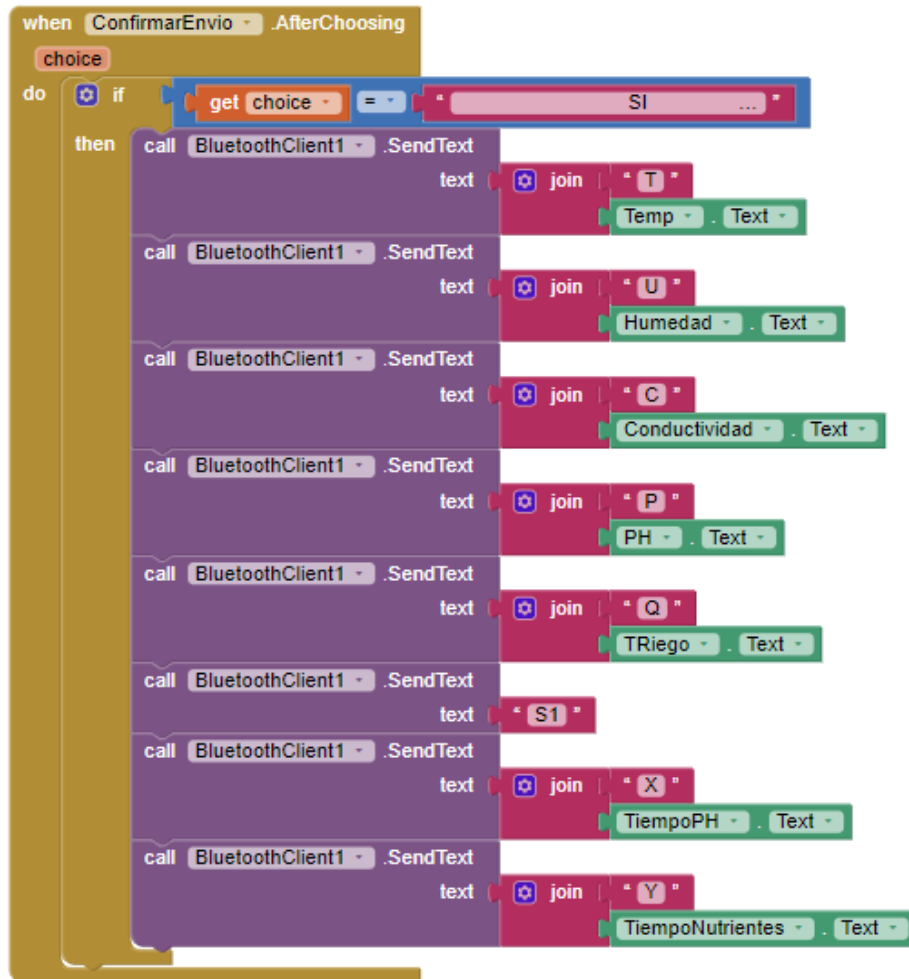


c) Suprimir parámetros



d) Envío de parámetros





e) Acciones de control manual

```
to OFFPH
do
  set Rocio_con_ph -> TextColor -> to black
  set Rocio_con_ph -> Text -> to pH ON
  set Rocio_con_ph -> Image -> to greenbutton_4x.png
  call BluetoothClient1 -> SendText
  text R1
end

to ONPH
do
  set Rocio_con_ph -> TextColor -> to white
  set Rocio_con_ph -> Text -> to pH OFF
  set Rocio_con_ph -> Image -> to redbutton_4x.png
  call BluetoothClient1 -> SendText
  text R0
end

when Rocio_con_ph -> Click
do
  if Rocio_con_ph -> Text = pH ON
  then call ONPH
  else if Rocio_con_ph -> Text = pH OFF
  then call OFFPH
  else
  end
end

to OFFNUT
do
  set Rocio_con_nutrientes -> TextColor -> to black
  set Rocio_con_nutrientes -> Text -> to Nutrientes ON
  set Rocio_con_nutrientes -> Image -> to greenbutton_4x.png
  call BluetoothClient1 -> SendText
  text R2
end

to ONNUT
do
  set Rocio_con_nutrientes -> TextColor -> to white
  set Rocio_con_nutrientes -> Text -> to Nutrientes OFF
  set Rocio_con_nutrientes -> Image -> to redbutton_4x.png
  call BluetoothClient1 -> SendText
  text R0
end

when Rocio_con_nutrientes -> Click
do
  if Rocio_con_nutrientes -> Text = Nutrientes ON
  then call ONNUT
  else if Rocio_con_nutrientes -> Text = Nutrientes OFF
  then call OFFNUT
  else
  end
end
```

f) Slider de selección numérica



Apéndice D. Desarrollo del sistema de potencia alternativo

Para el dimensionamiento de panel y baterías para autonomía en la ciudad de Floridablanca- Santander, seguimos los siguientes pasos:

1. Cálculo del consumo aproximado.
2. Datos del lugar donde se realizará la instalación
3. Dimensionado del generador fotovoltaico
4. Dimensionado del sistema de acumulación

E.1 Cálculo del consumo aproximado: Se determina el consumo mediante la siguiente tabla.

Tabla 1.

Cálculo del consumo aproximado

Componente	Voltaje	Corriente	Potencia	Tiempo uso diario	Consumo	Demanda máxima
Bomba	12	3	36	1	36	108
Humidificador	5	0,5	2,5	1	2,5	2,5
Resistencia eléctrica	12	5	60	0,5	30	60
Electroválvula humidificadora	12	1	12	1	12	12
Ventilador extractor	12	1,3	15,6	5	78	46,8
Sensor temperatura y humedad	5	0,6	3	24	72	3
Sensor nivel humidificador	5	0,4	2	2	4	2

Componente	Voltaje	Corriente	Potencia	Tiempo uso diario	Consumo	Demanda máxima
Dispensador acido	6	1,5	9	0,25	2,25	27
Dispensador base	6	1,5	9	0,25	2,25	27
Dispensadores nutrientes	6	1,5	9	0,25	2,25	27
Mezclador T1	12	1	12	0,25	3	36
Mezclador T2	12	1	12	0,25	3	36
Bomba (riego)	12	1,58	18,96	0,25	4,74	56,88
Bomba (retorno)	12	1,58	18,96	0,25	4,74	56,88
Electroválvula T1- riego	12	1	12	0,25	3	12
Electroválvula T1- retorno	12	1	12	0,25	3	12
Electroválvula T2- riego	12	1	12	0,25	3	12
Electroválvula T2- retorno	12	1	12	0,25	3	12
Electroválvula T1 a T2	12	1	12	0,25	3	12
Sensor nivel T1	5	0,4	2	2	4	2
Sensor nivel T2	5	0,4	2	2	4	2
Sensor nivel retorno	5	0,4	2	2	4	2
Sensor pH	5	0,6	3	0,5	1,5	3
Sensor de conductividad	5	0,6	3	0,5	1,5	3
Arduino mega	5	3	15	24	360	15
					662,33	634,86

Nota. Voltaje (V), Corriente (A), Potencia (W), tiempo (hora) Consumo (Wh/día) Demanda máxima (Wh/día)

Consumo 662,33 Wh/día a esto le se le aplica un 10% como margen de seguridad por lo tanto el consumo es de 728,563 Wh/día, teniendo en cuenta las pérdidas por rendimiento de la batería, toma un rendimiento de la batería en un 95%, y el de los conductores de 100%.

E.2 Datos del lugar donde se realizará la instalación

Figura 50.

Ubicación de la instalación

Inicio Como llegar Sistema de Coordenadas Convertidor País Estados Mapa Personalizado

Obtener Coordenadas GPS

GD (grados decimales)*

Latitud 7.062919

Longitud -73.0812023

Obtener Dirección

GMS (grados, minutos, segundos)*

Latitud N S 7 ° 3 ' 46.508 "

Longitud E O 73 ° 4 ' 52.328 "

Obtener Dirección

* Sistema Geodésico Mundial 1984 (WGS 84)

Calle 7, Zona Refrescante, 681004 Floridablanca, SAN, Colombia
 Latitud: 7.062919 | Longitud: -73.081202
 Altitud: 1285 metros

Floridablanca

Stadia Maps © OpenMapTiles © OpenStreetMap contributors

Nota: se obtiene que la latitud es 7.062919 y la longitud -73.0812023, Se toma los datos del IDEAM basado en los datos de la página <https://www.coordenadas-gps.com/>

La radiación más baja en este caso es:

$$(1) I=3500 \frac{Wh/m^2}{dia}$$

Para calcular los consumos medios diarios Lmd, está la siguiente expresión:

$$Lmd = \frac{Lmd,DC}{\eta_{bat} \cdot \eta_{con}}$$

Lmd : Consumo medio de energía diario.

Lmd, DC: Consumo medio de energía diario de las cargas en continua

η_{bat} : Rendimiento batería

η_{con} : Rendimientos conductores

$$Lmd = \frac{728,563 \frac{Wh}{\text{día}}}{0,95 * 1}$$

$$(2) Lmd = 766,908 \frac{Wh}{\text{día}}$$

O se puede calcular también:

$$QAh = \frac{Lmd}{Vbat}$$

$$QAh = \frac{766,908 \frac{Wh}{\text{día}}}{12V}$$

$$(3) QAh = 63,90 \frac{Ah}{\text{día}}$$

Cálculo de consumo total anual (Lt) y medio anual (Lma)

$$LT = Lmd * 365 \text{ días}$$

$$LT = 766,908 \frac{Wh}{\text{día}} * \frac{365 \text{ días}}{1 \text{ año}}$$

$$(4) LT = 279921,1 \frac{Wh}{\text{año}}$$

$$Lma = \frac{LT}{365 \text{ días}}$$

$$(5) Lma = 766,908 \frac{Wh}{\text{día}}$$

Para continuar el cálculo de paneles solares, se calcula el HSP con la siguiente expresion

$$HSP = \frac{I \frac{Wh/m^2}{\text{día}}}{IG \frac{W/m^2}{\text{día}}}$$

$$(6) HSP = 3.5 \text{ horas}$$

E.3 Dimensionado del generador fotovoltaico

Número total de módulos solares necesarios

$$(7) NT = \frac{Lmd}{Pmpp * HPScritico * PR}$$

L_{mdcrit} el consumo medio diario mensual para el mes crítico

P_{MPP} la potencia pico del módulo en condiciones estándar.

HPS_{crit} son las horas de sol pico del mes crítico.

PR el factor global de funcionamiento que varía entre 0.65 y 0.90. se utilizó 0.90 por defecto.

$$NT = \frac{766,908 \frac{Wh}{dia}}{150W * 3,5h * 0,9}$$

$$NT = 1,62$$

Se necesitan dos paneles de 150 W

E.4 Dimensionado del sistema de acumulación

Utilizando el criterio de Amperios-hora, la batería marcará la tensión del sistema. Se tiene el consumo de energía medio

$$QAh = \frac{766,908 \frac{Wh}{dia}}{12V}$$

$$(8) QAh = 63,90 \frac{Ah}{dia}$$

La corriente que debe generar el conjunto de paneles instalados en las condiciones de radiación del mes crítico es:

$$(9) I_{gfv, mpp} = \frac{QAh}{HPS_{crit}}$$

$$I_{gfv, mpp} = \frac{63,90 \frac{Ah}{dia}}{3,5 h}$$

$$I_{gfv, mpp} = 18,257A$$

$I_{gfv, mpp}$ es la corriente generada por los paneles solares, al dividir $I_{gfv, mpp}$ en la corriente unitaria ($I_{mod, mpp}$) de cada panel que en caso del panel de 150 W es 8,24 A, se obtienen los módulos conectados en paralelo:

$$(10) N_{\text{paralelo}} = \frac{I_{gf v, mpp}}{I_{mod, mpp}}$$

$$N_{\text{paralelo}} = \frac{18,257 A}{8,24}$$

$$N_{\text{paralelo}} = 2,21$$

E.5 Cálculo de las baterías necesarias

Parámetros tomados en cuenta para el cálculo de baterías

- Profundidad de Descarga Máxima Estacional (PD_{max,e}) = 70% = 0,7
- Profundidad de Descarga Máxima Diaria (PD_{max,d}) = 15% = 0,15
- Número de días de Autonomía (N) = 6

Se calcula la capacidad nominal necesaria de una batería en función de la profundidad de descarga estacional y diaria; se selecciona la mayor

Capacidad nominal de la batería:

Capacidad nominal de la batería en función de la descarga máxima diaria (C_{nd}):

$$(11) C_{nd}(Wh) = \frac{L_{md}}{P_{dmax,d} * F_{ct}}$$

$$C_{nd}(Wh) = \frac{766,908 \frac{Wh}{día}}{0,15 * 1}$$

$$C_{nd}(Wh) = 5112,72 Wh$$

$$(12) C_{nd}(Ah) = \frac{C_{nd}(Wh)}{V_{bat}}$$

$$C_{nd}(Ah) = \frac{5112,72 Wh}{12 V}$$

$$C_{nd}(Ah) = 426,3 Ah$$

Capacidad nominal de la batería en función de la descarga máxima estacional (C_{ne}):

$$(13) Cne(Wh) = \frac{Lmd \cdot N}{Pd_{max} \cdot \epsilon + Fct}$$

$$Cnd(Wh) = \frac{766,908 \frac{Wh}{día} * 6}{0,7 * 1}$$

$$Cnd(Wh) = 6573.49Wh$$

$$(14) Cne(Ah) = \frac{Cne(Wh)}{V_{bat}}$$

$$Cnd(Ah) = \frac{6573.49Wh}{12 V}$$

$$Cnd(Ah) = 547.79 Ah$$

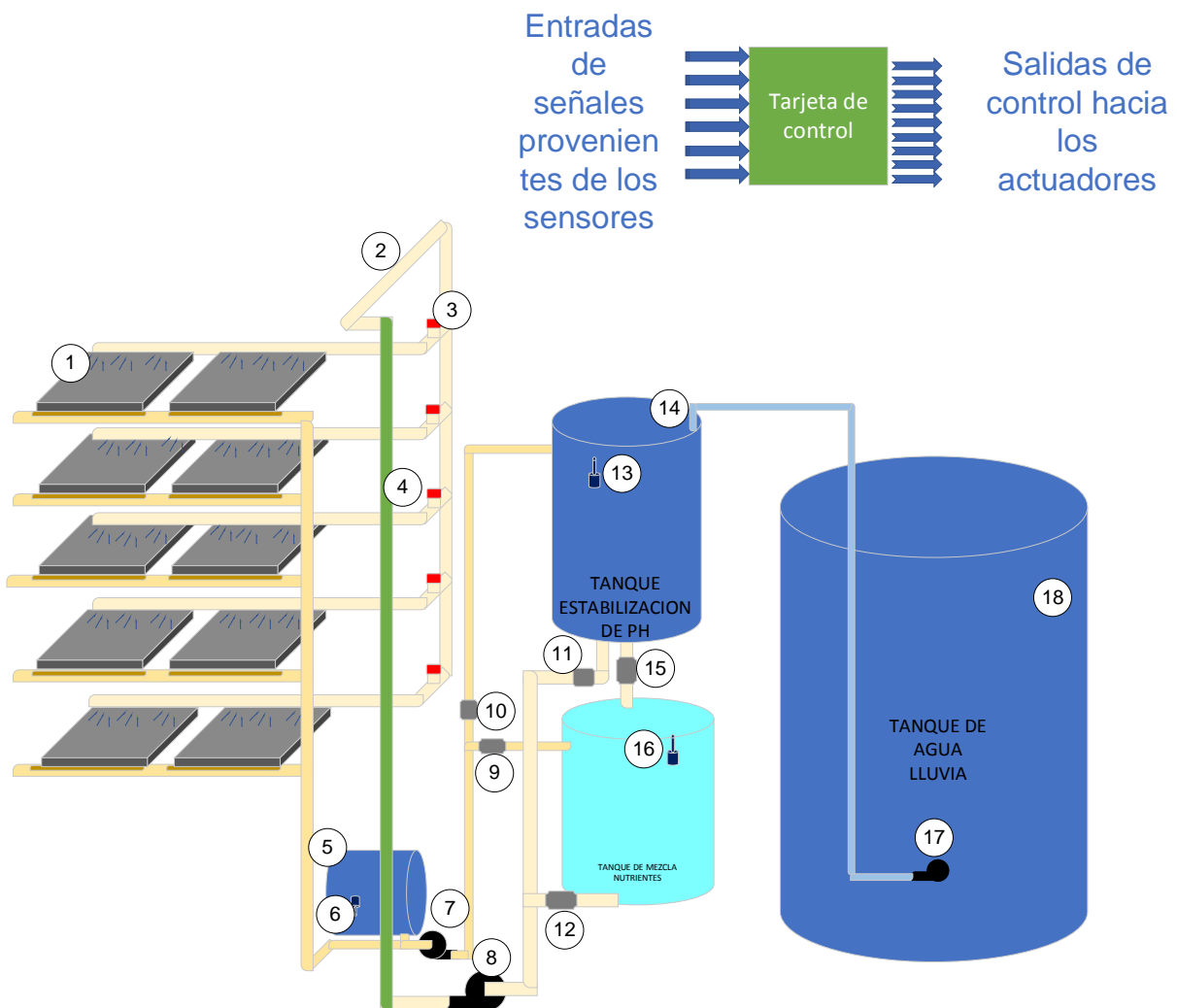
Se escoge la mayor, por lo tanto, la capacidad nominal de la batería sería como mínimo de C100=547.79Ah.

Apéndice E. Diseño al detalle

En el diseño al detalle se seleccionan todos los componentes que se van a utilizar para la construcción del Proyecto

Figura 51.

Subsistema de irrigación



F.1 Selección de bandejas

Para la selección de bandejas primero se establece el área de cultivo, se establece un área de cultivo de $0,125 \text{ m}^2$

Para la selección de las bandejas se tuvieron en cuenta parámetros como función, disponibilidad en el mercado, material, costo; finalmente se seleccionó la bandeja representada en la Figura 12.

Tabla 2.

Selección de bandejas

Bandeja (Material)	Ancho (cm)	Largo (cm)	Profundo(cm)
Externas	28	55	6
Internas	25	50	6

Para determinar el número de bandejas necesarias se parte del área de cultivo requerida en este caso son $1,25 \text{ m}^2$

1) *Cálculo área de cultivo en bandeja (Acb)*

$$a = 0,25 \text{ m}$$

$$b = 0,5 \text{ m}$$

$$Acb = a * ba = 0,25 \text{ m} * 0,5 \text{ m}$$

$$Acb = 0,125 \text{ m}^2$$

2) *Cálculo número de bandejas (#b) para obtener área total de cultivo (Ac)*

$$Ac = 1,25 \text{ m}^2$$

$$\#b = \frac{Ac}{Acb} = \frac{1,25 \text{ m}^2}{0,125 \text{ m}^2}$$

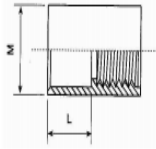
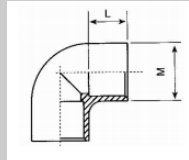
#b = 10 bandejas

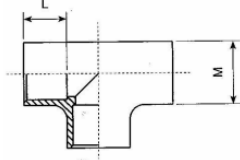
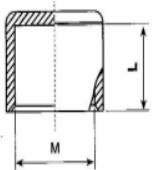
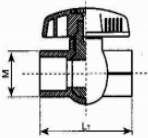




F.2 Selección de tubería

Para la selección de tubería se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros, resistencia al ambiente húmedo, disponibilidad en el mercado, facilidad de mecanizado, en base a esto se seleccionó tubería para agua ½ pulgada de diámetro, se requieren en total 35m. Por otro lado, la lista de componentes está a continuación.



Tabla 3.


Componentes y especificaciones




Componente	Especificaciones	Imagen
Bandeja Externa	<ul style="list-style-type: none"> Ancho 28 cm Largo 55 cm Profundidad 6 cm 	
Bandeja Interna	<ul style="list-style-type: none"> Ancho 25 cm Largo 50 cm Profundidad 6 cm 	
Tubería RDE-9 Tipo I Grado I Presión de trabajo 23° C 500 psi – 35.16 kg/cm2	<ul style="list-style-type: none"> Diámetro nominal 22mm – ½ pulg Referencia 1310916002 Diámetro exterior 22.34 mm - 0.840 pulg Espesor de pared min. 2.36 mm – 0.093 pulg Peso de metro 0.2 kg 	
Adaptador Hembra (Tubo)	<ul style="list-style-type: none"> Diámetro nominal 21mm – ½ pulg Referencia 2312100002 M mínimo 27.08 mm L mínimo 17.48 mm 	
Codo 90° (Tubo)	<ul style="list-style-type: none"> Diámetro nominal 21mm – ½ pulg Referencia 2312105702 M mínimo 27.08 mm L mínimo 17.48 mm 	


Componente	Especificaciones	Imagen
Tee sencilla (Tubo)	<ul style="list-style-type: none"> • Diámetro nominal 21 mm – ½ pulg • Referencia 2312115002 • M mínimo 27.08 mm • L mínimo 17.48 mm 	
Tapón	<ul style="list-style-type: none"> • Diámetro nominal 21 mm – ½ pulg • Referencia 2312120102 • M mínimo 27.08 mm • L mínimo 17.48 mm 	
Válvula de bola – soldada	<ul style="list-style-type: none"> • Diámetro nominal 21 mm – ½ pulg • Referencia 2312110102 • M mínimo 34.26 mm • L mínimo 78.69 mm 	
Manguera	<ul style="list-style-type: none"> • Metros total 2 m • Color verde 	
Tanque realimentación	<ul style="list-style-type: none"> • Color blanco • Capacidad 50 galones 	
Tanque de lluvia	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad 50 galones • Color azul 	
Tanque de estabilización de PH	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad 30 galones • Color azul 	

Componente	Especificaciones	Imagen
Tanque de solución nutritiva	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de 20 galones • Color blanco 	
Sensor de nivel de liquido	<ul style="list-style-type: none"> • Potencia de interruptor (max) 10 W • Tensión de conmutación (max) DC 100 V • Corriente de conmutación (max) 0,5 a • Tensión de ruptura (max) 40mmx16mm • Temperatura de operación 10 – 30 ° C • Corriente máxima de trasporte 10%-90% • Resistencia de contrato máximo 62mm x 20mm x 8mm • Temperatura nominal 30 – 125 °C 	
Bomba centrifuga	<ul style="list-style-type: none"> • Material plástico • Tamaño 8x5x6,5 cm • Color negro • Nivel de agua IP68 • Tensión nominal DC12V • Voltaje de servicio DCV dcdc12v • Corriente de funcionamiento 1050Ma±10% • Elevación 5 m ± 10% • Flujo 800L/H ± 10% • Ruido 38 dB en 0,5 M • Rango de temperatura del fluido 0-100 grados Celsius 	
Electroválvula	<ul style="list-style-type: none"> • Medio de funcionamiento: aire, agua. • Voltaje de operación · 12VDC • Modo de operación: Acción directa • Tipo de accionamiento: Normalmente cerrada • Diámetro nominal 8 mm • Tamaño del puerto G1/2" • Presión salida de agua 0Mpa~0.2Mpa 	

Componente	Especificaciones	Imagen
Bomba tanque agua lluvia	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura de operación $-5^{\circ}\text{C}\sim+60^{\circ}\text{C}$ • Tipo: Bomba de agua de diafragma • Material plástico de ingeniería • Voltaje 12V DC • Flujo máximo 3,51 • Peso neto 670g/23,6 oz 	
Sensor de temperatura prueba líquida	<ul style="list-style-type: none"> • Rango de temperatura: -55°C a 125°C • Resolución de temperatura: $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$. • Comunicación serial: 9-12Bits. • Voltaje de alimentación: 5V. • Interfaz: Digital. 3 pines JST. • Tamaño: 2.1cm x 1.0cm x 1.1cm • Peso: 5 gr • Precisión: $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ de -10°C a $+85^{\circ}\text{C}$. • Energía de alimentación: 3.0 a 5.5V 	
Sensor de temperatura y humedad	<ul style="list-style-type: none"> • Sensor de temperatura 100K 1% termistor • Sensor de humedad HR202 resistencia a la humedad • Voltaje de operación 3V~5.5V • Corriente de operación 0.2mA~0.5mA • Rango Humedad 20%~95% de Humedad Relativa • Rango temperatura $0^{\circ}\text{C}\sim50^{\circ}\text{C}$ • Resolución Humedad 1RH / 8 bits • Resolución Temperatura 1°C / 8 bits • Precisión de medición de humedad 0.5%RH • Precisión de medición temperatura 2°C • Tiempo de respuesta < 5 segundos 	
Extractor	<ul style="list-style-type: none"> • Tasa de voltaje 12 VDC • Voltaje de operación 7.0-13.8 VDC • Entrada de corriente 0.90(MAX. 1.35) A • Entrada de Potencia 10.80(MAX. 16.20) W • Velocidad 5700 R.P.M. (REF.) • Flujo máximo de aire (a presión estática nula) 2.270(MIN. 2.040) m³/min 	

Componente	Especificaciones	Imagen
Ventilador	<ul style="list-style-type: none"> • 80.16(MIN. 72.04) CFM • Presión máxima de aire (a flujo de aire nulo) 20.63(MIN. 16.71) mmH₂O • 0.812(MIN. 0.658) inchH₂O • Ruido acústico (AVG) 52.5(MAX. 56.5) dB-A • Tipo de aislamiento UL: clase A • Resistencia de aislamiento 10 MG OHM MIN. A 500 VDC (Entre marco y terminal) • Resistencia dieléctrica 5 Ma MAX. A 500 VAC 60 Hz un minuto (Entre marco y terminal) • Cubierta externa Tipo abierto • Esperanza de vida 70000 horas en continua operación a 40 C con 15-65%RH • Rotación En sentido horario • Corriente durante apagado La corriente se apagará al bloquear el rotor • Cable conductor UL 1007 -F- AWG #24 Cable negro negativo (-) Cable rojo positivo (+) • Nombre del producto 4715KL-04W-B56 • Especificaciones 120 MM × 120 MM × 38 MM • Voltaje de entrada DC12V • Rango de voltaje de funcionamiento DC8V. -12,6 V • Velocidad del Motor 3600 rev/min • Corriente 1.30^a • Potencia de entrada 15,6 W • Flujo de aire 3,68 m³/min • Dirección de rotación: mira desde el rotor, dirección giratoria contra las agujas del reloj • Intervalo de presión 110 Pa • Estructura del rodamiento: Mantenimiento para rodamiento de doble bola NMB • Vida útil: 25 ° C cuando la esperanza de vida es de 50.000 horas L10 	

Componente	Especificaciones	Imagen
	<ul style="list-style-type: none"> • Clase de aislamiento: clase E • Salida: la placa base estándar de cuatro pines admite PWM • Índice de ruido: 50 • Rango de temperatura: 10 a 70 ° C 	
Resistencia térmica	<ul style="list-style-type: none"> • Diámetro: 15 Cm • Potencia de operación 60 W • Tensión de operación: 12 V • Corriente de operación: 5^a 	
Humidificador	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre de la marca: PovKeever • Capacidad: <1L • Método de humidificación: Descarga de rociado de vapor • Ruido: <36dB • Tipo: Humidificador ultrasónico • Sistema protección: apagada falta de agua • Función de temporización: No • Clasificación: Humidificación • Cantidad Mist Outlet: Uno • Humidificación capacidad: 30 ml/h • Control de humedad: Mecánica • Potencia 2W • Voltaje 5V • Tamaño: 5x5x2cm 	
Bomba para humidificador	<ul style="list-style-type: none"> • Color negro • Tipo sumergible • Voltaje de entrada DC 12V • Flujo 400L/H • Potencia 36 W • Cabeza 5m • Tamaño: 88x30mm • Diámetro de salida: 18mm • 	

Componente	Especificaciones	Imagen
Sensor de PH	<ul style="list-style-type: none"> • Marca: DFROBOT ITEM #SEN0161 • Voltaje de alimentación: 5VDC • Rango de medición: 0 - 14PH • Temperatura de medición: 0 - 60 °C • Precisión: ± 0.1pH (25 °C) • Tiempo de respuesta: ≤ 1min • Tamaño del módulo: 43 x 32 mm • Tipo de conector del sensor: Conector BNC • 	
Sensor de conductividad eléctrica de liquido (concentración de sales)	<ul style="list-style-type: none"> • Marca: DFROBOT ITEM #DFR0300 • Voltaje de funcionamiento: 5 VDC • Rango de medición: 1 ms/cm - 20 ms/cm • Temperatura de funcionamiento: 5 - 40 °C • Precisión: ± 10% FS (usando Arduino 10 bits ADC) • Longitud del cable del electrodo: Aprox. 60 cm • Sensor de temperatura: DS18B20 (resistente al agua) 	
Dispersador	<ul style="list-style-type: none"> • Material: Acero inoxidable 201 + acrílico + ABS + núcleo de cerámica DFROBOT ITEM #DFR0300 • Tamaño: 20,2x6,3 cm/7,9x2,4" • Batería 6 pilas AAA • Modo de funcionamiento: Con la inducción de gravedad inteligente, puede funcionar al voltear; iluminación LED • Aplicación: Molienda y trituración • 	
Motor de mezcla	<ul style="list-style-type: none"> • Material: plástico • Tamaño: 8x5x6,5 cm • Color negro • Nivel de agua: IP68 • Tensión nominal: DC12V • Voltaje de servicio: DCV dc/dc12v • Corriente de funcionamiento: 1050Ma±10% • Elevación 5 m ± 10% 	

Componente	Especificaciones	Imagen
	<ul style="list-style-type: none">• Flujo: 800L/H \pm 10%• Ruido 38 dB en 0,5 M• Rango de temperatura del fluido 0-100 grados Celsius	

Apéndice F. Manual de mantenimiento**Figura 52.**

Sistema hidropónico para cultivo experimental de germinados



Antes de iniciar el un cultivo se deben realizar labores de limpieza interna, externa, instalación y alistamiento del sistema.

G.1 Limpieza interna de invernadero, superficies interiores

1. Esterilice una toalla, una esponja y un cepillo (puede hervir 1 /2 L agua)
2. Agregue a 1 L de agua 60 gramos de jabón en polvo (Cualquier presentación)

3. Utilice la esponjilla para limpiar las superficies planas y toda la tubería interna, las esquinas pueden utilizar el cepillo.

4. Una vez todo este enjabonado utilice la toalla esterilizada con el agua, reposada en la que fue hervida, hasta retirar la totalidad del jabón.

5. Lave las bandejas una por una, tanto su interior como su exterior con agua y jabón.

6. Limpiar con la brocha en sensor de temperatura y humedad, también el ventilador, la resistencia y el sistema de humidificación.

7. Antes de que las bandejas estén en posición, con un atomizador aplique alcohol al 90%, aplique por todas las superficies interiores, después aplíquele a cada bandeja. por toda su superficie alcohol al 90%.

G.2 Limpieza externa Invernadero

1. Limpiar con agua y jabón las superficies externas tanto de la cabina como de los tanques y tubería, omitiendo la caja del control.

2. Utilizar una brocha para limpiar el polvo de la caja de control (no utilizar agua)

G.3 Mantenimiento de sistema de irrigación

1. Retirar tanques, lavar con abundante agua y jabón.

2. Inyectar agua conectada a la red local para limpiar el interior de las tuberías.

3. Limpiar los actuadores con una brocha, los que tienen partes sumergidas, pueden ser lavados con agua y jabón.

G.4 Instalación de la aplicación

1. En su dispositivo Android entre a play-store y descargue una aplicación para instalar archivos en formato apk.

2. Una vez instalada dicha aplicación instale la aplicación de control hidropónico.

3. Abra la aplicación.

G.5 Enlace vía bluetooth

1. Dirigirse a la caja de control y encender el dispositivo

2. En el dispositivo Android habilitar si esta se encuentra deshabilitada, de lo contrario omitir este paso.

3. Abra la aplicación de control hidropónico, diríjase al icono de bluetooth y escoja, HC6

Figura 53.

Interfaz de la aplicación para celular









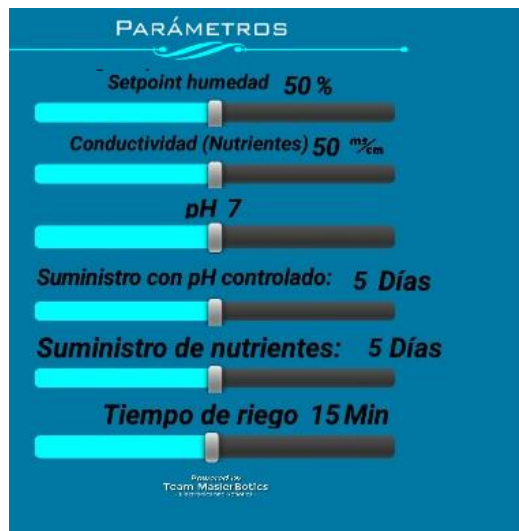
Botón	Función	Simbolo de la app
Suprimir parámetros	Eliminar los parámetros para dejar el sistema en modo neutral	
Enviar parámetros	Enviar los nuevos parámetros, e indicar el inicio del nuevo cultivo en modo automático	
Ph	Permite activar el sistema de irrigación que proviene desde el tanque de solución con ph controlado. (también sirve para indicar el punto de inicio de la irrigación)	
Nutrientes	Permite activar el sistema de irrigación que proviene desde el tanque de solución con nutrientes controlado.	
Extractor	Permite al usuario activar el extractor independientemente si está en modo manual o automático	
Humidificador	Permite al usuario activar el sistema de humidificación de ambiente	

Figura 54.

Panel de parámetros



En la primera barra se puede indicar el punto al cual desea la humedad en el cultivo, tener en cuenta que solo se cuenta con sistema de humidificación y no de deshumidificación por lo tanto el límite mínimo de humedad es dependiente de la humedad fuera del invernadero. La segunda bajando es la barra donde se puede escoger el set point de concentración de nutrientes en la solución de riego. La tercera se puede escoger el pH que desea en la solución de riego. La cuarta es el tiempo que se desea regar al día del tanque de solución con nutrientes. La quinta es el tiempo que se desea regar al día del tanque de solución con pH controlado. Y por último es el tiempo que se desea este activado el riego cada día.

G.6 Uso del sistema en modo automático

Primero debe pasar la fase oscura donde se busca que la raíz crezca formando una cama de raíces, una vez haya culminado dicha fase, se descubren las bandejas y se cierra el invernadero, se enciende el sistema, y se enlaza vía bluetooth al dispositivo que previamente debe instalar el app de control y de configuración.

Una vez este enlazado vía bluetooth se puede comprobar, encendiendo el extractor, después se presiona el botón Suprimir parámetros para eliminar los parámetros y se colocan los nuevos parámetros para el sistema, luego se le oprime el botón de enviar parámetros y así, se consigue que el sistema funcione en forma automática.