



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

**“DISEÑO Y CONTROL DE AMBIENTE INTERNO DE UN
VIVERO MODULAR PARA CULTIVO EN INTERIORES
DE PLANTAS COMESTIBLES.”**

INFORME DE MATERIA INTEGRADORA

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO EN ELECTRONICA Y TELECOMUNICACIONES

LICENCIADO EN REDES Y SISTEMAS OPERATIVOS

HUGO ERNESTO SAFADI FIGUEROA

LUIS ENRIQUE LUCIO PARRALES

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2016

AGRADECIMIENTOS

Nuestros más sinceros agradecimientos al “Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación de Sistemas Computacionales” (CIDIS), su director Ph.D. Boris Vintimilla y todos los integrantes del centro.

A nuestro tutor Ph.D. Dennis Romero, por darnos la oportunidad de ser parte de la materia integradora y su dedicación a nuestro proyecto.

A nuestros padres y familiares por haber sido un pilar fundamental durante toda nuestra vida académica.

TRIBUNAL DE EVALUACIÓN

.....
Ph.D. Dennis Romero López

PROFESOR EVALUADOR

.....
Ph.D. Boris Vintimilla Burgos

PROFESOR EVALUADOR

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, nos corresponde exclusivamente; y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

.....
Luis Enrique Lucio Parrales

.....
Hugo Ernesto Safadi Figueroa

RESUMEN

El presente proyecto se basa en el diseño e implementación de un invernadero hidropónico automatizado para uso en interiores. La expansión acelerada de monocultivos debido al aumento de la demanda alimentaria en la población implica un mayor uso de agroquímicos para combatir las plagas y enfermedades que se contraen más fácilmente en este tipo de cultivos. Hoy en día gran parte de la población en las ciudades no tiene acceso a productos vegetales orgánicos debido a su escasez y alto costo. La solución planteada permite tener un sistema fácil de implementar, limpio y seguro para el cultivo de plantas vegetales, ornamentales y medicinales. Empleando la hidroponía se puede llegar cultivar plantas con menor riesgo de contraer enfermedades o bacterias que afectan su desarrollo, obteniendo productos alimenticios de mejor calidad. La automatización del sistema permite tener un control de las variables ambientales dentro del invernadero y su monitoreo remoto a través de una aplicación web.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	ii
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN	iii
DECLARACIÓN EXPRESA.....	iv
RESUMEN.....	v
ÍNDICE GENERAL.....	vi
CAPÍTULO 1	1
1. SITUACION ACTUAL DE LOS CULTIVOS EN HOGARES.....	1
1.1 Expansión de las áreas urbanas	1
1.2 Monocultivos.....	2
1.3 Prácticas de cultivo casero	3
1.4 Cambio de vida en personas en grandes ciudades.....	3
1.5 Productos Orgánicos y Agroecológicos en el Ecuador.....	4
1.6 Dificultad de la Implementación.....	7
CAPÍTULO 2.....	8
2. DISEÑO E IMPLEMENTACION DE LA SOLUCION.	8
2.1 Sistema Hidropónico.....	10
2.2 Implementación del sistema hidropónico	14
2.3 Descripción del sistema electrónico y desarrollo del hardware	21
2.3 Sensores y dispositivos actuadores	21
2.4 Automatización y control del sistema	22
2.5 Diseño y análisis de la unidad de control	24
2.6 Construcción del prototipo	27
2.6.1 Primera Fase: Construcción del sistema hidropónico	27
2.6.2 Segunda Fase: Construcción de la estructura	28
2.6.3 Tercera Fase: Acoplamiento del sistema electrónico.....	28
2.6.4 Cuarta Fase: Detalles finales y presentación del prototipo .	30
2.6.5 Fases Adicionales	31

CAPÍTULO 3.....	32
3. PRUEBAS Y RESULTADOS.....	32
3.1 Transmisión y recepción de datos.....	32
3.2 Automatización del sistema	33
3.3 Seguimiento del proceso de crecimiento de las plantas dentro del ambiente controlado	34
3.4 Pruebas con nutrientes e iluminación	35
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	38
BIBLIOGRAFÍA.....	40

CAPÍTULO 1

1. SITUACION ACTUAL DE LOS CULTIVOS EN HOGARES

1.1 Expansión de las áreas urbanas

Los modelos de crecimiento urbano contemplan una clasificación de los terrenos dependiendo de las actividades económicas y sociales de la población, dividiéndose así en zonas comerciales, industriales, residenciales o de recreación. En las últimas décadas, el marcado crecimiento de la población urbana ha provocado que este modelo se extienda desorganizadamente sin planificación en áreas rurales, donde los suelos son reservados para actividades agropecuarias, y en los cuales es inconveniente urbanizar. Las ocupaciones, principalmente residenciales e industriales que se extienden en entornos rurales ubicados en la periferia de las ciudades está ocasionando la pérdida de terrenos productivos destinados para el cultivo [1]. El fenómeno que se está desencadenado es el aumento de la demanda de recursos y la disminución sostenida de la capacidad de producción, de abastecimiento y distribución de productos alimenticios.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) plantea métodos de planificación para tener un sistema de abastecimiento y distribución de alimentos eficiente y eficaz en ciudades donde recalcan la importancia de la agricultura en las urbes, lo que implica la producción local de alimentos, considerando que se debe minimizar su impacto ambiental y social. Debido a que la agricultura en áreas de mayor densidad poblacional tiene un mayor riesgo de contaminación por el empleo inadecuado de químicos y desechos sólidos o líquidos [2], el objetivo es mejorar la seguridad alimentaria, es decir que cada vez más personas tengan acceso permanente a cantidades suficientes de alimentos seguros y nutritivos.

Según la FAO, es muy probable que el crecimiento de las ciudades arrase con tierras productivas ejerciendo una mayor demanda de producción de alimentos y a su vez generando un alza de costos de las actividades agropecuarias. Para

ciudades donde la infraestructura de abastecimiento alimenticio como mercados, transporte y almacenes se encuentra saturado, la situación es aún más crítica [2].

1.2 Monocultivos

La agricultura industrial es una actividad que tiene el objetivo de incrementar la producción de alimentos y satisfacer la creciente demanda de la población. Actualmente representa la principal fuente alimentaria en la mayoría de países industrializados y en vías de desarrollo, sin embargo, se ha demostrado que esta práctica a pesar de aumentar significativamente la productividad, es insostenible en el tiempo, debido al empleo en grandes cantidades de pesticidas, fertilizantes inorgánicos, agua y un uso intensivo de maquinaria y recursos humanos que logren cubrir grandes áreas de cultivo [3]. El uso extendido de monocultivos pone en peligro la biodiversidad, erosionando el suelo, alterando los ciclos bioquímicos y provocando contaminación por despidos de gases de efecto invernadero.

Las pérdidas de hectáreas de suelo debido a la agricultura en el Ecuador, ha ido incrementándose, en el último censo realizado por la INEC (Figura 1.1), se muestra el porcentaje de pérdidas en cultivos permanentes y en cultivos transitorios debido a plagas y enfermedades [4].

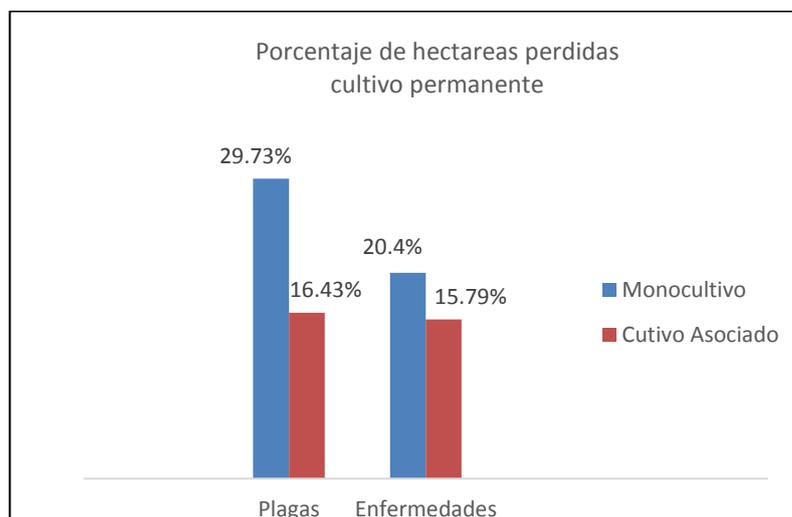


Figura 1.1: Superficie perdida en cultivos permanentes (Porcentaje en hectáreas) en el año 2013.

1.3 Prácticas de cultivo casero

El cultivo casero es una alternativa de producción local de alimentos con la ventaja de que las personas toman el control del proceso en el crecimiento de las plantas y la calidad del producto final. La mayoría de hogares que cultivan sus propios alimentos emplean prácticas convencionales como la construcción de invernaderos o huertos con sistemas de cultivo tradicionales, sin embargo, existen otros tipos de cultivo que cada vez se emplean más, como la hidroponía, que reemplaza el uso de tierra fértil por la aplicación de agua con una solución de nutrientes directamente a las raíces de las plantas. A pesar que el cultivo de plantas en hogares es una práctica común y extendida en la población, sigue siendo un foco insuficiente para el abastecimiento alimenticio de familias.

1.4 Cambio de vida en personas en grandes ciudades.

Como consecuencia de la expansión urbana se presentan también cambios en el estilo de vida de los ciudadanos, las personas han cambiado sus actividades diarias, responsabilidades u obligaciones como trabajos o estudios y las actividades sociales toman la mayor parte del tiempo, dejando menor espacio a actividades recreativas o pasatiempos. La jardinería es una de las actividades que van perdiendo popularidad entre las familias y personas en general, obtener frutas y verduras para consumo personal es una actividad muy poco frecuente en la actualidad.

Esta práctica se ve afectada por:

- Poco interés en realizar cultivos por el grado de responsabilidad que representa. Las personas usan la mayor parte de su tiempo en otras actividades y no tienen la disponibilidad para encargarse de los cultivos y sus cuidados.
- Desinterés sobre jardinería en hogares
- El desconocimiento sobre cultivos y las dificultades que presenta la jardinería.
- Pocos lugares propicios para el cultivo dentro del hogar, muchas casas no cuentan con el espacio disponible para la siembra de plantas.

- La facilidad de adquirir alimentos en supermercados y tiendas cerca del hogar.

En supermercados por ejemplo se puede obtener una gran variedad de frutas y legumbres fácilmente y a precios moderados. El problema que presenta el consumo de estos alimentos es la baja tasa de nutrientes que realmente aportan, no es un producto fresco ya que algunos son traídos desde lugares lejanos tras horas de viaje, han pasado por pesticidas y químicos para prevenir la infección de plagas y hongos y además son parte de monocultivos que destruyen las propiedades de los suelos, transformándolos posteriormente en sitios áridos no aptos para la agricultura.

Por la necesidad de las familias en adquirir productos más frescos y libre de pesticidas, existen en el mercado productos con certificados orgánicos, que garantizan un producto libre de químicos artificiales y dañinos, con una forma de cultivo natural. Sin embargo, las personas que optan por productos orgánicos deben pagar una mayor cantidad de dinero, volviéndolo inasequible para otras familias y transformando el consumo de productos libres de pesticidas en una práctica exclusiva.

1.5 Productos Orgánicos y Agroecológicos en el Ecuador

Los productos orgánicos son aquellos productos (vegetales o animales) que han sido obtenidos sin el uso de sustancias químicas u organismos genéticamente modificados durante todo su proceso de desarrollo y obtención final del producto. Por otro lado, los productos Agroecológicos son los que provienen de prácticas agrícolas que preservan los recursos naturales, no utilizan químicos peligrosos y son obtenidos mediante sistemas de cultivo diversificados, que además respetan el conocimiento local y fomenta la identidad cultural campesina.

En una encuesta realizada a los ciudadanos ecuatorianos sobre su conocimiento acerca de estos productos, el resultado (Figura 1.2) mostró un índice muy bajo de conocimiento sobre cultivos orgánicos y agroecológicos. Guayaquil es una de las ciudades principales con el más bajo índice y la región Sierra donde existe un mayor conocimiento acerca de estos productos.

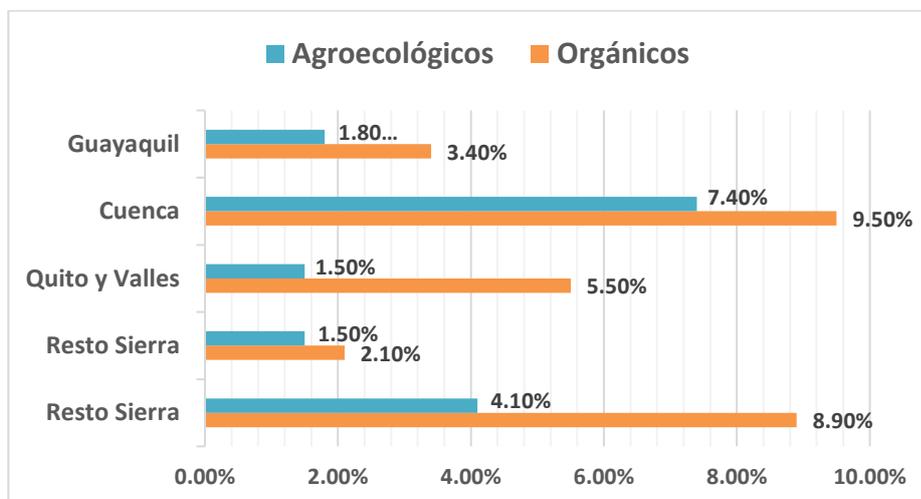


Figura 1.2: Estadística de personas con conocimiento en productos orgánicos y agroecológicos [5].

Otra encuesta (Figura 1.3) mostró que, si bien la práctica de consumo de alimentos orgánicos o agroecológicos es mayor en las familias de un ingreso alto y se reduce en familias con ingreso medio y bajos, existe un interés en consumir productos orgánicos o agroecológicos. La Figura 1.4 muestra los resultados obtenidos según la ciudad.

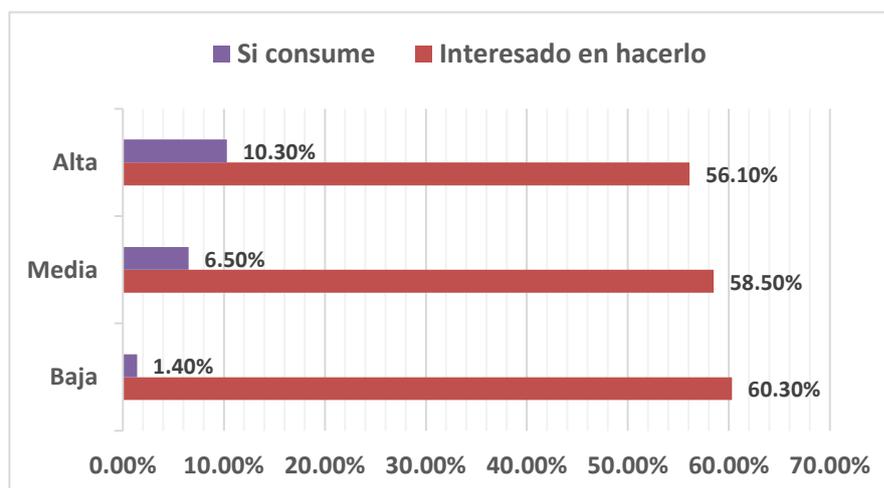


Figura 1.3: Estadísticas de personas que consumen o tiene interés en consumir productos orgánicos o agroecológicos según su nivel socioeconómico [5].

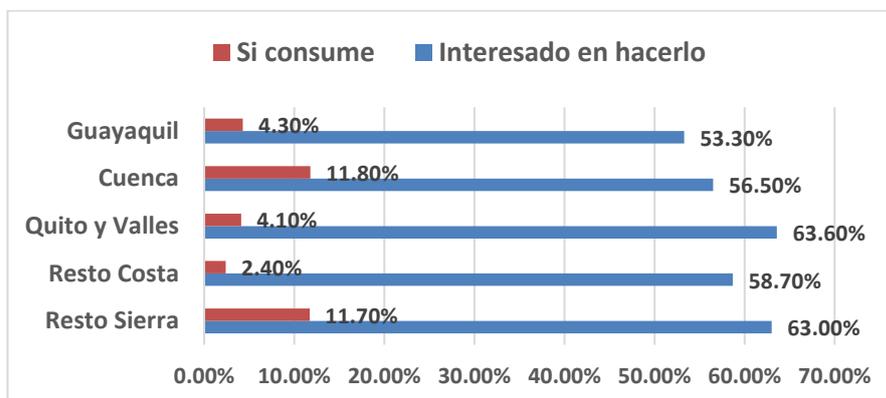


Figura 1.4: Estadísticas de personas que consume o tiene interés de consumir productos Orgánicos o Agroecológicos según la ciudad [5].

Los productos orgánicos, según las encuestas son obtenidos principalmente en supermercados y mercados del país (Figura 1.5). Una de las principales razones por las que las personas pierden interés en adquirir estos productos (Figura 1.6) es que no siempre existen supermercados o mercados en cercanía de los hogares, que les permita comprar y elegir fácilmente sus alimentos. Otra de las principales razones es la gran diferencia de precio entre frutas y vegetales con sello orgánico o agroecológico con otros productos comunes, el precio se eleva considerablemente, valiendo entre cuatro a cinco veces más.

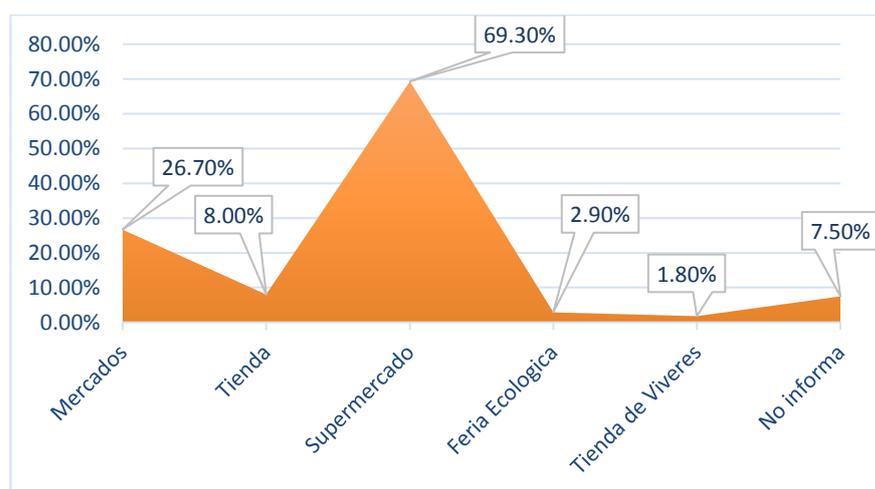


Figura 1.5: Estadística de personas que consumen o tienen interés en consumir productos orgánicos o agroecológicos según la ciudad [5].

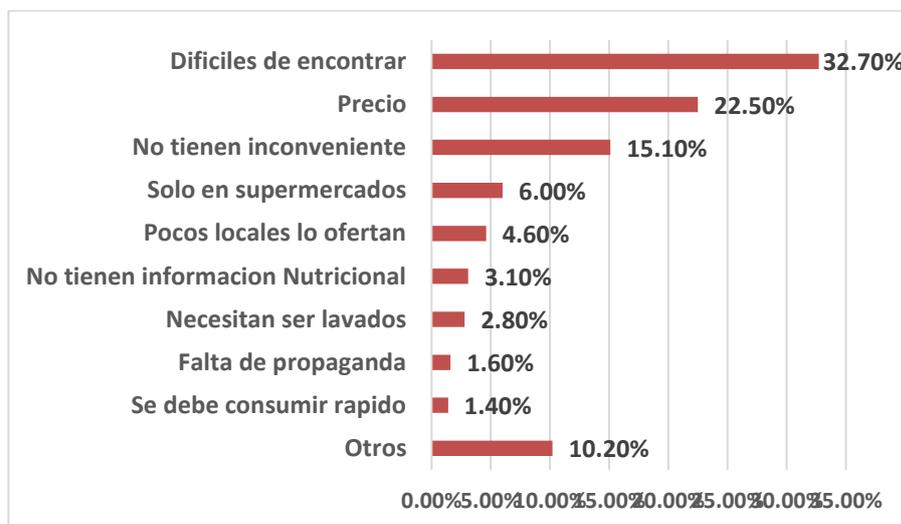


Figura 1.6: Estadística de personas que consumen o tienen interés en consumir productos orgánicos o agroecológicos según la ciudad [5].

1.6 Dificultad de la Implementación

Si bien se mostró que las personas están muy abiertas y positivas en adquirir productos de origen orgánico o agroecológico, no todas están dispuestas a obtenerlos por medio de cultivo casero. La hidroponía surge como una solución para cultivos de hogar por sus beneficios sobre el cultivo tradicional.

Sin embargo, no todas las personas están capacitadas o tienen el conocimiento necesario para construir, mantener o cuidar un sistema hidropónico. Distintos sistemas para gente aficionada se venden a precios muy elevados, que además pueden ocupar espacio necesario para otros usos.

Para incentivar el cultivo dentro del hogar con poco conocimiento en cultivos hidropónicos, se debe combinar este sistema de cultivo con un sistema de invernadero inteligente con características modulares, pequeño, estético para hogares y con tecnología capaz de crear un microclima controlado. Esto permitiría aumentar la eficiencia en el crecimiento del cultivo y obtener productos orgánicos de muy alta calidad para el consumo familiar. Con la correcta implementación del microclima en el cultivo hidropónico, las plantas crecerán rápidamente y darán frutos de alta calidad. Las plantas podrían incluso dar frutos durante la mayor parte del año.

CAPÍTULO 2

2. DISEÑO E IMPLEMENTACION DE LA SOLUCION.

En base al estudio sobre los problemas y las dificultades que se presenta al practicar el cultivo de frutas y verduras en los hogares, hemos analizado los requerimientos que nuestra solución debe cumplir para satisfacer las necesidades y solucionar los problemas planteados. Nuestra solución debe cumplir con los siguientes puntos principales para volverse un producto funcional tanto para hogares como oficinas:

- **Método de cultivo para interiores**

Una de las mayores dificultades al practicar la jardinería es el poco espacio disponible para la siembra. Las personas gastan grandes cantidades de dinero en adecuar un área para ser usada en cultivos, o en instalar sistemas de cultivo para interiores que ocupan mucho espacio y requieren reestructuración de la fachada para conexiones eléctricas y tuberías.

La gran flexibilidad que presenta la hidroponía es que este permite tener un área apta para el cultivo sin necesidad de terreno con tierra fértil. Puede ser usado en exteriores, viveros, sótanos y demás espacios en interiores. Como característica adicional el sistema no debe ser estático, para facilitar el traslado y evitar los problemas de instalación que presenta la hidroponía, como tuberías y conexiones eléctricas.

- **Apto para una gran variedad de plantas medicinales, frutales, ornamentales o vegetales**

El cultivo en interiores se ve afectado principalmente por no satisfacer las necesidades que requieren las plantas, la luz solar, la temperatura y la humedad afectan gravemente el crecimiento de estas. Además, la poca circulación de aire, alta humedad y temperatura cálida presente en el interior de los hogares facilita la aparición de hongos, plagas e insectos parásitos para las plantas.

Por lo que nuestra solución debe crear un microclima y medio hidropónico adecuado para las plantas sin limitarse al tamaño de estas, ni sus requerimientos ambientales, ni a un solo tipo de planta (frutal, vegetal, ornamental, entre otros).

- **Sustentable, ecológico y orgánico**

La solución no debe causar un impacto en el medio ambiente, por medio de la optimización de recursos como el agua, el uso de materiales locales y reciclados. Además, permitir un cultivo natural sin uso de químicos artificiales dañinos para el ambiente y el ser humano.

Las frutas y vegetales cosechados deben ser orgánicos y garantizar la calidad nutricional y el sabor natural de estas.

- **Autónomo y sencillo de usar**

La dificultad que presenta el mantenimiento del cultivo hidropónico, el riego frecuente y cumplir con los parámetros ideales de luz y temperatura es el desafío más grande que las personas deben enfrentar al usar un método de cultivo hidropónico en hogares.

Este trabajo plantea un sistema autónomo que realiza tareas de cuidado y mantenimiento, para lograr el desarrollo ideal de las plantas, sin ninguna o muy poca intervención de las personas. El sistema será capaz de crear un ambiente adecuado por medio del control de factores determinantes para el crecimiento de la planta como la temperatura, la humedad y la luminosidad. Además de automatizar el riego diario que necesitan las plantas.

- **Estético para interiores**

La mayoría de sistemas hidropónicos en la actualidad no son estéticos, son diseñados para ocupar grandes espacios o estar dentro de invernaderos de gran escala. Por lo tanto, el sistema debe tener un tamaño adecuado para interiores, móvil y que no perjudique la estética interior de la casa u oficina.

- **Económico**

El producto es desarrollado con la idea de satisfacer un mercado de clase media y alta, además de evitar los gastos innecesarios en el mantenimiento

del sistema, en el consumo de servicios básicos y evitar el desperdicio de agua.

- **Materiales locales y con bajo o nulo daño ambiental**

Nuestra solución está enfocada en usar productos reciclados y de fabricación local puesto que también se beneficiaría el desarrollo de la economía regional, también se evitarían las demoras y los gastos de conseguir productos importados. Por lo tanto, usar componentes de gran disponibilidad, reduciendo costos y facilitando la adquisición de estos para los usuarios

- **Mantenimiento sencillo**

Otra dificultad de los sistemas hidropónicos es el mantenimiento que necesitan, nos enfocamos en crear un producto de mantenimiento sencillo y de poca frecuencia de intervención humana

2.1 Sistema Hidropónico

La hidroponía es un subconjunto de la hidroculutura, el término viene del latín y se traduce como trabajo en agua. La hidroponía es el método de cultivo para plantas por medio del uso de soluciones nutritivas disueltas en agua, ya sea en contacto directo de las raíces por medio de una corriente de agua o por un ambiente altamente húmedo sin el uso de tierra de sembrado.

La descomposición de los residuos biológicos en la tierra se transforma en materia orgánica compuesta de nutrientes básicos, al entrar en contacto con el agua estos nutrientes son disueltos en la tierra y absorbidos por las raíces de las plantas. Esta dieta balanceada que necesitan las plantas tiene que estar en perfecto equilibrio y estar siempre a disposición de las plantas, este problema se presenta frecuentemente en el cultivo tradicional. La Hidroponía facilita este proceso puesto que las raíces son alimentadas directamente por nutrientes disueltos en el agua, el proceso estimula el crecimiento idóneo teniendo como resultado raíces más pequeñas (Figura 2.1), crecimiento más rápido, mayor productividad y frutos y verduras orgánicas con mejor sabor y mayor valor nutricional [13].

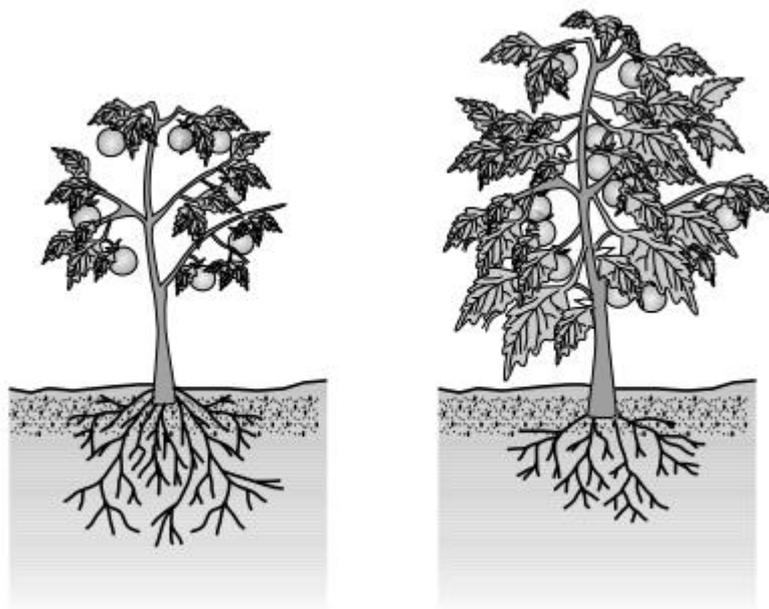


Figura 2.1: Las plantas hidropónicas presentan raíces más pequeñas y producen más frutos.

La hidroponía como medio de cultivo en hogares empezó en 1950 de manera muy simple, usando agua cargada de nutrientes con piedras de río. Desde ahí se ha ido desarrollando hasta la actualidad donde se cuenta con varias técnicas de cultivo hidropónico las cuales varían según el medio de cultivo, la forma de riego, los implementos utilizados, etc. Entre los más comunes están Nutrient Field Technique (NTF), Ebb and Flow, Vertical, Aeroponics, Drip y Raft. .

La hidroponía no solo ha sido implementada en soluciones para hogar, al ser un método de cultivo muy versátil es aplicado en zonas con climas adversos, suelos infértiles o ambientes inertes. Se ha aplicado exitosamente en regiones desérticas de Perú, lugares fríos y varios estudios de aplicación por la NASA para el cultivo de lechugas y frutas en lugares inertes como el espacio como se presenta en la Figura 2.2. Por lo tanto, lo consideramos una solución idónea en cultivos tanto para hogares como oficinas.

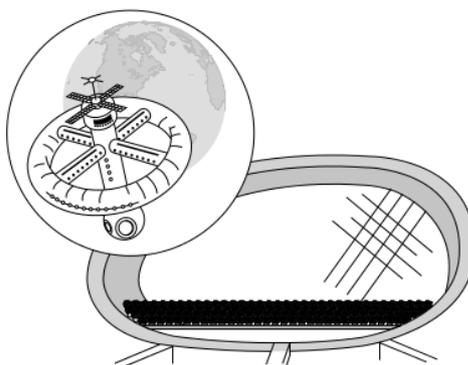


Figura 2.2: La NASA desarrolla tecnologías e investigaciones en base al cultivo hidropónico en el espacio.

Sistema Ebb and Flow

Es un método que es también conocido como “inundar y drenar”, este método permite el crecimiento de una gran cantidad de plantas y el uso de varios sustratos de cultivo. Es el método preferido por aficionados a la hidroponía por ser flexible, económico y sencilla. Permite una mayor variedad de plantas, a diferencia de otros métodos como Raft que solo es compatible con plantas vegetales pequeñas. Es preferido para cultivar plantas de hasta un metro y medio, comúnmente tomate o frejoles. El funcionamiento de este sistema se lo puede apreciar en la Figura 2.3

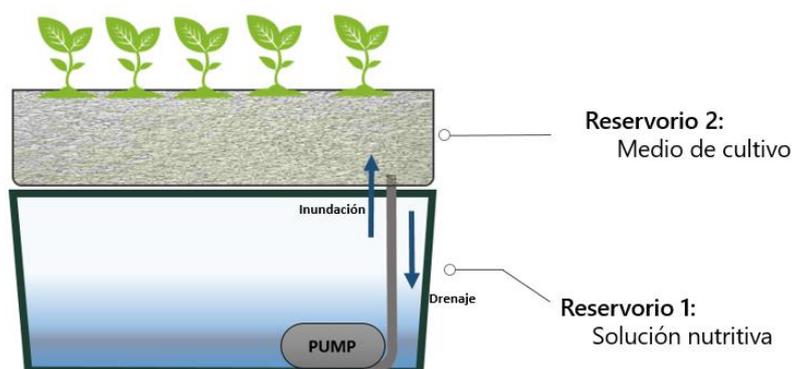


Figura 2.3: Funcionamiento del sistema Ebb and Flow.

El sistema consiste en una bandeja de cultivo apoyada sobre un reservorio con la solución de nutrientes disuelta en agua. El principio es inundar la bandeja de cultivo con la solución nutritiva para luego drenarla al reservorio inferior, múltiples veces por día.

El sustrato de cultivo debe ser poroso, que permita la oxigenación de las raíces al mismo tiempo que mantiene la humedad. Los medios más usados para este sistema son arcilla expandida, lana de piedra, piedra de río, cascajo, arena de río, lana de coco, entre otros.

Ventajas que nos presenta Ebb and Flow sobre los otros tipos de cultivo hidropónico:

- Las plantas pueden ser transferidas directamente luego de germinar, o germinar en el mismo sistema
- Permite un mejor desarrollo de las raíces, por lo que permite cultivar plantas de mayor tamaño
- Aplicación sencilla y económica
- Gran compatibilidad con plantas de distintos tipos frutales, vegetales u ornamentales.
- Brinda abundantes nutrientes a las raíces
- Bajo costo de construcción y mantenimiento

Los diferentes tipos de plantas que se adaptan al sistema Ebb and Flow se muestran en la Tabla 1.

Plant	Hydroponic system								
	Water			Ebb and Flow		Drip Irrigation			
	NFT	Raft	Wick	Rock	Exp. clay	Rock wool	Coco coir	Bato buck	Aeroponics
Lettuce	x	x	x						x
Arugula	x	x	x						x
Basil	x	x	x						x
Cilantro	x		x						
Chervil	x		x						
Chives	x		x						
Dill	x		x						
Marjoram	x		x						
Mint	x	x	x						x
Oregano	x		x						
Parsley	x		x						
Rosemary									
Sage	x								
Tarragon									
Thyme	x								
Watercress	x	x	x						x
Bok Choy	x	x	x						x
Chard	x	x	x						x
Spinach	x	x	x						x
Tomatoes			x	x	x	x	x	x	x
Cucumber				x	x	x	x	x	
Eggplant				x	x	x	x	x	
Pepper				x	x	x	x	x	
Melons				x	x	x	x	x	
Radish				x	x				
Strawberry	x								x

Tabla 1: Plantas compatibles según el método de cultivo Hidropónico.

2.2 Implementación del sistema hidropónico

Para la construcción del sistema hidropónico hemos utilizado los siguientes componentes:

- Gaveta de plástico de HDPE de 8 galones
- Gaveta de plástico de HDPE de 14 galones

- Tubo de 10cm
- Boquillas de metal
- Mangueras
- Macetas de PP de 1 litro

Los materiales usados en el sistema hidropónico están en frecuente contacto con el agua, los nutrientes y las raíces de las plantas, por lo que es importante el uso de plásticos seguros que no desprendan químicos tóxicos por su uso prolongado en un medio húmedo o por su exposición a variaciones de temperatura. Por lo que se ha optado por usar dos tipos de plásticos seguros para nuestra aplicación, HDPE y PP.

HDPE (Polipropileno de alta densidad) [6]: Es un plástico muy resistente a condiciones extremas de frío o calor, no pierde propiedades ni desprende sustancias químicas bajo exposición directa al sol, por lo que es el principal tipo de plástico al ser reciclado/reutilizado y considerado el más seguro. HDPE es usado en exteriores para mesas, juguetes, basureros, sillas y demás productos que requieren de durabilidad y resistencia a la intemperie, pero es mayormente aplicado en la industria alimenticia por no desprender ningún químico, es usado en botellones, botellas de agua, envases de leche, fundas para preservar alimentos y líquidos, transporte de pescados y carnes, entre otros.

PP (Polipropileno) [6]: Es un plástico resistente y ligero, con una gran resistencia al calor. No es afectado por la humedad, grasas o químicos. Es también aplicado en la industria alimenticia al no desprender químicos, se lo aplica en botellas de plásticos, pañales, fundas de cereales, contenedores de yogurt, fundas de chips, sorbetes, etc. Es un plástico reciclable y seguro de reusar.

Medio de Cultivo

Los sistemas Ebb and Flow se caracterizan por usar un sustrato de cultivo, el cual permite a las plantas aferrar sus raíces como soporte, contribuyendo así con el desarrollo e incremento del tamaño de la planta. Un sustrato hidropónico debe cumplir con las siguientes características para hacer apto su uso:

1. Retención de humedad y alta porosidad, que retenga la humedad y los nutrientes para que estén disponibles siempre para las plantas.
2. Capacidad de oxigenación, una alta porosidad que permita la oxigenación de las raíces
3. Estabilidad física, brindar soporte a las raíces de las plantas y no se rompa fácilmente
4. Química y biológicamente inerte, las plantas de un sistema hidropónico se ven fuertemente afectados por los hongos o bacterias, el sustrato debe ser un medio inhóspito para estos
5. Buen drenaje que permita el paso del oxígeno a las raíces
6. Capilaridad, que pueda absorber, retener y distribuir los nutrientes uniformemente

El inconveniente de los materiales para medios hidropónico (Arcilla expandida, lana de coco, perlita, lana de piedra y piedras de río) es que muchos no se encuentran localmente o no han pasado por procesos de químicos de purificación.

Como solución a este problema y en base a investigación de medios hidropónicos, hemos considerado como sustrato para el sistema una mezcla de Zeolita y Perlita, en distribución 1:1 [7].

Zeolita

La zeolita es un mineral del grupo de los aluminosilicatos con estructura porosa, presenta alta capacidad de intercambio catiónico y es de origen ígneo sedimentario. Sus características la hacen un sustrato atractivo para cultivos hidropónicos. En la Figura 2.4 se muestra un ejemplo de germinación hidropónica con zeolita.

Las características geológicas del Ecuador, con amplio desarrollo de rocas volcánicas y volcánico-sedimentarias en complejos de rocas de diferentes edades, permite inferir la presencia de zeolitas, se han encontrado en minas con grandes cantidades en la Cordillera Chongón-Colonche, Puerto Inca, Río Oña, entre otros.

Stamatakis et al. [8] indican que el uso de zeolita como sustrato en hidroponía no ha sido desarrollado a gran escala, esto se debe probablemente a que su uso principal ha sido en distintas actividades industriales como la construcción, en el tratamiento de aguas y en la elaboración de cosméticos.



Figura 2.4: Germinación del tomate en zeolita.

La zeolita se caracteriza a menudo por las siguientes propiedades [9]:

- Alto grado de hidratación
- Baja densidad y gran volumen de vacíos cuando están deshidratadas
- Estabilidad de la estructura cristalina cuando están deshidratadas
- Características de intercambio iónico
- Canales de tamaño molecular uniformes en los cristales deshidratados
- Conductividad eléctrica
- Adsorción de gases y vapores
- Características catalíticas

Las principales aplicaciones de la zeolita son [10]:

- Control ambiental: gestión de desechos radiactivos, tratamiento de efluentes de aguas residuales, tratamiento de aguas residuales agrícolas, limpieza total de gases emanados de chimeneas, producción de oxígeno.

- Conservación de energía: Gasificación de carbón, purificación de gas natural; usos en energía solar, producción de petróleo.
- Agricultura: Fertilización y remediación de suelos, adsorción de pesticidas, fungicidas y herbicidas; adsorción de metales pesados de los suelos, nutrición animal; tratamiento de excremento animal.
- Minería y metalurgia: Adsorción de metales pesados de efluentes, adsorción de metales en procesos metalúrgicos
- Aplicaciones varias: En la industria del papel, construcción, aplicaciones médicas, detergentes, control de malos olores, camas de animales, entre otros.

En la Figura 2.5 se muestra la zeolita con granularidad de grado 16 y grado 6.



Figura 2.5: Zeolita utilizada grado 16 y grado 6.

El uso de Zeolita en cultivos hidropónicos es conocido como Zeoponia, una práctica desarrollada por la NASA para lograr el cultivo en un medio inerte donde es utilizada mezclando la Zeolita con otros sustratos y cargándolas con elementos químicos [11].

Perlita

Es un silicato de aluminio de origen volcánico de color blanco/grisáceo como se puede ver en la Figura 2.6. Posee baja densidad y muy buenas propiedades aptas para el uso como sustrato hidropónico. Sus características principales como sustrato es la capacidad para mantener la humedad al 63%, constante a lo largo de la zona radicular y una buena aireación debido a su porosidad [12].



Figura 2.6: Perlita.

Debido a su baja densidad y precio relativamente bajo han aparecido muchas aplicaciones comerciales de la perlita. En el área de la construcción se usa en yesos y morteros livianos, como aislamiento térmico, en cielorrasos y filtros. En floricultura se utiliza para hacer el sustrato más permeable al aire, manteniendo su capacidad de retener el agua, por lo que es un material aconsejable para la hidroponía.

Mezcla de Sustrato Hidropónico

Como medio de cultivo hidropónico hemos considerado 2 opciones, zeolita como sustrato único de cultivo y zeolita con perlita en una distribución 1:1. Ghazvini et al. obtuvo como resultado en su investigación sobre distintas mezclas con zeolita y perlita, que el mejor resultado al obtener frutos y el desarrollo de la planta era en una distribución 1:1 de zeolita con perlita [7].

En la bandeja de cultivo añadimos dos niveles de medio hidropónico, el nivel inferior y de mayor cantidad cuenta con una distribución 1:1 de Perlita y Zeolita grado 16 como se muestra en la Figura 2.7. Siendo estas de mayor tamaño puesto que permite a las raíces de las plantas mayor oxigenación y mayor agarre de las raíces.



Figura 2.7: Primer nivel de sustrato hidropónico, zeolita grado 16 y perlita en distribución 1:1.

La capa superior utilizamos únicamente Zeolita grado 6 (Figura 2.8), un tipo mucho más fino que el usado en la capa inferior. El objetivo de este nivel es que nos facilite plantar y cubrir la semilla que deseamos además de cubrir la bandeja de cultivo de los minerales de la capa inferior y evitar el ingreso de luz a las raíces de las plantas.



Figura 2.8: Zeolita grado 6 en capa superior.

2.3 Descripción del sistema electrónico y desarrollo del hardware

El sistema está compuesto por sensores para el monitoreo ambiental, dispositivos actuadores, una unidad de control y un dispositivo de almacenamiento y transmisión de datos. El esquema de conexión se muestra en la Figura 2.9. El controlador procesa la información generada por los sensores y transmite las mediciones hacia la base de datos contenida en el dispositivo de almacenamiento.

Para la unidad de control se ha considerado el uso de una tarjeta de desarrollo Arduino que contiene un microcontrolador ATmega328p. Un circuito que actúa como interfaz de potencia para el control de los dispositivos de alta potencia y una tarjeta Raspberry pi que actúa como dispositivo de almacenamiento y transmisión de datos y a su vez funciona como servidor web, proveyendo al usuario de una interfaz gráfica para el monitoreo remoto del invernadero.

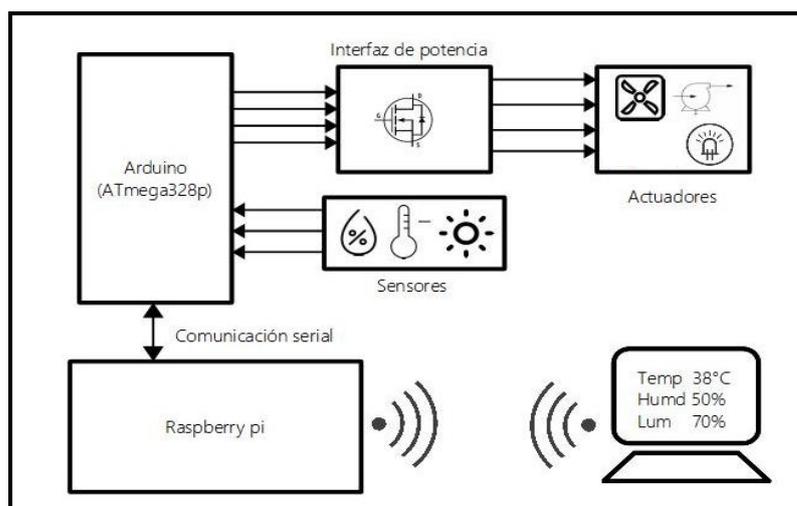


Figura 2.9: Diagrama de funcionamiento del sistema electrónico.

2.3 Sensores y dispositivos actuadores

Los factores que mayormente influyen en las fases de desarrollo en cultivos dentro de invernaderos son la temperatura, humedad relativa y luminosidad. El monitoreo de estas variables es realizada a través de sensores electrónicos desplegados dentro del invernadero, los datos capturados son procesados por el controlador y enviados por comunicación serial a la base de datos.

Para el monitoreo de temperatura y humedad relativa se emplea el sensor digital HTU21D, que proporciona datos en formato I²C para la comunicación con el microcontrolador, lo cual permite el envío y recepción de datos de manera simultánea, teniendo un tiempo de respuesta más rápido que otros sensores analógicos. El protocolo I²C necesita de dos conexiones, una para transmisión y recepción de datos (SDA) y otra para las señales de sincronización por reloj (SCL) que debe ser compartida con el microcontrolador.

La luminosidad es medida a través de una foto resistencia (LDR), que modifica el valor de su resistencia eléctrica dependiendo de la cantidad de luz incidente. Si la cantidad de luz aumenta la resistencia disminuye.

Conectando una resistencia en serie con la LDR se crea un divisor de voltaje, esta señal de voltaje referencial ingresa a uno de los pines analógicos del microcontrolador y es convertido a un valor digital con un rango de (0 – 255) e indica la cantidad de luz absorbida por la foto resistencia. Para tener una medida referencial se multiplica el valor digital por un factor que convierta el rango de valores de 0 a 100.

2.4 Automatización y control del sistema

Con el objetivo de generar un microclima acorde con las necesidades de los cultivos es necesario utilizar dispositivos que actúen directamente en el ambiente interno y controlen sus parámetros automáticamente. Estos parámetros de control han sido clasificados de la siguiente manera:

Iluminación y generación de calor

El invernadero consta de 4 LED blancos que cumplen con la función de radiar luz visible que las plantas necesitan para su fotosíntesis. El uso de iluminación LED blanca en cultivos de interiores simula de mejor manera la luz solar puesto que contiene todas las longitudes de onda del espectro visible que absorben las plantas, que van de los 380nm (azul) hasta los 740nm (rojo). Cada una de las frecuencias de onda del espectro visible aporta con distintos parámetros críticos en el crecimiento de las plantas.

Por otro lado, la luz que emiten los LED no genera el calor suficiente que necesitan las plantas para su correcto desarrollo. Por ello se utiliza una lámpara halógena de 10W como fuente de calor dentro del invernadero calentando el aire que es ingresado del exterior mediante un ventilador.

Ventilación

En la estructura del vivero se disponen dos ventiladores. Un ventilador para la generación de calor el cual ingresa el aire exterior y pasa por la lámpara halógena, a su vez ingresa humedad al sistema.

El otro ventilador actúa como extractor y su función es la de homogenizar la atmosfera interna facilitando el intercambio de gases necesarios para la fotosíntesis y respiración de las plantas, evita que el calor generado por la luz halógena se acumule durante mucho tiempo y controla el exceso de humedad presente dentro del invernadero. La Figura 2.10 muestra el funcionamiento de la ventilación interna.

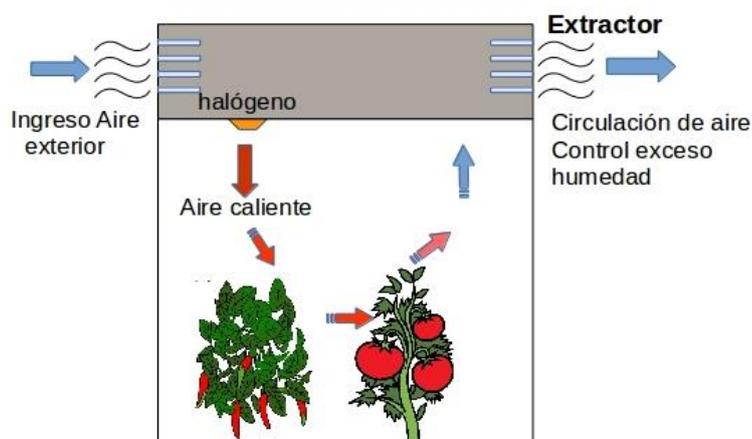


Figura 2.10: Esquema de ventilación del sistema.

Suministro de la solución nutritiva

En el sistema hidropónico *Ebb and Flow* el ciclo de suministro y vaciado de agua es crítico para el desarrollo de las raíces y crecimiento de la planta. Utilizando una bomba de agua colocada en el reservorio inferior del invernadero se logra trasladar la solución nutritiva hacia el reservorio de cultivo. Se controla el encendido y apagado de la bomba mediante un *timer* programado en el microcontrolador lo que permite el accionamiento de la bomba cada cierto tiempo de manera automática.

2.5 Diseño y análisis de la unidad de control

El ATmega328p es un microcontrolador de 8 bits perteneciente a la familia de Microcontroladores AVR-RISC. Utiliza puertos seriales asíncronos TX/RX, y puertos seriales síncronos ISP que normalmente se usan para comunicaciones con otros Microcontroladores o microprocesadores. La placa Arduino contiene un puerto USB que utiliza los pines TX/RX del microcontrolador, lo que permite la comunicación con la Raspberry pi. Asimismo, el ATmega328p contiene pines que pueden ser configurados con el protocolo I²C que permite la comunicación con el sensor de humedad y temperatura HTU21D mientras que uno de los puertos analógicos recibe la información del sensor de luz (LDR).

Como pantalla de visualización de las condiciones ambientales se añade una LCD integrada con un módulo de comunicación serial, para controlar el flujo de caracteres a través de un solo cable serial. Esto permite optimizar significativamente el uso de pines del microcontrolador. El módulo serial desarrollado por Sparkfun (SerLCD), tiene integrado un microcontrolador PIC16LF88 y se alimenta con 5 volts. Considerando que el ATmega328p tiene dos puertos seriales RX/TX destinados a la comunicación con el Raspberry, se añade una librería ya implementada en Arduino (SoftwareSerial.h) a la programación del microcontrolador para convertir pines digitales previamente definidos, en puertos de comunicación serial. De esta manera no se interfiere con la transmisión y recepción de datos de los puertos seriales predeterminados.

La regulación del brillo de la pantalla se lo puede realizar tanto manual con un potenciómetro integrado en el módulo SerLCD, como también se puede regular automáticamente a través de comandos usados en la programación del ATmega. Una de las características de los microprocesadores y Microcontroladores es que usan tecnología CMOS de baja potencia, es decir, funcionan con rangos de voltaje de 0 a 5 volts. Con el objetivo de manejar dispositivos electrónicos de potencia se necesita de una interfaz que interprete las señales de baja tensión y controle dichos dispositivos, a su vez debe aislar ambos sistemas con el objetivo de evitar que las altas tensiones afecten al microcontrolador. La implementación de la interfaz de potencia se basa en transistores MOSFET, transistores BJT y relés que actúan como interruptores accionados por las señales generadas por el microcontrolador. Las luces halógenas, los LED de potencia y el ventilador son los dispositivos que necesitan un control del flujo de corriente eléctrica para manejar su intensidad, de acuerdo con las condiciones requeridas en el invernadero. Para obtener esta regulación de corriente se usan los pines PWM (Pulse Wave Modulation) del microcontrolador. Las salidas PWM generan una señal cuadrática con una frecuencia que determina la cantidad de energía suministrada. Es decir que simula una señal DC analógica con un rango de 0 a 5 voltios. Los transistores reciben esta señal de corriente y la amplifican de manera proporcional, asimismo debido a su alta impedancia permite aislar el microcontrolador de los dispositivos actuadores. La Figura 2.11 muestra el circuito utilizado para el sistema.

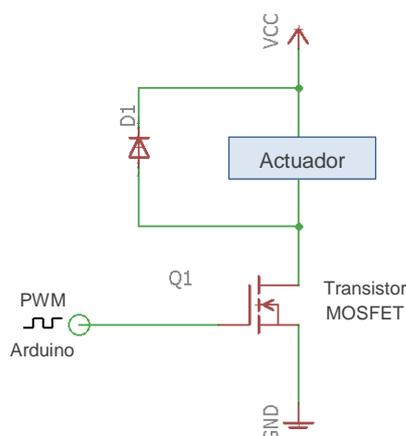


Figura 2.11: Circuito de regulación de potencia para actuadores.

Las bombas de agua a diferencia de los demás dispositivos de control no requieren de una regulación de corriente solo se requiere ser apagado y encendido, por lo cual se usa un Relé que convierte la señal eléctrica en magnética accionando un interruptor.

Comunicación entre el controlador y el Raspberry Pi

Las mediciones de parámetros adquiridas en el controlador son almacenadas en la base de datos ubicada en la tarjeta Raspberry Pi. El envío y recepción de datos se lo realiza mediante una comunicación serial asíncrono, teniendo conectadas dos líneas entre el controlador y la Raspberry TX y RX tanto para el envío de los datos medidos del invernadero como la recepción de parámetros dados por el usuario en la página web. Un script desarrollado en python controla la recepción de los datos leyendo el puerto serial conectado al Arduino y los almacena en la base de datos. La aplicación web lee la información de la base de datos y la muestra en pantalla a través de gráficas. El usuario puede configurar los parámetros ambientales de acuerdo al tipo de planta que se está cultivando dentro del invernadero, es decir la temperatura, humedad y luminosidad deseada. Esta información es colocada en una tabla de la base de datos que posteriormente el script extrae y envía al Arduino. La Figura 2.12 muestra el esquema de comunicación entre dispositivos y la base de datos.

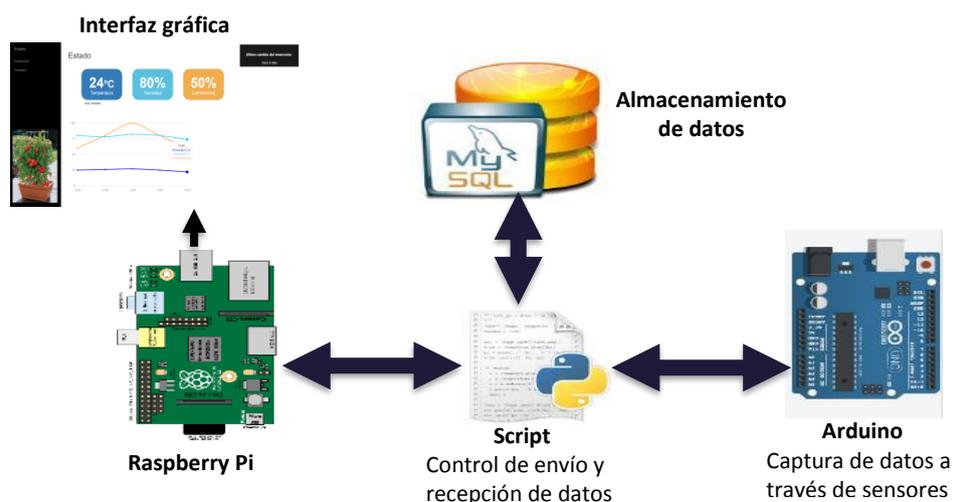


Figura 2.12: Esquema de comunicación entre Arduino y Raspberry Pi.

2.6 Construcción del prototipo

La construcción de la estructura fue realizada en 4 fases, que al finalizar lograron cumplir con las características necesarias del sistema, como la correcta generación del microclima, acoplar todas las herramientas indispensables del sistema hidropónico, integración de sensores y la electrónica.

2.6.1 Primera Fase: Construcción del sistema hidropónico

El sistema Hidropónico Ebb & Flow se caracteriza por contener dos bandejas, una como medio de cultivo que es donde estarán las plantas y la otra como reservorio de agua con los nutrientes. La Figura 2.13 muestra la bandeja inferior con nutrientes disueltos en agua junto con la bomba de presión. La figura 2.14 muestra la bandeja superior de cultivo, junto con las conexiones de la bandeja inferior y el tubo de overflow.



Figura 2.13: Bomba de agua en bandeja inferior.



Figura 2.14: Bandeja superior de cultivo.

2.6.2 Segunda Fase: Construcción de la estructura

Para la construcción de la estructura consideramos las características más relevantes para facilitar su uso dentro de hogares y que a su vez soporte la integración del sistema hidropónico junto con los sensores, actuadores y el sistema electrónico. La figura 2.15 muestra el resultado final de la estructura.



Figura 2.15: Estructura del invernadero.

2.6.3 Tercera Fase: Acoplamiento del sistema electrónico

Instalamos los dispositivos eléctricos que son controlados por el sistema para lograr la temperatura y la luz ideal para las plantas, además de dispositivos adicionales que brindan un valor adicional al producto final:

- Focos LED de 5500 K
- Cámara Raspberry Pi
- Lámpara Halógena
- Ventilador de extracción y de inserción
- Sensores de temperatura, humedad y luminosidad

La Figura 2.16 muestra uno de los sistemas de iluminación utilizados para generar calor y nutrición lumínica a la planta.



Figura 2.16: Sistema de iluminación y cámara.

La Figura 2.17 muestra el sistema electrónico principal del invernadero junto con sus conexiones eléctricas.

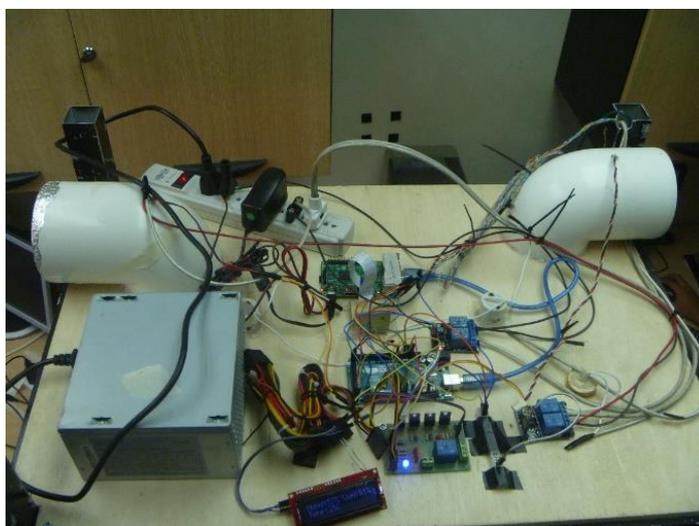


Figura 2.17: Sistema electrónico.

2.6.4 Cuarta Fase: Detalles finales y presentación del prototipo

En la última fase de desarrollo se implementó mejoras estéticas y funcionales para la interacción con el invernadero:

- Ruedas para fácil transporte
- Puertas imantadas con manijas
- Puertas y paneles inferiores (figura 2.18)
- Pantalla LCD con parámetros en tiempo real (figura 2.19)
- Facilidad para mantenimiento de reservorio de nutrientes
- Conexión externa a 110V



Figura 2.18: Paneles inferiores para recubrir bandejas.



Figura 2.19: Panel superior con LCD para mostrar parámetros ambientales.

2.6.5 Fases Adicionales

Para facilitar la interacción con el sistema, se desarrolló una página web como interfaz para el usuario (Figura 2.20). La aplicación web posee las siguientes características:

- Muestra los parámetros de temperatura, humedad y luminosidad actuales
- Presenta los parámetros durante las últimas 24 horas
- Indica la fecha de cambio de reservorio de agua
- Módulo que permite configurar los parámetros ideales del sistema
- Módulo de recomendaciones de cuidado tanto del sistema hidropónico como de las plantas



Figura 2.20: Página principal de la interfaz web.

CAPÍTULO 3

3. PRUEBAS Y RESULTADOS

Las pruebas de funcionamiento del vivero constan de:

- Transmisión y recepción entre la tarjeta Arduino y Raspberry pi
- Automatización del sistema
- Seguimiento del proceso de crecimiento de las plantas dentro del ambiente controlado
- Pruebas con nutrientes e iluminación

3.1 Transmisión y recepción de datos

A través de un script desarrollado en Python e instalado en la Raspberry pi se reciben los datos medidos por los sensores de forma serial cada treinta minutos y los almacena en una base de datos de MySQL. La información es organizada en dos tablas, una para albergar las mediciones de los parámetros ambientales y otra donde se guardan las características de las plantas que están siendo cultivadas en el invernadero, incluyendo los rangos mínimos y máximos de temperatura, humedad y luminosidad establecidos por el usuario desde la aplicación web. En la Figura 3.1 se observa la tabla de la base de datos que almacena la información relacionada con las plantas.

```
mysql> SELECT * FROM plantas;
```

id	nombre	tmpMax	tmpMin	humMax	humMin	luzMax	luzInterv	cosecha	activo
1	tomate	32	24	80	40	100	10	90	0
2	pimiento	36	22	80	60	100	10	90	0
3	pepino	35	25	80	65	100	9	90	0
4	varios	30	22	80	50	100	10	90	1

Figura 3.1: Tabla de características de las plantas cultivables en el invernadero.

Como prueba de comunicación se verifica que los datos provenientes de los sensores se almacenan en la tabla de mediciones. Dentro de esta tabla se ubican los parámetros de temperatura, humedad, potencia de luz, horas de luz, el número de días de cultivo y la fecha de medición. En la Figura 3.2 se puede observar la tabla con los parámetros ambientales almacenados.

```
mysql> SELECT * FROM mediciones LIMIT 20;
```

id	temp	hum	luzPot	luzHora	diaPlantacion	reservTiempo	data
1	25	70	59	8	10	14	2016-07-31 21:12:52
2	25	70	59	8	10	14	2016-07-31 21:14:57
3	25	70	59	8	10	14	2016-07-31 21:15:29
4	25	69	59	8	10	14	2016-07-31 21:16:00
5	25	70	59	8	10	14	2016-07-31 21:17:03
6	25	70	59	8	10	14	2016-07-31 21:17:34
7	25	69	59	8	10	14	2016-07-31 21:18:06
8	25	69	59	8	10	14	2016-07-31 21:19:08
9	25	63	58	8	10	14	2016-07-31 21:19:40
10	25	65	58	8	10	14	2016-07-31 21:20:42

Figura 3.2: Tabla de almacenamiento de mediciones proveniente de los sensores.

3.2 Automatización del sistema

Para el control de los actuadores se desarrolló un circuito que actúe como interfaz de potencia para el microcontrolador empleando transistores para la regulación de intensidad de los ventiladores y relés para el encendido y apagado de la bomba de agua y luces LED.

La automatización tanto de la bomba de agua como de las luces se la realiza estableciendo un tiempo determinado para el encendido y apagado de estos dispositivos. La automatización de la luz halógena y de los ventiladores se realiza en función de las mediciones dadas por los sensores, debido a que estos dispositivos deben reaccionar ante cambios en los parámetros ambientales del invernadero y mantener un microclima controlado. En la Figura 3.3 se muestra el circuito de interfaz de potencia conectado a la placa Arduino, el cuál envía los comandos de control para la activación de los actuadores.



Figura 3.3: Sistema electrónico para control de actuadores.

3.3 Seguimiento del proceso de crecimiento de las plantas

Desde el proceso de siembra de las semillas se tomó datos sobre la evolución de la planta diariamente. Varias semillas fueron sembradas en reservorios independientes para comprobar la efectividad de la zeolita y la predisposición de la planta al desarrollo en el cultivo hidropónico. Se plantaron semillas de tomate, pepino, pepinillo, arroz, lechuga romana, pimiento, espinaca, albahaca y naranjilla, de las cuales germinaron y se adaptaron exitosamente al cultivo hidropónico las plantas de tomate (Figura 3.4), pepinillo, arroz y pimiento.



Figura 3.4: Germinación del tomate, luego de 5 días de siembra.

Tras días posteriores de lograr un mayor fortalecimiento de las plantas se realizó el trasplante al área del cultivo del invernadero. Por medio de la cámara del

Raspberry Pi instalada en la parte superior del invernadero, se capturo fotos cada hora, lo que permite monitorear el crecimiento y la salud de las plantas. La Figura 3.5 muestra las plantas en la primera semana de trasplante mientras que la Figura 3.6 nos muestra las plantas en su cuarta semana.



Figura 3.5: Invernadero durante la primera semana.



Figura 3.6: Invernadero durante la cuarta semana.

3.4 Pruebas con nutrientes e iluminación

Otro factor importante en la construcción del invernadero es considerar los nutrientes ideales para el crecimiento de la planta en medio hidropónico y la iluminación ideal para cultivo en interiores, pues la limitada información y poca

difusión de la práctica de estos cultivos en el país lo convierte en una de las mayores dificultades a enfrentar.

Basado en información sobre soluciones nutritivas hidropónicas decidimos aplicar una solución nutritiva compuesta principalmente por macronutrientes como Nitrógeno (10%), Fosforo (30%) y Potasio (10%). Esta solución nos dio resultados positivos durante todo el proceso de desarrollo, crecimiento y floración de la planta.

Para brindar las necesidades lumínicas de las plantas, focos especializados en cultivo interior (principalmente luz ultravioleta e infrarroja) no se encontraron en el mercado local por lo que se implementó como alternativa dos focos LED de 5500K los cuales contienen todo el espectro de luz y podían cumplir una función similar. Luego de dos semanas de monitoreo concluimos que la iluminación no satisfacía las necesidades de las plantas, se implementó dos focos LED de 5500K adicionales. La instalación de los 4 focos mostró al poco tiempo un resultado favorable en el crecimiento de las plantas.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El vivero desarrollado para el cultivo en interiores puede establecer un microclima interno que presente las condiciones idóneas para el crecimiento y desarrollo de las plantas, controlando de modo automático los parámetros medioambientales como la temperatura, la humedad y la intensidad de luz. Lo que hace aplicable su utilización dentro de hogares y oficinas.

El sistema de cultivo hidropónico implementado en el vivero evita el surgimiento de plagas y enfermedades en las plantas. Controla el suministro de nutrientes que las plantas necesitan y permite simplificar el sistema, haciendo su uso más sencillo en comparación a los cultivos tradicionales en tierra puesto que no requiere de riego manual y el suministro de agua hacia las raíces es controlado automáticamente.

La zeolita como medio de cultivo es una gran alternativa en la implementación de sistemas hidropónicos. Tiene la característica de retener la humedad, ser biológica y químicamente inerte evitando la aparición de bacterias, y representa un soporte estable para las raíces. La ventaja más importante es que se puede conseguir localmente con un menor costo.

Las luces LED blancas proporciona la irradiación de todas las longitudes de onda del espectro visible lo que permite que la planta absorba la suficiente energía para el proceso de fotosíntesis en todas las etapas de su desarrollo; crecimiento, floración y producción. Sin embargo, no proporcionan el calor suficiente, para lo cual se emplea una lámpara halógena que tiene una temperatura de color de 5500K. El uso conjunto de estos dos tipos de iluminación artificial permite simular de mejor manera la luz natural.

Los nutrientes empleados en hidroponía se dividen en dos grupos; macronutrientes y micronutrientes. Los macronutrientes, conformados por nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) son esenciales para el desarrollo de las plantas por lo que son consumidos en grandes cantidades. En las etapas de

germinación y desarrollo de tallo y hojas los macronutrientes son suficientes. Sin embargo, en las etapas de floración y producción es necesario el uso de los micronutrientes que pueden variar dependiendo del tipo de planta.

A pesar de que la iluminación LED blanca es ideal para el cultivo de interiores, es necesario que la potencia de radiación sea la suficiente para un mejor desarrollo de las plantas y evitar que se debiliten a medida que van creciendo. La falta de luz puede incurrir además que la planta no se desarrolle completamente. Como mejora se pueden incluir LED especializados para cultivos mayores a 10W con reflectores para aumentar la potencia de radiación.

Para aumentar la diversidad de plantas cultivables dentro del invernadero es necesario aumentar el rango de temperaturas del microclima. Específicamente para plantas que requieren de temperaturas bajas, es necesario desarrollar un sistema de enfriamiento interno eficiente. En el presente trabajo se hicieron pruebas con celdas de efecto termoeléctrico Peltier que pueden alcanzar temperaturas menores a 0° centígrados. Sin embargo, no fue posible generar el ambiente frío dentro del invernadero puesto que los sistemas de disipación y ventilación no eran suficientes.

Como futuro trabajo se podrían implementar cámaras multispectrales dentro del invernadero con el objetivo de detectar posibles problemas en las plantas, como la falta de iluminación, falta de nutrientes o falta de calor. Además, se puede crear un ambiente de estudio y experimentación más profundo concerniente desarrollo de distintas especies de plantas con el objetivo de optimizar su producción.

El sistema puede mejorar la producción del cultivo, utilizando distintas especies de plantas, ya sean estas comestibles, ornamentales o medicinales. Para esto es conveniente hacer el sistema modular, creando distintos ambientes de acuerdo a las plantas que se requieran.

Para mejorar la eficiencia de iluminación se puede regular automáticamente la intensidad de luz simulando los intervalos de intensidad de la luz solar, con el objetivo de disminuir el consumo eléctrico del sistema y mejorar el desarrollo de las plantas.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] I. Astorkiza and A. M. Ferrero, "Expansión urbana y sostenibilidad: una dicotomía difícil de conciliar," *Revista Española de Control Externo*, vol. 14, pp. 47–78, 2012.
- [2] O. Argenti and C. Marocchino, "Abastecimiento y distribución de alimentos en las ciudades de los países en desarrollo y de los países en transición," *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la alimentación*, 2007.
- [3] B. Carrera and T. Kucharz, "La insostenibilidad de los monocultivos agro-industriales -mayoritariamente destinados a la exportación- como la palma de aceite," in *Miembros de Ecologistas en Acción (Madrid)*, 2006.
- [4] Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, "Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua", Quito, 2012.
- [5] D. Ortiz and M. Flores, "Consumo de Productos Orgánicos/Agroecológicos en los Hogares Ecuatorianos", *VECO Ecuador*, 2008.
- [6] *io9.gizmodo.com*, 2016. [Online]. Available: <http://io9.gizmodo.com/how-to-recognize-the-plastics-that-are-hazardous-to-you-461587850>. [Accessed: 28- Sep- 2016].
- [7] R. Fotouhi Ghazvini, G. Payvast and H. Azarian, "Effect of clinoptilolitic-zeolite and perlite mixtures on the yield and quality of strawberry in soil-less culture", *International journal of agriculture and biology*, vol. 9, no. 6, 2007.
- [8] M. Stamatakis, N. Koukouzas, C. Vassilatos, E. Kamenou and K. Samantouros, "The zeolites from Evros region, northern Greece: a potential use as cultivation substrate in hydroponics", *Acta Hort.*, no. 548, pp. 93-104, 2001.
- [9] D. Breck, *Zeolite molecular sieves: structure, chemistry, and use*. New York: Wiley, 1973, p. 771.
- [10] L. Sand and F. Mumpton, *Natural zeolites*. Oxford: Pergamon Press, 1978.
- [11] D. Ming, J. Gruener, K. Henderson, S. Steinberg, D. Barta, C. Galindo, Jr. and D. Henninger, "Plant Growth Experiments in Zeoponic Substrates: Applications for

Advanced Life Support Systems", *Source of Acquisition NASA John U. Larson Space Center*, 2001.

[12] "Perlita", *Es.wikipedia.org*, 2016. [Online]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Perlita>. [Accessed: 28- Sep- 2016].

[13] H. Resh, *Hydroponics for the home grower*. Boca Raton: CRC Press, 2015.